

Сибирский ордена Трудового Красного Знамени физико-технический институт им. В.Д.Кузнецова при Томском ордена Октябрьской Революции и ордена Трудового Красного Знамени государственном университете имени В.В.Куйбышева

На правах рукописи

Агулова Людмила Петровна

УДК 576.8.097.34:538.669

ВЛИЯНИЕ СЛАБЫХ МАГНИТНЫХ ПОЛЕЙ НА АГГЛЮТИНАЦИЮ
БРУШНОТИФОЗНЫХ БАКТЕРИЙ (*in vitro*) И
АВТОКОЛЕБАТЕЛЬНУЮ ХИМИЧЕСКУЮ РЕАКЦИЮ
БЕЛОУСОВА-ЖАБОТИНСКОГО

(03.00.02 - Биофизика)

Д и с с е р т а ц и я
на соискание ученой степени кандидата
биологических наук

Научный руководитель:
доктор биологических наук,
профессор С.Э.Шноль

ВВЕДЕНИЕ	3
ГЛАВА I. ВОЗМОЖНАЯ РОЛЬ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ПОЛЕЙ В БИОСФЕРЕ	
I.1. Естественные электромагнитные поля	6
I.2. Влияние космогелиогеофизических факторов, естественных и слабых искусственных электромагнитных полей на биологические и физико-химические системы. Характерные особенности систем и их реакций	14
I.3. Возможная роль естественных электромагнитных полей в биосфере	26
ГЛАВА 2. МЕТОДЫ И УСЛОВИЯ ИССЛЕДОВАНИЯ, МЕТОДЫ ОБРАБОТКИ РЕЗУЛЬТАТОВ ОПЫТОВ	
2.1. Методы проведения реакций	36
2.2. Условия исследования реакций	44
2.3. Методы обработки экспериментальных данных	46
ГЛАВА 3. ВЛИЯНИЕ ИСКУССТВЕННЫХ МАГНИТНЫХ ПОЛЕЙ НА ИССЛЕДУЕМЫЕ СИСТЕМЫ	
3.1. Агглютинация бактерий	52
3.2. Автоколебательная химическая реакция Белоусова-Жаботинского	81
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	126
ЛИТЕРАТУРА	131
ПРИЛОЖЕНИЕ	133

В В Е Д Е Н И Е

Актуальность проблемы. Результаты исследований, проведенных за последние десятилетия в различных лабораториях, по выявлению связей между процессами в биосфере и космогелиогеофизическими явлениями, по экранированию объектов от внешних электромагнитных полей (ЭМП), по воздействию искусственных, сопоставимых с естественными, ЭМП на биологические системы и их модели позволяют предполагать, что вариации ЭМП Земли являются важным для биосферы фактором среды.

В настоящее время эта научная проблема находится в стадии накопления и систематизации фактического материала. Для подтверждения гипотезы необходимы дополнительные исследования.

В связи с этим актуальной является задача получения экспериментальных данных, свидетельствующих о влиянии ЭМП, сопоставимых по каким-либо параметрам с естественными, и выявление закономерностей их действия.

Наряду с изучением реакций живых систем целесообразно проводить исследования и на простых модельных системах, обеспечивающих возможность для многократного повторения опытов и большую стандартность начальных состояний. Исследования на элементарных моделях особенно существенны для выяснения физико-химических механизмов действия слабых ЭМП на биообъекты.

В качестве моделей нами выбраны две реакции: агглютинация брешнотифозных бактерий (*in vitro*) и автоколебательная химическая реакция Белоусова-Жаботинского.

Цель работы показать возможность влияния слабых магнитных полей (МП) на элементарные модельные системы и выявить особенности этого влияния.

Основные задачи исследования: I - получение зависимостей интенсивности агглютинации бактерий и амплитуды автоколебаний от частоты и напряженности МП; 2 - изучение эффектов МП при различных температурах, концентрациях реагентов, pH; 3 - проверка гипотезы о возможности синхронизации автоколебательных процессов слабыми МП; 4 - проверка гипотезы об участии свободнорадикальных стадий автоколебательной реакции в механизме действия слабых МП.

Научная новизна. Установлено, что интенсивность агглютинации бактерий (*in vitro*) и флуктуации интенсивности изменяются под влиянием слабых МП. Показано, что существуют узкие зоны характеристик (H и f) магнитного поля, при которых отмечаются достоверные изменения измеряемых величин, что проявляется в полиэкстремальном характере их зависимостей от частоты и напряженности МП.

Впервые установлен факт влияния МП на автоколебательную реакцию Белоусова-Жаботинского. Показано, что при действии слабых постоянных и переменных МП изменяются амплитуда колебаний и флуктуации амплитуды. Существенной особенностью наблюдаемых эффектов является сложный (полиэкстремальный) характер зависимостей измеряемых величин от частоты и напряженности МП.

Впервые получены амплитудно-частотные спектры реакции Белоусова-Жаботинского в непроточной системе. Выяснено, что спектры имеют сложную структуру. Показано, что под влиянием МП могут происходить следующие изменения: изменение характера переходных процессов от одной частоты к другой, происходящих в непроточной системе по мере расходования реагентов; увеличение амплитуды гармоник в области частот 0,017-0,019 Гц; изменение средней спектральной мощности; смещение спектров в высокочастотную область.

Синхронизации и резонанса не отмечено

Вьяснено, что кинетика реакции окисления трехвалентного церия броматом, протекающая с участием свободных радикалов, изменяется под влиянием слабого МП.

Практическая ценность. Результаты исследований могут быть использованы для вьяснения физико-химического механизма действия природных ЭМП. Они могут быть полезны в поиске путей целенаправленного воздействия МП на биологические, физические, химические системы; в медицине, технологии, научных разработках.

Публикации. Результаты работы были доложены на 2-й Всесоюзной конференции "Поляризация ядер и электронов и эффекты магнитного поля в химических реакциях", Киев, 1978; I-4 Городской конференциях "Живые системы в электромагнитных полях", Томск, 1976-1979; на Всесоюзном симпозиуме "Космофизические флуктуации в физических, химических и биологических системах", Пущино, 1983. По теме диссертации опубликовано 7 работ.

Структура диссертации. Диссертация состоит из введения, 3 глав, заключения и списка литературы - 247 ссылок. Работа изложена на 156 страницах машинописного текста, включая 46 рисунков и 13 таблиц.

Глава I. ВОЗМОЖНАЯ РОЛЬ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ПОЛЕЙ В БИОСФЕРЕ

I. I. Естественные электромагнитные поля

В настоящее время еще не сложилось ясное понимание роли космических влияний, в первую очередь связанных с активностью Солнца, на процессы в биосфере, хотя возможность таких влияний отмечена давно.

Приоритет в научном исследовании этого вопроса принадлежит А.Л. Чижевскому. На огромном статистическом материале им выявлена (1915-1924 г.г.) связь между явлениями в биосфере (эпифитиями, эпизоотиями, эпидемиями, пандемиями) и циклической деятельностью Солнца. Оценивая участие космических явлений в биологических процессах, он писал: "Однако было бы совершенно неверным предполагать, что заболевания или смертные случаи вызываются космическими или атмосферно-теллурическими явлениями. Этого, конечно, допустить нельзя. Речь может идти о том толчке со стороны указанных внешних факторов, которые падая на подготовленный организм, приводят его к гибели" [1]. По мнению А.Л. Чижевского влияние космоса на биосферу всеобъемлюще - от отдельных организмов до популяций и сообществ. Он неоднократно высказывал предположение о важной роли электромагнитных явлений в реализации связи "солнечная активность - биосфера". Наблюдения и теоретические исследования А.Л. Чижевского заложили основу современной "гелиобиологии".

В 20-е годы идеи о проявлении космических воздействий в био- и геосферах начал развивать и пропагандировать академик В.И. Вернадский [2]. Согласно представлениям Вернадского, живое вещество является лишь тонкой пленкой на поверхности Земли, развитие которой происходит под преимущественным влиянием космической энергии - прежде всего Солнца [3].

В последующие годы значительный вклад в изучение роли космических явлений в биосфере внесли многие советские и зарубежные ученые [4,5,6,7,...52].

Постепенно исследователи пришли к выводу, что на биосферу действует целый комплекс космогелиогеофизических факторов. К таким факторам относятся гравитационное притяжение Земли, Луны, Солнца, вращение Земли вокруг своей оси и вокруг Солнца, факторы, тесно связанные с изменением активности Солнца: вариации напряженности электромагнитного поля Земли, амплитуды акустических инфразвуковых колебаний атмосферы, радиоактивности атмосферы и содержания в воздухе положительных аэроионов, метеофакторы. Перечень, по-видимому, будет продолжен по мере совершенствования наших знаний о космических явлениях. Биологическое действие перечисленных факторов изучено неодинаково. Еще мало понятна роль ЭМП, почти не изучено влияние акустических шумов атмосферы в полосе инфразвуковых колебаний, а также эффекты возрастания в атмосфере концентрации радона (^{222}Rn) при геомагнитных возмущениях [20,51,52].

Предполагается, что из факторов внешней среды наиболее важным для биосферы является естественное электромагнитное поле Земли, благодаря своим динамическим свойствам и высокой чувствительности к изменениям солнечной активности [4,18-21,37].

Электромагнитное поле Земли характеризуется на ее поверхности широким диапазоном частот (рис. I.1). Горизонтальные линии на рисунке соответствуют трем окнам прозрачности ионосферы. В разных частотных диапазонах существование поля обусловлено разными источниками.

Космическое радиоизлучение поглощается в ионосфере начиная с длины волны $\lambda = 30$ м ($f = 10$ МГц) и до $\lambda \sim 6 \cdot 10^4$ км ($f \sim 5$ Гц).

Радиоизлучение с длиной волны от 30 м до 1.00 мм свободно доходит до поверхности Земли - радиоастрономическое окно прозрач-

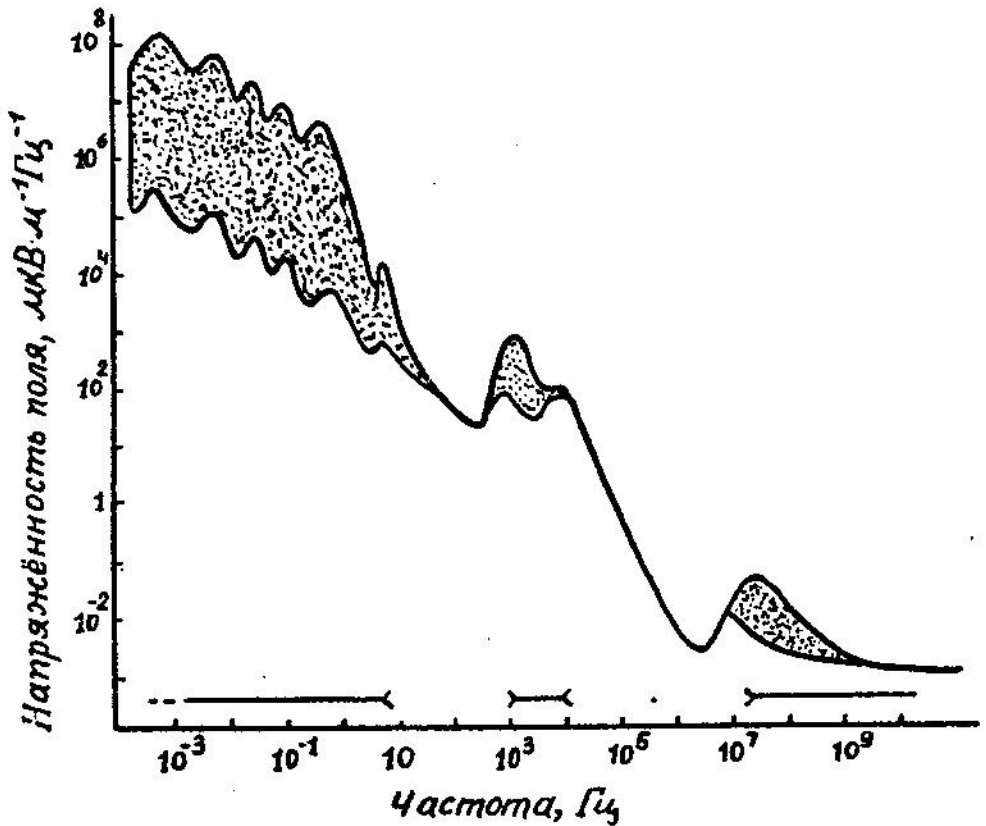


Рис. I.I. Спектр электромагнитных шумов естественного происхождения, регистрируемых на поверхности Земли. Зачерненные области - увеличения напряженности во время возмущений на Солнце (сильная хромосферная вспышка и последующая магнитная буря); горизонтальные линии - диапазоны прозрачности ионосферы [19]

ности. Этот участок спектра имеет малую мощность. Наибольшие изменения интенсивности радиоизлучения в пределах радиоастрономического окна происходят во время солнечных вспышек.

В области частот $f \sim (10^3 - 10^4)$ Гц электромагнитный спектр обусловлен на средних широтах разрядами атмосферного электричества (атмосфериками), на высоких - ультранизкочастотным излучением магнитосферы. Постоянное существование электромагнитного фона в этой частотной полосе определяется двумя причинами: наличием

волновода-резонатора "Земля-ионосфера" и тем, что возбуждение резонатора осуществляется всей совокупностью гроз на земном шаре, а не только близлежащими к точке наблюдения грозowymi очагами. Радиоволны в полосе кГц распространяются в волноводе с очень малым затуханием. Волновод имеет собственные частоты, основная - 8 Гц. Вследствие магнитных бурь и солнечных вспышек, происходит возрастание напряженности как на частотах атмосфериков (кГц), так и на собственных частотах волновода. флуктуации ЭМП в резонаторе Земля - ионосфера имеют суточный, сезонный ход, широтную зависимость [18-20, 53]. Резонансные свойства земного шара отчетливее выражены в средних широтах, чем в высоких, Мгновенные значения напряженности поля на частотах 2-30 Гц изменяются синхронно при разnose приемных пунктов до 3600 км по широте. Записи вариаций интенсивности колебаний на частотах 7.5-10 Гц в течение суток в пунктах, разнесенных по широте на 6750 км (средние широты), оказывались синхронными по местному времени в этих точках в течение нескольких месяцев подряд. Колебания на частоте 8 Гц всегда наблюдаются синхронно при разnose приемных пунктов на расстояние до 50 км [53].

В диапазоне частот ниже 5 Гц на поверхности Земли регистрируются микропульсации или короткопериодические колебания геомагнитного поля. Амплитуда микропульсаций выражается в гаммах ($1\gamma = 10^{-5} \text{ З} = 1 \text{ нТ}$) или в мВ/км. Предполагаемые причины возникновения микропульсаций весьма разнообразны. Наиболее обоснованным является представление о геомагнитных пульсациях как о МГД - волнах (низкочастотные электромагнитные волны в плазме или проводящей жидкости, находящейся в магнитном поле), приходящих на Землю из космоса. Не решенным остается вопрос о том, в какой части околоземного пространства расположен источник того или иного ви-

да пульсаций: внутри магнитосферы, на границе магнитосферы - в магнитопаузе или они являются проявлением волновых процессов, протекающих в солнечном ветре перед фронтом магнитосферы [54-57]. В отдельных узких частотных полосах микропульсаций параметры поля настолько тесно связаны с параметрами солнечного ветра и межпланетного магнитного поля, что наземные измерения используются для диагностики межпланетной плазмы и ряда явлений в магнитосфере [55,57]. Перепады напряженности в полосе сверхнизких частот от спокойных условий к возмущенным достигают трех порядков, а сами величины напряженности довольно значительны, по сравнению с напряженностями в других диапазонах частот.

Микропульсации разнообразны по частоте, форме, интенсивности колебаний и по-разному проявляют себя на разных географических широтах в различные часы местного и мирового времени. Микропульсации разделяются на два класса: P_c и P_i . Для микропульсаций класса P_c характерна квазисинусоидальная форма колебаний и устойчивый режим, для класса P_i - характерен нерегулярный характер, колебания часто имеют вид непродолжительных всплесков с широким и нестационарным спектром частот. Каждый из классов, в свою очередь, подразделяется на типы, в зависимости от частоты с учетом морфологии колебаний [56]. В таблице I.I. приводятся современная классификация и некоторые свойства микропульсаций.

В периоды возмущений (магнитные бури) наблюдается глобальное возбуждение микропульсаций, когда они регистрируются по всему земному шару.

Амплитуда микропульсаций обоих классов зависит от широты: с увеличением широты амплитуда растет и тем сильнее, чем меньше частота.

Электромагнитные колебания в диапазоне микропульсаций обладают высокой проникающей способностью и имеют общие глобальные

Классификация, обозначения и основные свойства различных типов микропульсаций [37]

Класс	Тип	Диапазон периодов, с	Амплитуда на средних широтах, в НТ	Положение суточного максимума Z (местное время)	Положение максимума в 11-летнем цикле	Значение планетарного индекса геомагнитной активности K_p
Устойчивые пульсации	Pc1	0.2-5 (обычно промодулированы)	0.02	0.4	На спаде (до минимума)	0.2
	Pc2	5-10	0.1	I2	Вблизи максимума	3-5
	** Pc3	10-45 (рост с уменьшением K_p)	0.5	I2	Вблизи максимума	2-3 и выше
	Pc4	45-150	1.0 (до 5 на высоких широтах)	I2	Вблизи минимума	0-1
	Pc5	150-600 (уменьшение с ростом K_p)	до 100 на высоких широтах	?	?	0-1
	Pc6	> 600	до 10 на высоких широтах	?	?	?
Иррегулярные пульсации	Pi1*	I-40	0.1	22-02	Вблизи максимума	K_L - локальный индекс
	Pi2*	40-150	I		То же	»
	Pi3*	>150	10	?	?	?

Примечание. Положение сезонного максимума для микропульсаций Pc 2-4; Pi 1-2 приходится на эпоху равноденствий, у других типов оно неопределенно.

* Существует несколько подтипов этих колебаний.

** Микропульсации Pc 3,4 возбуждаются как во время магнитных бурь, так и в период развития солнечных вспышек одновременно с внезапным ионосферным возмущением

особенности. Микропульсации в магнитосопреженных точках (на одной силовой линии) почти всегда сильно коррелируют. При разносе пунктов измерений до 250–290 км наблюдается практически одинаковая форма колебаний. Близкое совпадение форм пульсаций P_1 $I,2$ наблюдается на расстоянии 500 км, а форм их огибающих – в пределах одного полушария. Аномалии поведения пульсаций в сопряженных точках чаще всего связаны с различиями ионосферных условий, электрических свойств земной коры, а также с недостаточно точной сопряженностью пунктов наблюдений [56]. Выявлены вариации вертикальной составляющей электрического поля Земли в диапазоне от годовых до инфранизкочастотных, генерируемые различными источниками как глобального, так и местного масштабов [58, 59].

Гелиогеофизические факторы изменяются во времени циклично. В таблице I.2 приведены основные периоды и циклы гелиогеофизических явлений. Поскольку все основные характеристики микроритмов зависят от напряженности магнитного поля Земли, или, что то же самое, от параметров магнитосферы, которая является экраном и трансформатором космических влияний, во временном ходе микроритмов (секунды) наблюдаются периоды и циклы макроритмов (часы, годы). Микропульсации и инфразвук модулированы по амплитуде (иногда по частоте) множеством периодов. Недавно обнаружено, что пульсации солнечной поверхности (периоды 8 мин, 2 ч 40 мин) присутствуют на Земле как огибающие пульсаций P_3 3 [60]. Появление инфразвука и микропульсаций приурочено к определенному времени суток. Во временном ходе микроритмов выделяют периоды, связанные с секторной структурой межпланетного магнитного поля и вращением Солнца вокруг своей оси, полугодовые и годовые вариации, вариации связанные с 11-летним циклом солнечной активности. Поскольку микроритмы стали изучаться сравнительно недавно, далеко не все еще ясно в их временной динамике, эволюции и иерархии.

Периоды и циклы гелиогеофизических факторов [20]

Природа ритмических явлений	Основные периоды
Собственные частоты волновода Земля-Ионосфера	0,007-0,1 с
Микропульсации геомагнитного поля класса P _c	0,2-1000 с
Инфразвук, генерируемый полярными сияниями	20-100 с
Пульсации Солнца	60 мин.; 2 ч. 40 мин
Вращение Земли	24 ч
Секторная структура межпланетного поля	7, 14, 27 дн.
Обращение Луны, лунные приливы	7 дн., 9 дн., 14 дн., 27 дн., 29.5 дн.
Обращение Земли вокруг Солнца	0.5 г., 1 г.
Циклы солнечной активности	2 г., 3 г., 5 лет, 8 лет, 11 лет, 22 г., 35 лет
Длиннопериодические компоненты лунного прилива	18.6 г.
Длиннопериодические циклы солнечной активности	80 лет, 170 лет, 400 лет, 600 лет
Вариации напряженности геомагнитного поля	350 лет, 500 лет, 1000 лет, 7000 лет

1.2. Влияние космогелиогеофизических факторов, естественных и слабых искусственных электромагнитных полей на биологические и физико-химические системы. Характерные особенности систем и их реакций

В настоящее время накоплен большой фактический материал, подтверждающий гипотезу о возможности передачи в биосферу информации об изменении солнечной активности посредством вариаций ЭМ поля Земли. Работы проведены в трех основных направлениях:

- 1) наблюдения и эксперименты, выявляющие связи между вариациями ЭМП Земли и показателями жизнедеятельности организмов;
- 2) опыты в экранированных от внешних ЭМП условиях;
- 3) опыты по влиянию на биообъекты и их модели искусственных ЭМП, сопоставимых по частоте и амплитуде с естественными.

Результаты этих работ представлены в материалах симпозиумов, конференций и ряде обзоров [1,4,6,12,20,37,45,61-73]. Анализ приведенных в литературе фактов позволил выделить ряд характерных особенностей систем и их реакций (табл. I.3). Проиллюстрируем некоторые из них примерами.

Замечено, что реакции на изменение космогелиогеофизических факторов или действие слабых искусственных ЭМП отчетливее выражены у больных, чем у здоровых, у организмов в пренатальной стадии развития, в раннем и старческом возрастах, в периоды напряжения адаптационных механизмов. Так, физиологические параметры (артериальное давление, частота пульса и температура тела) здоровых людей и с нарушением деятельности гипоталамических структур сопоставлялись с индексом геомагнитной возмущенности A_p . У здоровых людей реакцию на изменение геомагнитной активности зафиксировать не удалось. Наблюдения за больными показали, что вегетативные кризы развивались в течение 2 суток после увеличения геомаг-

Таблица I.3

Характерные особенности реакций живых организмов на изменение космогелиогеофизических факторов и действие слабых искусственных электромагнитных полей

Э ф ф е к т	Авторы и публикации
Эффекты отчетливее проявляются у организмов с ограниченными адаптационными возможностями или находящимися в состоянии напряжения	73-78
Неспецифичность реакций	17,40,42,44,45,79
Кооперативность эффектов	45,77,80*,81*,82
Синхронность и(или) синфазность хода различных процессов у объектов,находящихся как в одном географическом пункте,так и в разных точках земного шара	6,83-91
Многофазный (полиэкстремальный) характер ответных реакций на возрастание частоты или напряженности ЭМП, а также при длительной экспозиции в поле одних и тех же параметров	4,32,33,39,41,45,73,74,79,80*,92-102
Затянутое время восстановления после возмущающего действия (эффект последствия)	44, 103-105
Неудовлетворительная воспроизводимость опытов	44,87, 106-111

Примечание. Многие из этих эффектов были отмечены при действии полей напряженностью десятки и сотни эрстед.

Ссылки на эти работы помечены звездочкой

нитной активности. После геомагнитной бури изменялась динамика суточных ритмов физиологических функций [74]. Увеличение смертности, особенно новорожденных мышей, отмечено при содержании мышинных семей в экранах из мп-металла (мп-металл - сплав из никеля (70 %), железа, меди и хрома с максимальной магнитной проницаемостью 10^5) в течение года [78]. Напряженность геомагнитного поля в экране была значительно ослаблена ($H = 0.001 \pm 0.0005$ Э). Максимальную чувствительность к изменению МП, ослабленного экраном до напряженности 100γ , проявляли клетки, находящиеся в премитотическом периоде клеточного цикла. Аналогичный эффект был установлен и при действии МП I-3 кЭ [77].

Специфические реакции на действие естественных и сопоставимых с ними искусственных ЭМП до сих пор не обнаружены. В ответ на действие ЭМП развиваются общие неспецифические адаптационные реакции организма, которые являются реакцией всего организма и возникают на любое изменение в условиях существования или во внутренней среде организма. Эти реакции развиваются независимо от того, было воздействие ЭМП локальным или на весь объект [45,79].

Многие экспериментаторы отмечают сложный, многофазный характер ответных реакций при возрастании частоты и напряженности ЭМП. В экспериментах на 1100 крысах изучены реакции системы крови при действии переменного МП напряженностью 5100 нТ следующих частот: 0,01-0,1 Гц (шаг 0,01 Гц); 0,1-1 Гц (шаг 0,1 Гц); 1,0 - 14 Гц (шаг 1 Гц) и 20, 26, 32, 44, 55, 65, 75, 81, 100 Гц. Время воздействия 3 ч. Эксперименты проводили в экранированной камере, неравномерность поля была менее 5 %. Выделены эффективные частоты (0,02 Гц; 0,06 Гц; 0,5-0,6 Гц; 5-6 Гц; 8-11 Гц), а также установлено, что биологические эффекты для разных частот могут иметь разный знак [41, 73]. На белых крысах было испытано действие МП напряженностью от 1 до 300 Э при ступенчатообразном изменении

напряженности в каждой серии опытов в 1.5 раза. Режим тока - синусоидальный, частота поля 50 Гц, характер поля прерывистый (2 с поле, 2 с пауза). Характер развивавшейся реакции оценивали по соотношению форменных элементов белой крови, числу лейкоцитов, весу тимуса и соотношению глюко и минералкортикоидных гормонов коры надпочечников. Результаты показали, что в исследованном диапазоне интенсивностей происходит периодическая смена триад адаптационных реакций (тренировка, активация, стресс), разделенных между собой "зонами ареактивности", в пределах которых МП оказывалось как бы недействующим. При длительной экспозиции организма в поле одних и тех же параметров или при многократном повторении воздействий одной и той же величины наблюдается волнообразная смена адаптационных реакций с длительностью каждой от одной до трех недель [45,79]. После прекращения действия искусственных ЭМП восстановление начального состояния идет очень медленно, чаще всего восстановления вообще не наблюдается, что может свидетельствовать о неустойчивости систем, реагирующих на слабые ЭМП. Например, семена проса прорастали в пульсирующем магнитном поле напряженностью 0,1 Э в течение 48 ч, затем поле выключали. Все три сорта проса продолжали более активно поглощать воду (по сравнению с контролем) и спустя 24 ч после выключения поля [103].

К воздействию космогелиогеофизических факторов и слабых искусственных ЭМП "чувствительны" не только живые организмы, но также биохимические [47-50, II2-II4, II9], химические [II-15, 9I, II4-II5] и, возможно, физические системы [I26, I27]. Анализ литературных данных, результатов собственных опытов и наблюдений показал, что биологические, химические, физические системы при работе с которыми отмечены четкие эффекты космогелиогеофизических

влияний, действия слабых ЭМП, а также ряда других физических и химических факторов малой величины, обладают некоторыми общими чертами. Для них характерны высокая чувствительность к малым возмущениям, кооперативность эффектов, неспецифический характер ответных реакций, значительная величина флуктуаций измеряемых параметров, неудовлетворительная воспроизводимость опытов, сложные зависимости от силы, длительности, частоты действующего фактора, затянутое время восстановления (или отсутствие полного восстановления) систем после возмущающего действия.

При воздействиях, выходящих за пределы нормы (для живых организмов экстремальные состояния, граничные для жизни), также отмечается сходство поведения различных систем. Например, у целостных живых организмов, клеток, митохондрий сходство может выражаться в развитии гиперполяризации в ответ на деполяризацию, переходе системы в колебательный режим [128].

Подобная общность характерна для систем вблизи критических точек, совершающих фазовые переходы, вблизи точек бифуркации, при переходе к стохастической динамике [129-137]. Эта аналогия является серьезным аргументом в пользу того, что поведение систем разной физической природы при определенных условиях, на определенных этапах развития подчиняется одним и тем же фундаментальным законам. Предполагается, что в таких процессах ведущую роль играет образование и распад длинноволновых корреляций между отдельными пространственными областями системы [135,137].

Наглядной иллюстрацией однотипного поведения систем различной физической природы являются результаты работ, выполненные С.Э.Шнолем с сотрудниками. На протяжении многих лет ими изучался феномен макроскопических флуктуаций - синхронные в макроскопических масштабах флуктуации различных свойств биологических, хими-

ческих, физических систем. Показано, что для макроскопических флуктуаций различных измеряемых величин, в различных по природе объектах характерны дискретные спектры (статистические распределения - гистограммы). Предполагалось, что дискретность и синхронность являются следствием "критических условий", существующих в системах, совершающих фазовые переходы [138, 139]. Спектры эволюционируют в течение дня, день за днем, что проявляется в изменении степени разрешенности (дискретности) спектров и в амплитудах отдельных мод. Спектры макроскопических флуктуаций измеряемых величин в различных объектах в синхронных опытах сходны по форме [127]. В последнее время была выявлена связь между вариациями космогелиогеофизических индексов и макроскопическими флуктуациями [49, 50]. Возможно, что именно космогелиогеофизическими факторами обусловлена наблюдаемая синхронность. Как отмечалось выше, вариации ЭМП Земли, регистрируемые в различных точках земного шара, часто сильно коррелируют. Глобальность и универсальность синхронного хода различных биологических и химических процессов отмечена давно. Подробная сводка этих данных приведена в монографии А.П.Дуброва [6]. Важная роль в наблюдаемой синхронности отводится геомагнитному полю.

Пока не ясно: 1) в какой мере наблюдаемые флуктуации обусловлены свойствами самих систем, а в какой - внешними неконтролируемыми причинами; 2) ограничено ли число разновидностей спектров; 3) существует ли закономерная последовательность в эволюции спектров день за днем или они изменяются случайно?

В свое время У.Р.Эшби [140], обсуждая работу мозга, ставил вопрос: "Может ли машина быть детерминированной и в то же время способной к спонтанному изменению?" В настоящее время на этот вопрос можно ответить утвердительно. Стохастические и детерминированные силы, действуя совместно, переводят системы из исходных

состояний в новье [I4I-I50]. В.Эйди отмечал, что "в отличие от созданных человеком коммуникационных систем, где шум вреден, мозг может использовать шум в качестве необходимой составной части своих функциональных возможностей" [I4I]. Однако этот шум должен быть структурирован.

Возможно, что в "структурирование" шума могут вносить вклад космогелиогеофизические факторы, в том числе электромагнитной природы. Так, в работах В.Е.Швирблиса, по-видимому, показано [I5I, I52], что "шум нервных тканей", обеспечивающих работу зрительного анализатора, коррелирует со среднесуточными значениями C_p - индекса общепланетарной геомагнитной возмущенности, с числами Вольфа и радиоизлучением Солнца на частоте 2800 МГц.

Восприимчивость систем в области неустойчивости к внешним возмущениям даже таким, энергия которых значительно меньше $K T_k$ (T_k - критическая температура) возрастает. Для реальных жидкостей, например, вблизи критической точки восприимчивость возрастает на 3-4 порядка [I3I]. Наряду с уже не раз обсуждавшимися причинами неудовлетворительной воспроизводимости опытов и наблюдений по выявлению эффектов ЭМП (неконтролируемые изменения космофизических факторов, электромагнитные помехи, создаваемые работой технических устройств, неполное описание условий опыта в научных публикациях, индивидуальная чувствительность организмов), это также может являться причиной вариабельности результатов. К опытам с этими системами должны предъявляться высокие требования. Разные по составу реактивы, различия в температурном режиме, перемешивании, объеме, внешних шумах - все это может существенно сказаться на воспроизводимости результатов. Весьма полезна и показательна в этом отношении серия работ по повторению опытов, проведенных в других лабораториях, выполненная под руководством А.Н.Кузнецова [I53-I56].

Следует заметить, однако, что при проведении собственных исследований, ими были отмечены многие из уже известных ранее эффектов: зависимость результатов от состояния объекта (летний, зимний препараты) [157], пороговый характер эффектов [158], сложные зависимости от частоты [93, 157].

В настоящее время выявлена еще одна из возможных причин случайного (невоспроизводимого) поведения макроскопических систем. Установлено, что существуют системы, описываемые дифференциальными уравнениями выше второго порядка, с необязательно большим числом степеней свободы, с высокой точностью задания начальных условий, на которые не действуют внешние шумы, но поведение которых тем не менее невоспроизводимо. Причина этого — сложная собственная динамика, математическим образом которой является "странный аттрактор". Аттракторами (притягивающей областью в фазовом пространстве системы) для фазовых траекторий динамических систем могут быть неподвижные точки, замкнутые или квазипериодические орбиты. Внутри "странного аттрактора" почти все траектории неустойчивы. Есть области, где траектории неустойчивы, но разбегаются упорядоченно. При некоторых условиях, например, при превышении амплитуды или частоты внешнего воздействия критических значений, разбегающиеся траектории могут сжаться до состояния близкого к исходному и перемешаться. Этому соответствует возникновение стохастического поведения (хаоса) в динамической системе [137, 160].

В настоящее время уже сформировалось понимание основных механизмов рождения странного аттрактора из регулярных траекторий (точки устойчивого равновесия, предельные циклы, двумерные и трехмерные торы) при изменении параметров системы. Вскрыт ряд универсальных закономерностей перехода от порядка к хаосу [133]. В частности было установлено [134], что у большого класса функций при увеличении параметра происходит разрушение устойчивого цикла

и замена его циклом с удвоенным периодом. Если удвоение периода продолжается, это может привести к возникновению хаотического поведения.

Существование странных аттракторов является настолько же распространенным, как и существование предельных циклов. В настоящее время они обнаружены в таких динамических системах как атмосфера и плазма [136, 159], в радиотехнических устройствах [160, 161], в химических реакциях [162-164], в гидродинамических течениях [165, 166], в экологических системах [149, 167, 168], в активности нервных тканей [146, 150]. Уравнения, описывающие изменения магнитного поля Земли, носят характер хаотического движения [169]. Транспозиционные (генные) взрывы [148, 170] также напоминают поведение систем "на странном аттракторе". Все перечисленные системы имеют общую черту: их поведение упорядочено (самовоспроизводимо) только в определенном диапазоне значений каких-либо внешних параметров (например, температуры, концентрации, давления и т.д.). Вне этого диапазона процесс перестает воспроизводиться. Для современной технологии учет, предупреждение и сведение к минимуму неупорядоченности является важной проблемой. В биологических системах, по-видимому, переход от упорядоченности к беспорядку и обратно - необходимая составная часть эволюции и функционирования.

Анализ периодичностей в ряду среднемесячных значений амплитуды макроскопических флуктуаций за 1966-1981 гг. показал наличие достоверных (с вероятностью 95 %) периодичностей в 6, 12, 24 и 48 месяцев [50]. Обращает внимание удвоение периодов в этом ряду, который, видимо, можно будет продолжить при наличии более длинных рядов наблюдений. Ф.Мозетти [171] провел анализ рядов наблюдений, выполненных Дж.Пиккарди при проведении реакции гидролиза хлористого железа. Он заметил, что результаты опыта рассматриваемые в

Функции времени, могут быть представлены набором синусоид, имеющих разные периоды. Если расположить их в порядке возрастания периодов, то образуется геометрическая прогрессия со знаменателем $\sqrt{2}$. Было выяснено, что самые различные природные процессы подчиняются этой закономерности [12]. В настоящее время не ясно, имеют ли отношение эти результаты к универсальной закономерности перехода к хаосу путем бесконечной цепочки бифуркаций удвоения периода, о которой упоминалось выше.

Как уже отмечалось, динамика систем различной природы в предстохастическом состоянии обнаруживает удивительную тождественность. На рис. I.2 приведены схема линии передач радиодиапазона, собранная из индуктивностей и нелинейных емкостей и блок-схема лампы обратной волны, а также эволюция спектров модуляции этих систем. Аналогичная картина получена в численных экспериментах для плазмы с током [136].

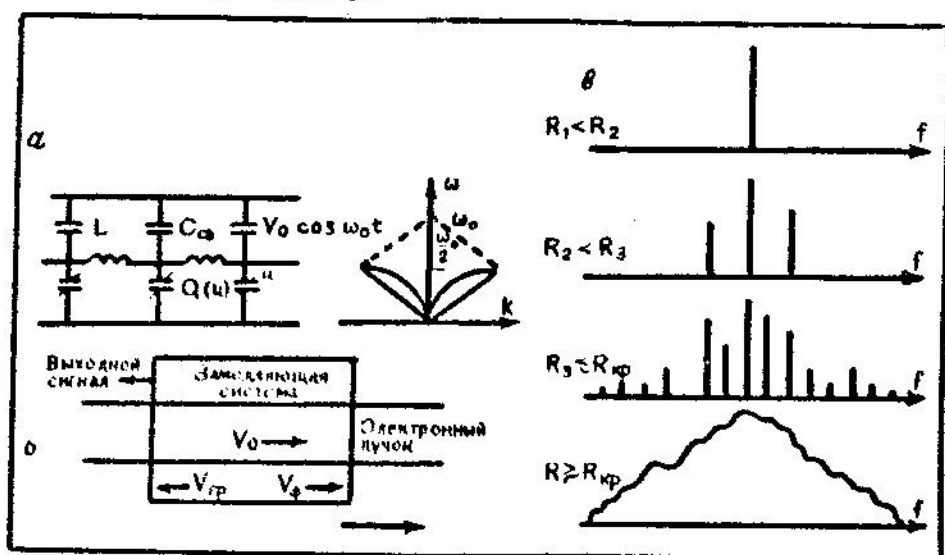


Рис. I.2. Стохастическая модуляция [136]

а - параметрически возбуждаемая нелинейная цепочка и ее дисперсионная характеристика, б - блок-схема лампы обратной волны, в - возникновение стохастического режима со сплошным спектром в результате цепочки удвоений периода модуляции. (R - некоторый характерный параметр, зависящий от физической природы системы)

На рис. I.3 приведены осциллограммы колебаний генератора шума [136,161] и осциллограммы колебаний в химической реакции Белоусова-Жаботинского [164]. В двух совершенно различных системах при изменении параметров переходы от одних режимов к другим осуществляются сходно. На рис. I.4 приведены спектры (гистограммы результатов измерений скорости реакции аскорбиновой кислоты с дихлорфенолиндофенолом и гистограммы результатов измерений амплитуд колебаний в реакции Белоусова. Измерения проведены примерно в одно и то же время в пунктах, отстоящих по долготе на 3500 км

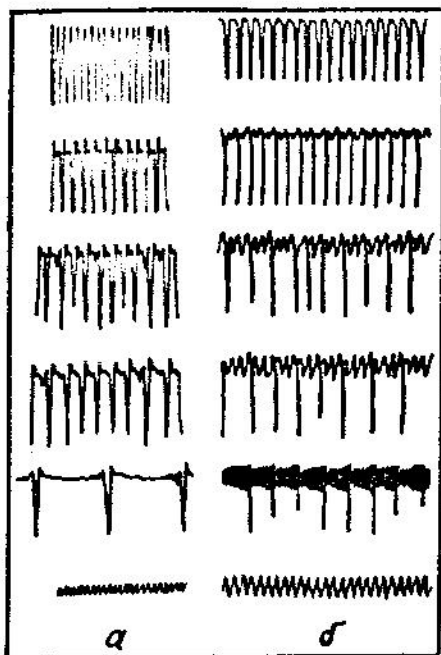


Рис. I.3. Возникновение хаотических колебаний в гомогенной реакции Белоусова-Жаботинского и в радиотехническом генераторе шума при последовательном изменении одного из параметров системы [136]

а) колебательные режимы в автокаталитической реакции, б) осциллограммы колебаний в простом радиотехническом

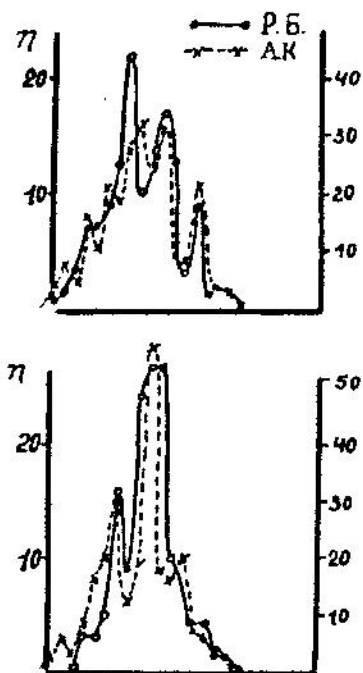
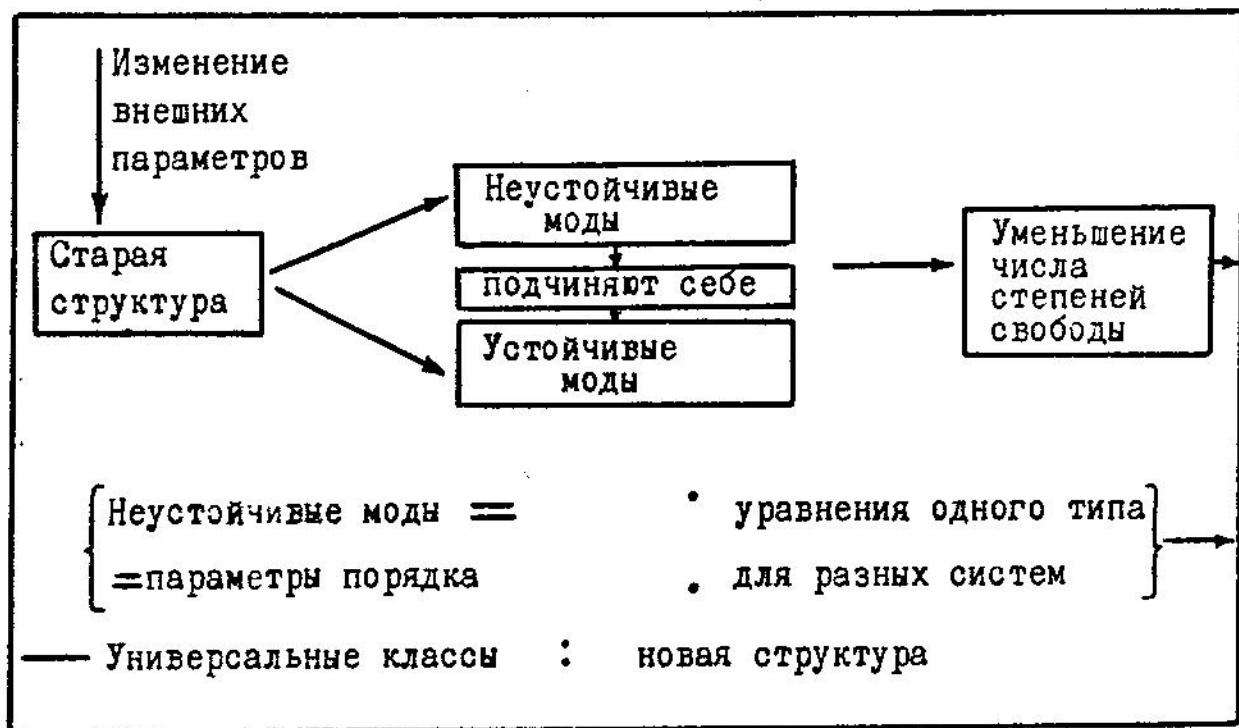


Рис. I.4. Формы гистограмм амплитуд колебаний в реакции Белоусова (Р.Б.) и результатов измерений скорости реакции аскорбиновой кислоты с дихлорфенолиндофенолом (АК)

(Пушино-Томск). Сравнение сделано С.Э.Шнолем. Формы гистограмм различных процессов сходны. Таким образом, сходство в поведении систем различной природы типично для областей неустойчивости, вблизи границы перехода в новое состояние. Оно обусловлено, в первую очередь, кооперативностью систем. Кооперация многих подсистем в системах различной природы подчиняется одним и тем же принципам. Приведем общую схему этого процесса [137].



Возможно, что с точки зрения кооперативности можно будет понять чрезвычайно высокую чувствительность биологических объектов и некоторых биохимических и химических реакций к естественным и слабым искусственным ЭМП. Известно, что энергия взаимодействия этих полей с биологическими макромолекулами на несколько порядков ниже энергии теплового движения молекул при обычных температурах. В последние годы сформулировано представление о механизме действия МП, не связанном с изменением энергетики процессов.

Любой химической реакцией управляют (разрешают или запрещают реакцию) энергия и спин. При определенных условиях магнитные поля

порядка десятков и сотен эрстед могут изменять вероятность реакций, протекающих через состояния с разной спиновой мультиплетностью. Поле индуцирует интеркомбинационные переходы или изменяет их вероятности. Наиболее важным условием осуществления переходов является реализация долгоживущих состояний радикальных пар, которое дает возможность для перехода между состояниями с различной спиновой мультиплетностью [172]. Кооперативность может обеспечить это важное условие, по-видимому.

1.3. Возможная роль естественных электромагнитных полей в биосфере

Как уже отмечалось, специфических реакций на действие естественных и искусственных ЭМП не обнаружено. Большинство исследователей при изучении влияния естественных и слабых искусственных ЭМП наблюдает изменение неспецифической резистентности организма [17, 40, 42, 45, 79]. Неспецифическая резистентность является обобщенной оценкой функционального состояния организма. Ее изменение связано прежде всего с деятельностью нервной и эндокринной систем, которые вовлекают в процесс все системы организма и все уровни организации вплоть до субклеточного. Неспецифическая резистентность поддерживается развитием адаптационных реакций на любое изменение внешней или внутренней среды. Эти общие приспособительные реакции организма однотипны для любых воздействий, качественная специфика каждого раздражителя лишь накладывается на общий неспецифический фон [45, 79].

Учитывая практически неограниченную проникающую способность ЭМП во все сферы обитания живых организмов, малую амплитуду по сравнению с другими факторами среды, действие на биосистемы всех уровней сложности, отсутствие специальных рецепторов для их восприятия и специфических реакций на их действие, небольшую величину (в сравнении с другими факторами среды) изменений в окружающей среде можно пред-

положить, что одной из функций природных ЭМП является поддержание функционального состояния на определенном уровне, на фоне которого развиваются реакции на другие — специфические воздействия. Какой биологический смысл может иметь предполагаемая роль ЭМП? Остановимся на некоторых примерах. После геомагнитной бури в организме людей с нарушениями деятельности гипоталамических структур мозга происходит постепенное развитие нарушений, нарастающее разрушение естественной иерархии ритмов, которое максимально проявляется через два дня после бури [74]. Показатели свертывающей и фибринолитической системы крови, физиологические показатели, обмен биологически активных веществ, показатели энергетического обмена изменяются максимально, как правило, через сутки — двое после геомагнитного возмущения [17]. Статистика дорожно-транспортных происшествий показывает, что максимальное число пострадавших отмечается в дни геомагнитных возмущений и на вторые-третьи сутки после возмущений [173]. На второй день после пересечения Землей границ между секторами межпланетного магнитного поля, степень выраженности психопатологического синдрома у больных нервно-психическими расстройствами достигает максимума [76, 174]. Интенсивность размножения бактерий на второй день после смены полярности межпланетного магнитного поля резко падает [33].

Возможно, что наблюдаемое запаздывание реакций является подготовкой организма к более сильным воздействиям, развивающимся в природе после геомагнитных возмущений, а электромагнитные факторы служат лишь предупреждающими сигналами предстоящих изменений.

Имеются данные, что индикаторами погодных изменений могут быть градиент потенциала электрического поля и проводимость воздуха [175]. Выяснено, что время реакции атмосферы на вторжение корпускулярного потока в магнитосферу составляет в среднем около трех дней с разбросом ± 1 день. Знак эффекта определяется как

правило, средним барическим режимом данного района Земли для данного сезона [176, 177]. На 3-4 день после начала геомагнитного возмущения суточные перепады давления коррелируют между собой на очень удаленных друг от друга станциях [177]. Спустя 3-4 суток после начала геомагнитного возмущения возникает или усиливается меридиональная циркуляция, в результате которой холодные массы арктического воздуха проникают к югу, а теплые субтропические - в высокие широты [176-178].

Аномалии в электрическом поле атмосферы являются предвестниками сейсмической активности [179]. Однако в настоящее время не представляется возможным выделить этот "более сильный" фактор, хотя бы потому, что связь электромагнитных процессов с атмосферными изучена недостаточно.

Еще одним подтверждением участия ЭМП в поддержании функциональной активности на определенном, необходимом организму, уровне могут служить опыты с компенсацией или экранированием ЭМП. Если животные или растения содержались в условиях скомпенсированного или ослабленного экраном ЭМП, как правило, развивались тормозные реакции [77, 78, 180-194]. Некоторыми исследователями показано [195, 196], что действие неблагоприятных факторов (высокой или низкой температуры, радиации) ослабляется, если организм предварительно помещать в МП определенных параметров. Магнитное поле одних и тех же параметров в одинаковой экспозиции вызывало сначала развитие различных реакций у белых крыс, в зависимости от исходного состояния; многократное (1-3 мес.) повторение одинаковых по силе и длительности воздействий приводило к волнообразной смене адаптационных реакций с преобладанием реакции, вызванной первоначально. Аналогичная картина наблюдалась и у людей. И наоборот: при волнообразном изменении интенсивности МП (1-300 Э, $f = 50$ Гц)

можно было добиться стойкого развития какой-либо одной адаптационной реакции [45].

Каким образом ЭМП может изменить уровень функциональной активности? Предполагается, что осуществление организмом приспособительных реакций происходит на основе колебательных процессов, которые регистрируются на всех уровнях организации живой системы [205]. Адаптация – это постоянная перенастройка всех подсистем в соответствии с потребностями целостной системы. Перенастройка осуществляется изменением фаз, амплитуд, периодов колебаний в подсистемах. Неоднократно высказывалось предположение, что влияние природных ЭМП осуществляется путем синхронизации биологических процессов. [3, 19–21, 28, 29, 97–200]. Для подтверждения этой гипотезы выдвигается ряд аргументов: 1) синхронность и синфазность изменений ЭМП Земли и многих биологических явлений; 2) совпадение периодов биоритмов и гармоник ЭМП. Однако совпадение может наблюдаться только потому, что как естественные ЭМП, так и биологические ритмы изменяются в очень широком диапазоне периодов. Синхронность и синфазность могут быть следствием реакции по схеме "изменение во внешней среде – ответ организма". Более обоснованным аргументом в пользу синхронизации являются примеры изменения численности популяций в естественных условиях [21]. В отсутствии полной синхронизации, в условиях действия на экосистемы большого числа факторов (как это и происходит в природе), на границе полосы синхронизации, близ какой-нибудь гармоники солнечной цикличности должны наблюдаться биения. На кривых, характеризующих плотность популяции в этом случае будут следующие особенности:

1) одновременное присутствие колебаний двух периодов; 2) соотношение амплитуд колебаний меняется со временем; 3) изменение фазовых соотношений этих величин. Такая картина наблюдается на кривых колебаний плотности насекомых грызунов [21]. В некоторые моменты

времени происходит полная синхронизация, в другие - минимум численности приходится на фазу подъема солнечной активности, затем на фазу максимума и т.д. Но подобная картина не исключается при опосредованном влиянии.

Косвенные свидетельства синхронизации биологических ритмов гелиогеомагнитными получены в работе Р.М.Арслановой с соавторами [201]. Ими выделена 5-7 суточная периодичность в частоте наступления сердечно-сосудистых катастроф, соответствующая такой же периодичности в гелиогеомагнитных показателях. На основании полученных результатов предполагается, что наиболее благоприятна для организма ситуация, когда периодические структуры околонеделных гелиогеомагнитных показателей строго согласуются между собой и с околонеделными ритмами организма. Если же ритмы рассогласованы, это усиливает напряжение механизмов адаптации, а в ослабленных организмах может вызвать серьезные нарушения - сердечно-сосудистые катастрофы.

Имеются данные о возникновении десинхроноза физиологических функций [74], изменении суточной ритмики в периоды возмущений геомагнитного поля Земли [202]. Экспериментальные подтверждения синхронизации электромагнитными полями биологических ритмов немногочисленны. На энцефалограммах животных [30,35,40] и человека [203] наблюдали признаки усвоения подаваемой частоты при воздействии ЭМП, сопоставимыми с естественными.

Доказательства синхронизирующего влияния природных ЭМП могли бы дать исследования, показывающие участие ЭМП в регуляции эндогенной ритмики. В настоящее время ситуация с изучением временной организации живых систем довольно сложна: еще мало что известно о механизмах возникновения биологических ритмов, их регуляции, лабильности. По современным представлениям ритмическая структура

организма, подобно его морфологии, наследственно закреплена - эндогенный ритм. Эндогенный ритм развивался как результат сложных взаимодействий внутри организма и как приспособление к ритмам внешней среды - эндогенный экологический ритм. Для этих ритмов характерна устойчивость периода по отношению к разнообразным воздействиям, стабильность при различных уровнях температуры и освещенности, автономность по отношению к обменным процессам. Благодаря автономности, эндогенный экологический ритм управляет ритмикой всего организма. Экологические ритмы служат организму в качестве часов, благодаря которым он ориентируется во времени и регулирует уровень мотиваций, что позволяет ему заранее подготовиться к ожидаемым изменениям условий. Наблюдаемый в естественных условиях ритм активности животного представляет собой сочетание элементов поведения, запускаемых эндогенным ритмом, и непосредственных реакций на внешние условия. Этот комплекс модифицируется физиологическим состоянием животного. Большинство физиологических ритмов (сердечный, дыхательный и др.) модулируются по частоте и амплитуде экологическими ритмами. Ритмические процессы должны обладать лабильностью. Наблюдения в природе и лабораторные исследования показывают, что эндогенный ритм изменяется соответственно условиям (времени года, погоде и т.д.) В течение суток, например, происходит изменение большинства факторов среды, но только некоторые могут оказывать влияние на эндогенный ритм - "быть датчиком времени". Датчики времени сдвигают фазу эндогенного ритма. Между ритмом организма и "включением датчика времени" должно существовать строго определенное фазовое соотношение [204]. Внешние факторы, суточная ритмика которых богата помехами и ненадежна, не могут быть "датчиками времени". Из рис. I.5 видно, что освещенность обладает наиболее четким и повторяющимся суточным ходом. Свет - основной датчик времени практически для всех

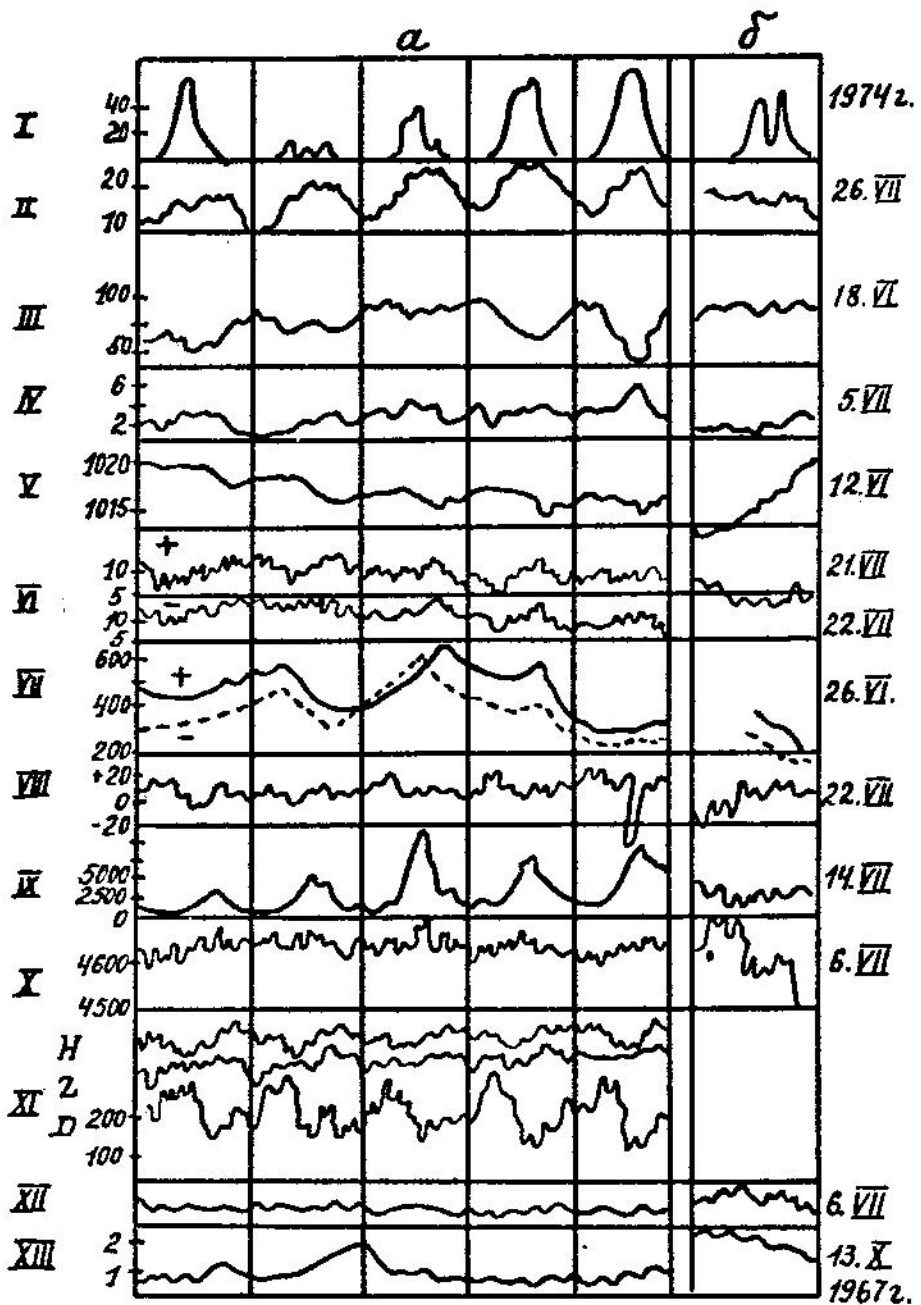


Рис. 1.5. Суточный ход геофизических факторов

I - освещенность; II - температура; III - влажность;
 IV - ветер; V - атмосферное давление; VI - электропроводность воздуха; VII - ионизация воздуха;
 VIII - градиент потенциала; IX - атмосферерики;
 X - космические лучи; XI - магнитное поле;
 XII - K-индекс; XIII - микросейсмы; а - за пять относительно спокойных дней (июнь 1974 г.); б - пример нарушенного суточного хода факторов [205]

животных и растений. Сила его воздействия определяется амплитудой и спектральным составом света. Амплитуда нарушений суточного хода освещенности всегда ниже амплитуды самого суточного хода. Суточный ход температуры отличается от освещенности большей неустойчивостью. Геомагнитное поле и атмосферика имеет четкий суточный ход, но во время геомагнитных возмущений амплитуда колебаний поля во много раз превышает амплитуду суточных колебаний, а суточный ход атмосфериков часто изменяется из-за погоды.

Может ли ЭМП быть датчиком времени? В экспериментах с воздействием искусственного электрического поля (ЭП) с частотой 10 Гц и напряженностью 2,5 В/м на людей, находившихся в экранированном от внешних ЭМП подземном бункере, ЭП ослабляло десинхронизацию физиологических процессов, приводило к укорочению циркадного ритма, уменьшало его индивидуальный разброс, даже если уровень поля не менялся в течение суток. Если амплитуду ЭП варьировали в соответствие с суточным ритмом, то циркадный ритм у людей превращался в суточный, но только на несколько периодов [171]. Результаты этих опытов показывают, что в условиях, когда уровень естественного фона потенциальных датчиков времени снижен, ЭМП могут, по-видимому, выполнять роль датчика времени, подобно тому, как у ослепленной мыши сначала наблюдалась десинхронизация физиологических ритмов, однако через 5 месяцев нормальная ритмика полностью восстанавливалась. Датчиками времени для нее стали слабые лабораторные шумы и запахи [206]. Опыты с домовыми воробьями показали, что циркадная активность воробьев может синхронизироваться циклическими изменениями интенсивности вертикальной компоненты МП Земли. Но магнитное поле действует как более слабый по сравнению со светом датчик времени [207]. В естественных условиях на организм действует несколько датчиков. Их эффекты, как

времени, настройка определяется самым "сильным" в данный момент датчиком, более слабый лишь сдвигает фазу ритма.

Регуляция экологических ритмов внешними факторами возможна потому, что в течение каждого из его периодов возникают неустойчивые состояния между двумя устойчивыми: состоянием активности и состоянием покоя. Таких неустойчивых состояний в течение периода бывает несколько. В суточном ритме, например, неустойчивых состояний более двух. Это состояние неустойчивости получило название времени потенциальной готовности [205]. Оно пока мало изучено, не во всех случаях удается определить границы неустойчивости. Благодаря устойчивым состояниям организм защищается от случайных изменений условий существования, благодаря неустойчивым — он может приспособиться к конкретным условиям за счет соотношения времени активности и покоя, а также за счет включения приспособительных механизмов. Можно предполагать, что в эти периоды организм способен воспринимать очень слабые сигналы, в том числе природные ЭМП, которые, по-видимому, при малой интенсивности или без влияния других факторов могут быть датчиками времени.

Несмотря на отсутствие убедительных доказательств синхронизации биологических ритмов природными ЭМП, совокупность выдвигаемых аргументов, результатов наблюдений и экспериментов не позволяет считать синхронизацию нереальной. Возможно, причина в методологии выявления синхронизации.

После появления работ Дж. Пиккарди [II-13] неоднократно обсуждался вопрос о влиянии естественных ЭМП непосредственно на водную среду живых организмов [3, 26, 27]. Известно, что структура белков, а, следовательно, их биологическая активность определяется свойствами водного окружения [208, 209]. Недавно появилось сообщение [210] об обнаружении перестроек структуры чистой воды, водных растворов электролитов, белков и плазмы крови с периодом от

I мин до 20 мин. Установлено, что растворы разных электролитов имеют разные периоды колебаний. На величину периода оказывает влияние ЭМП, эффект которых зависит от напряженности и частоты поля, вида электролита. Интересно, что ритмы перестройки, обнаруженные в этой работе, соответствуют периодам, выделенным при последовательном измерении скорости алкогольдегидрогенозной реакции с минутными интервалами в течение часа [211].

Эти результаты дают основание для развития идей Дж.Пиккарди.

Мы еще далеки от понимания взаимосвязей природных процессов, их согласованности и сложно пока однозначно ответить на вопрос "какую роль выполняют в биосфере природные ЭМП", несмотря на довольно большой фактический материал, выявляющий связи процессов в биосфере с космогелиогеофизическими факторами.

В настоящее время важно обобщенное изучение, которое позволило бы среди множества выделить главные причины и связи, определяющие поведение систем в изменяющихся условиях. Перспективна работа на моделях, адекватно отражающих отдельные или ряд свойств живых систем. Необходимо получение не фрагментарных данных (единичное событие), а их последовательности и совокупности.

Глава 2. МЕТОДЫ И УСЛОВИЯ ИССЛЕДОВАНИЯ, МЕТОДЫ ОБРАБОТКИ РЕЗУЛЬТАТОВ ОПЫТОВ

2.1. Методы проведения реакций

Агглютинация бактерий брюшного тифа (*Salmonella typhosa in vitro*) проводили со стандартными препаратами, предназначенными для медицинской диагностики. Агглютинация (склеивание) – образование агрегатов из микробных тел с последующим укрупнением агрегатов и выпадением их в осадок. Происходит в результате взаимодействия антител с антигенными детерминантами, расположенными на поверхности микробных клеток. Реакция протекает в растворе электролита. В качестве антигена применяли брюшнотифозный диагностикум группы "ОН" (взвесь убитых формалином микробов в 0.15 М растворе *NaCl*). Источником антител служила агглютинирующая неадсорбированная сухая сыворотка. Сыворотку растворяли в 0,15 М растворе *NaCl* и готовили рабочий раствор разведения 1:10000, рН 7,44, который разливали в пробирки (30-60 штук) по 3 мл. Добавляли по 0.24 мл диагностикума (в 1 мл диагностикума содержится 2-3 млрд. микробных тел по оптическому стандарту), пробирки встряхивали и помещали в двухслойный пермаллоевый экран, находящийся в термостате ($t = +37^{\circ}\text{C}$). Спустя 2 ч измеряли оптическую плотность реакционной смеси с помощью фотоэлектроколориметров ФЭК-56 М ($\lambda = 400_{\pm 5}$ нм) или ФЭК-М ($\lambda = 415$ нм). Предварительные опыты показали, что при выбранных температуре, концентрациях реагентов и продолжительности опытов интенсивность агглютинации является величиной обратной оптической плотности. Осадок не образуется, происходит только образование агрегатов. Выбор концентрации реагентов не случаен. Если провести агглютинацию полностью (24 ч) и оценить ее в баллах от нуля до четырех, как принято в иммунологии, то при разведении сыворотки 1:10000 при-

мерно половина результатов будет оценена тремя баллами, а половина - четырьмя. При более сильных и более слабых разведениях, которые пригодны для оптических измерений, соотношение получается иное. При сильных разведениях большая часть оценивается тремя баллами, при слабых - четырьмя. Равновероятное появление результатов, оцениваемых тремя и четырьмя баллами, можно нарушить слабым внешним воздействием на реакцию.

Изучали зависимость интенсивности агглютинации ($\frac{1}{D}$, где D - оптическая плотность) и флуктуаций интенсивности от частоты и напряженности МП, зависимость эффектов МП от температуры, рН, концентрации $NaCl$ - хлористого натрия в реакционной смеси, при предварительной обработке МП ($H = 0.4$ А/М) различных частот исходных компонентов реакционной смеси: дистиллированной воды, 0.15 М раствора $NaCl$, диагностикума, сыворотки (сухого препарата и растворенного в 0.15 М $NaCl$).

Для получения зависимости эффектов от рН готовили буферы. Буферы с рН 3 и 4 готовили из 0.1 М цитрата натрия ($Na_2H_2C_6H_5O_7$) и 0.1 N соляной кислоты (HCl); буферы с рН 5-8 из 1/15 М дигидрофосфата калия (KH_2PO_4) и 1/15 М дигидрофосфата натрия ($Na_2HPO_4 \times 2H_2O$); буфер с рН 9 - из 0.05 М тетрабората натрия ($Na_2B_4O_7 \times 10H_2O$) и 0.1 N HCl .

В ходе автоколебательной гомогенной химической реакции Белоусова-Жаботинского происходит окисление малоновой кислоты $CH_2(COOH)_2$ броматом калия $KBrO_3$ в присутствии катализатора - ионов церия Ce^{3+} , Ce^{4+} .

Вследствие колебания концентраций окисленной (Ce^{4+}) и восстановленной (Ce^{3+}) форм церия оптическая плотность реакционной смеси периодически меняется [212, 213]. В наших опытах регистрация оптической плотности проводилась колориметром-нефелометром ФЭК-60 ($\lambda = 300$ нм) с последующей записью колебаний на ленте самописца

Н-306-3. Амплитуду колебаний в мм измеряли с точностью $\pm 0,5$ мм.

Реакционная смесь (18 мл) находилась в термостатированной кювете при температуре $38 \pm 0,5^\circ\text{C}$ и непрерывно перемешивалась винтообразной механической мешалкой диаметром 7 мм со скоростью 60 об/мин. Блок схема экспериментальной установки приведена на рис.2.1 На рис.2.2 показано изменение сигнала, поступающего с ФЭКа на самописец, в течение опыта. В кювету вместо реакционной смеси налита вода.

Исследовалась непроточная система в режиме квазигармонических колебаний (рис.2.3, 2.4). Реакционная смесь без церия прогревалась и перемешивалась в течение 15 мин, затем добавлялся церий

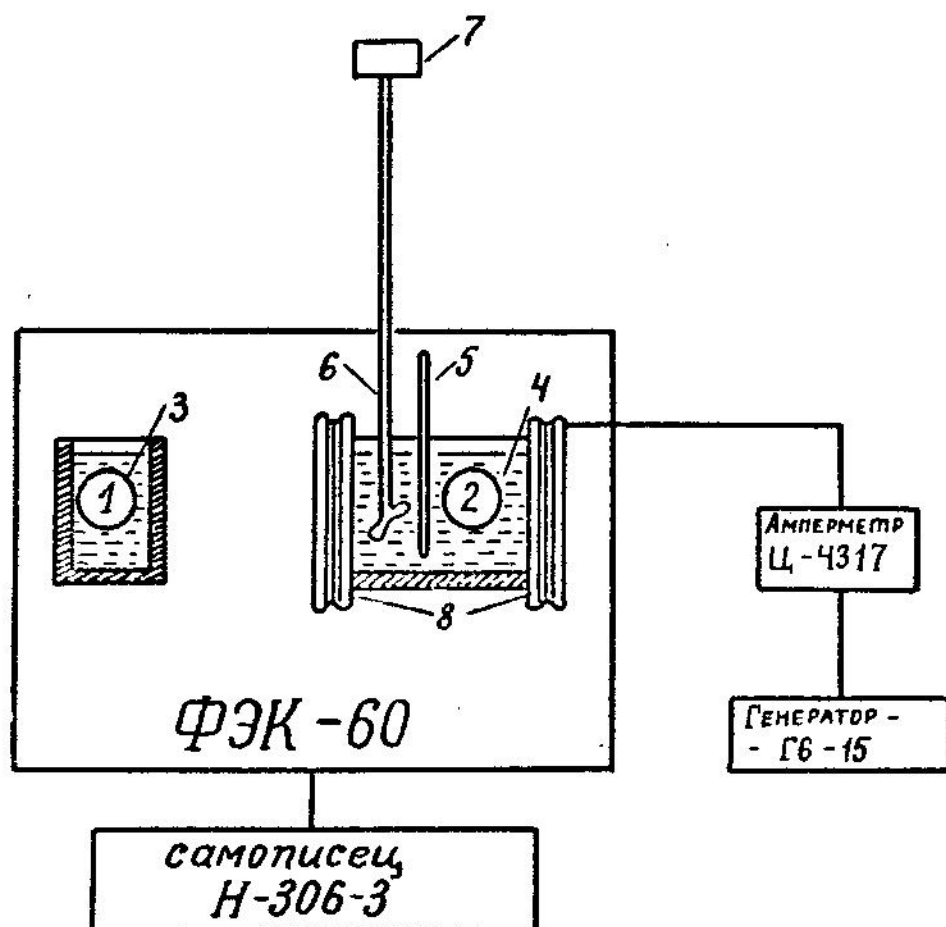


Рис.2.1. Блок-схема экспериментальной установки для регистрации автоколебаний

1,2 - световые пучки, 3 - кювета сравнения, 4 - реакционная смесь, 5 - ртутный термометр, 6 - механическая мешалка, 7 - электромотор, 8 - прямоугольные катушки

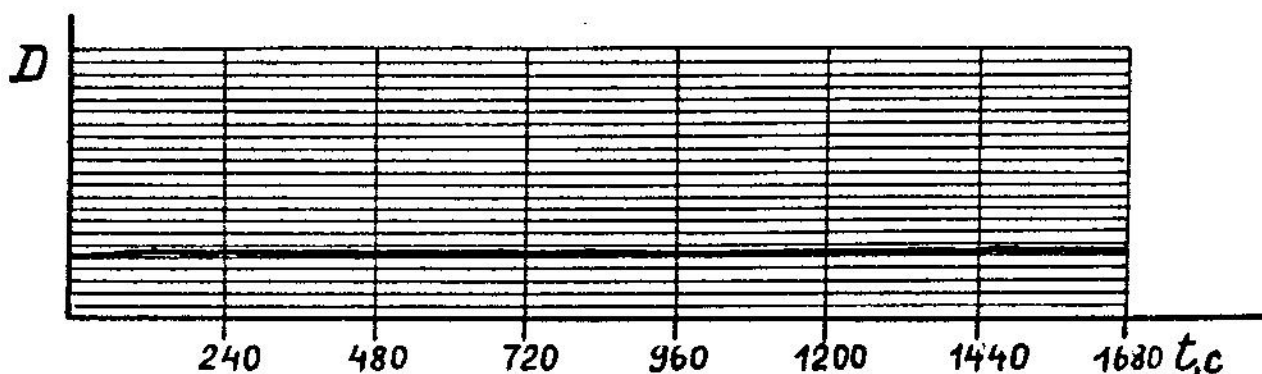


Рис. 2.2. Аппаратурные погрешности установки.

D - оптическая плотность

Колебания регистрировались (при исследовании влияния МП на амплитуду реакции) в течение 30 мин с момента их начала. Магнитное поле включалось сразу после помещения кюветы с реакционной смесью в ФЭК и не выключалось в течение всего опыта.

Было проведено 8 серий опытов (табл.2.1). Изучали зависимость амплитуды колебаний и флуктуаций амплитуды от частоты и напряженности МП, зависимость эффектов МП от температуры, концентрации церия, при добавлении в реакционную смесь гидрохинона, влияние поля на скорость реакции окисления трехвалентного церия броматом, а также изменение амплитудно-частотных спектров при непрерывном действии поля и на отдельные стадии реакции.

Для выяснения влияния МП на частоту автоколебаний применяли амплитудно-частотный спектральный анализ. Для регистрации частоты электрический сигнал с фотоэлектроколориметра ФЭК-60, пропорциональный оптической плотности раствора, подавался на самописец Н-306-3 и одновременно через усилитель на цифровой вольтметр ЭЦВ-3. С выхода вольтметра сигнал в двоично-десятичном коде поступал на устройство считывания кодовой информации и затем на ленточный перфоратор ПЛ-20 (рис.2.5). Плавно изменяющийся усиленный сигнал с ФЭКа подвергался дискретизации. Шаг дискретизации

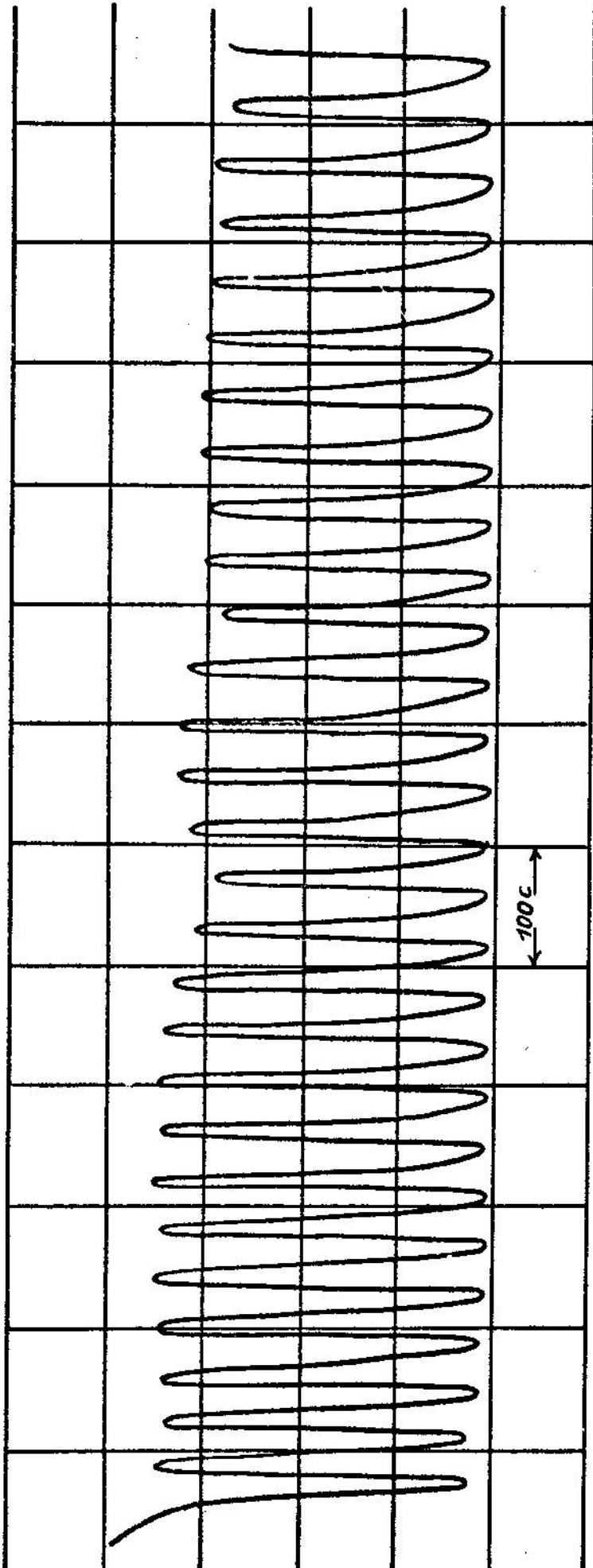


Рис. 2.3. Запись колебаний в неустойчивом режиме (см. табл. 2.1)

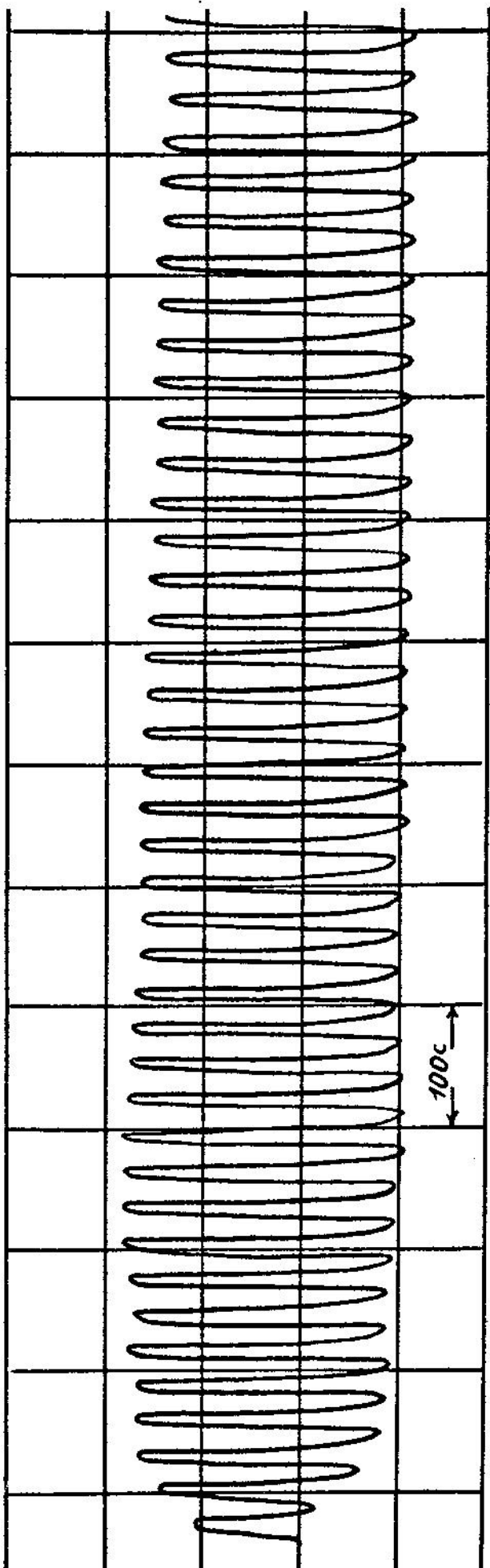


Рис. 2.4. Запись колебаний в устойчивом режиме (см.табл. 2.1)

Таблица 2.1

Концентрации реагентов в различных сериях опытов с реакцией Белоусова-Жаботинского

Серии опытов	Начальные концентрации реагентов в реакционной смеси в моль/л				
	Ч	ХЧ	Ч	Чда	Ч
	$Ce_2(SO_4)_3 \cdot 8H_2O$	$KBrO_3$	$CH_2(COOH)_2$	H_2SO_4	$C_6H_4(OH)_2$
<u>И-зависимость</u>					
ПМП	$1,4 \times 10^{-4}$	0,015	0,06	1,5	
ПМП*	$8,3 \times 10^{-5}$	0,016	0,07	1,5	
ПеМП	$1,7 \times 10^{-4}$	0,017	0,07	1,5	
<u>f-зависимость</u>	$1,7 \times 10^{-4}$	0,017	0,07	1,5	
<u>t°-зависимость</u>	$1,7 \times 10^{-4}$	0,017	0,07	1,5	
Частотные спектры	$1,4 \times 10^{-4}$	0,015	0,06	1,5	
Влияние гидрохинона	$1,4 \times 10^{-4}$	0,015	0,06	1,5	6×10^{-5}
Реакция* $Ce^{3+} + BrO_3^-$	$1,4 \times 10^{-4}$	0,015		1,5	

Примечание. ПМП - постоянное поле, ПеМП - переменное поле.

ПМП - режим колебаний устойчивый. Критерием устойчивости служили величина флуктуаций амплитуды колебаний и полное число периодов. Число наблюдаемых периодов в устойчивом режиме достигало 470, в неустойчивом - 140.

(*) - схема проведения опытов такая же, как в других сериях. Реактивы взвешивали на весах модели ВЛР-200Г, позволяющих снимать отсчет с точностью 0,05 мг. Точность наливания реактивов в кювету:
 H_2SO_4 - 0,05 мл, $KBrO_3$ и $CH_2(COOH)_2$ - 0,01 мл,
 $Ce_2(SO_4)_3 \cdot 8H_2O$ - 0,005 мл.

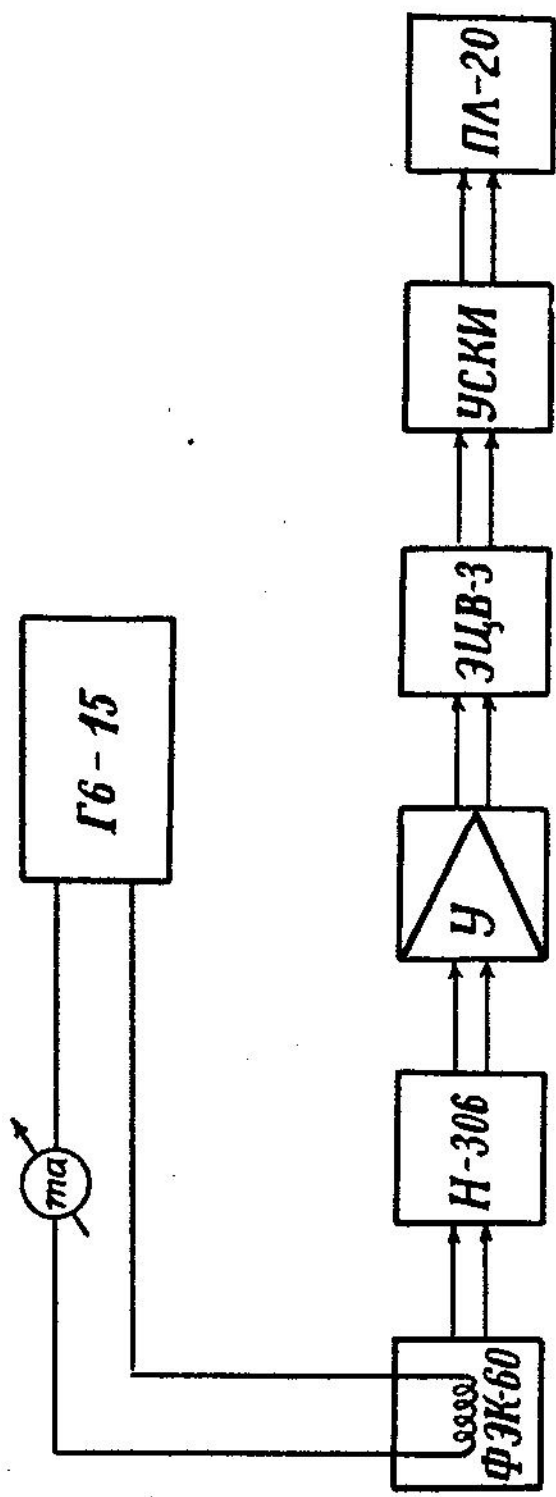


Рис. 2.5. Функциональная схема экспериментальной установки для регистрации частоты автоколебаний.
 ФЭК - фотоэлектроколориметр - нефелометр;
 самописец Н-306; ЭЦВ-3 - электронный - цифровой вольтметр;
 УСКИ - устройство считывания кодовой информации;
 ПК-20 - ленточный перфоратор; Г6-15 - генератор

равнялся 1, 2 или 4 с. Исследовались реализации длительностью 2024 и 4096 с. Результаты опытов, записанные на перфоленте, обрабатывали на ЭВМ М-220 методом быстрого преобразования Фурье [214]. На рис. 2.6 приведен пример амплитудно-частотного спектра синусоидального сигнала, подаваемого на катушку для создания МП, от генератора Г6-15. При изучении влияния МП на отдельные стадии колебательной реакции одиночные прямоугольные однополярные импульсы МП длительностью $4 \pm 0,2$ с с напряженностью 40 А/м подавали в моменты максимума и минимума, быстрого увеличения и уменьшения оптической плотности в каждом колебании.

Изучалось влияние МП постоянного ($H = 40$ А/м) и переменного: $H = 40$ А/м, $f = 0,01, 0,02, 0,025, 0,03, 0,05, 0,25$ Гц; $H = 8$ А/м, $f = 0,03, 0,05, 2$ Гц; $H = 4$ А/м, $f = 0,02, 0,03, 0,04, 0,05$ Гц на амплитудно-частотные спектры автоколебательной реакции.

2.2. Условия исследования реакций

Пермалловый экран, в котором проводили агглютинацию бактерий, состоял из двух камер цилиндрической формы, вставленных одна в другую с толщиной стенок 1 мм. Диаметр наружной камеры - 325 мм, высота 300 мм, диаметр внутренней камеры 190 мм, высота 190 мм. Расчетный коэффициент ослабления постоянного МП Земли этим экраном равен приблизительно 10^4 .

Магнитное поле в опытах с агглютинацией бактерий создавалось с помощью колец Гельмгольца, помещенных в пермалловый экран. Диаметр колец $d = 112$ мм, число витков в каждом из двух колец - 12,5, расстояние между кольцами - 50 мм.

При исследовании влияния на автоколебательную реакцию МП использовали две катушки индуктивности, соединенные последовательно. Неравномерность поля, измеряемая различиями напряженности

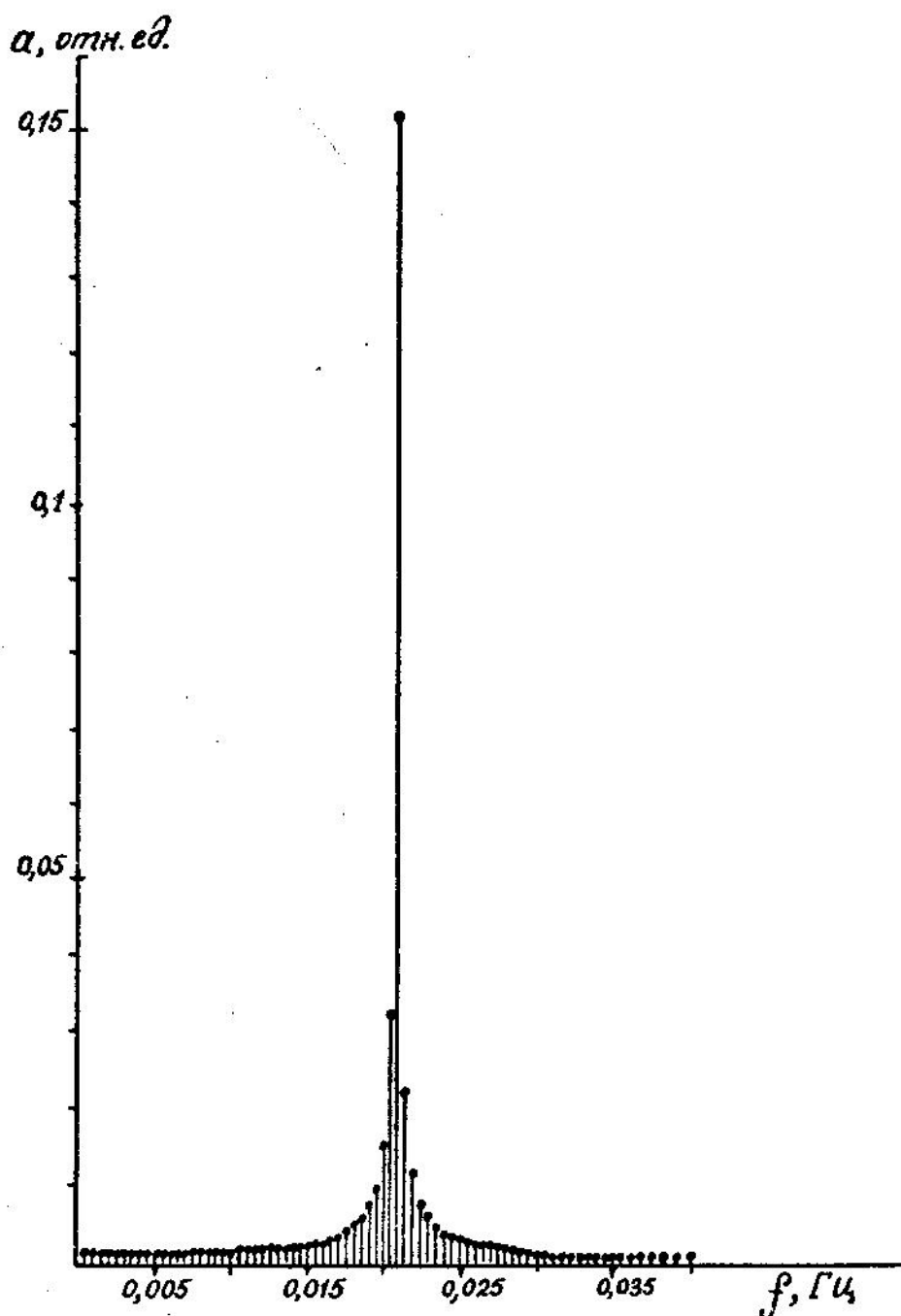


Рис. 2.6. Амплитудно-частотный спектр синусоидального сигнала $f = 0,02$ Гц, подаваемого от генератора Г6-15, α - амплитуда гармоник в относительных единицах

между серединой и краями по оси, соединяющей центры катушек, составляла 56 %.

Синусоидальный ток в обмотку колец Гельмгольца и катушек индуктивности подавали от генераторов ГЗ-16, либо Г6-1Б, постоянный ток - от батарей "Элемент-373" или от блока питания. Пульсации постоянного тока от блока питания составляли 0,08 %. Флуктуации тока от батарей были в пределах точности измерения тока миллиамперметром. Напряженность поля определяли расчетным путем по величине тока. Величину тока контролировали постоянно (в начале, середине и конце каждого опыта) миллиамперметром с точностью около 1,5 %, напряженность поля - с помощью калибровочной катушки с точностью не хуже 25 %.

Работа с искусственными ЭМП связана с многими методическими трудностями. Из параметров искусственных ЭМП, обладающих биологическим действием, были отмечены следующие: напряженность, градиент, частота, модуляция, форма импульса, вектор, экспозиция, локализация. Естественные ЭМП и их лабораторные имитации сильно отличаются по всем этим параметрам. Кроме того, работа со слабыми искусственными ЭМП всегда проводится с погрешностями, связанными с влиянием неконтролируемых естественных и промышленных ЭМП, с отсутствием измерительных приборов для контроля напряженности в объеме, где проводится опыт, с неравномерностью поля в объеме соленоида.

2.3. Методы обработки экспериментальных данных

Выборочная проверка экспериментальных данных по обеим реакциям показала, что результаты измерений с уровнем значимости 95% не противоречат гипотезе о нормальном законе распределения.

Проверка была осуществлена двумя методами: методом спрямленных диаграмм [216] и более точно - методом Пирсона [215, 216].

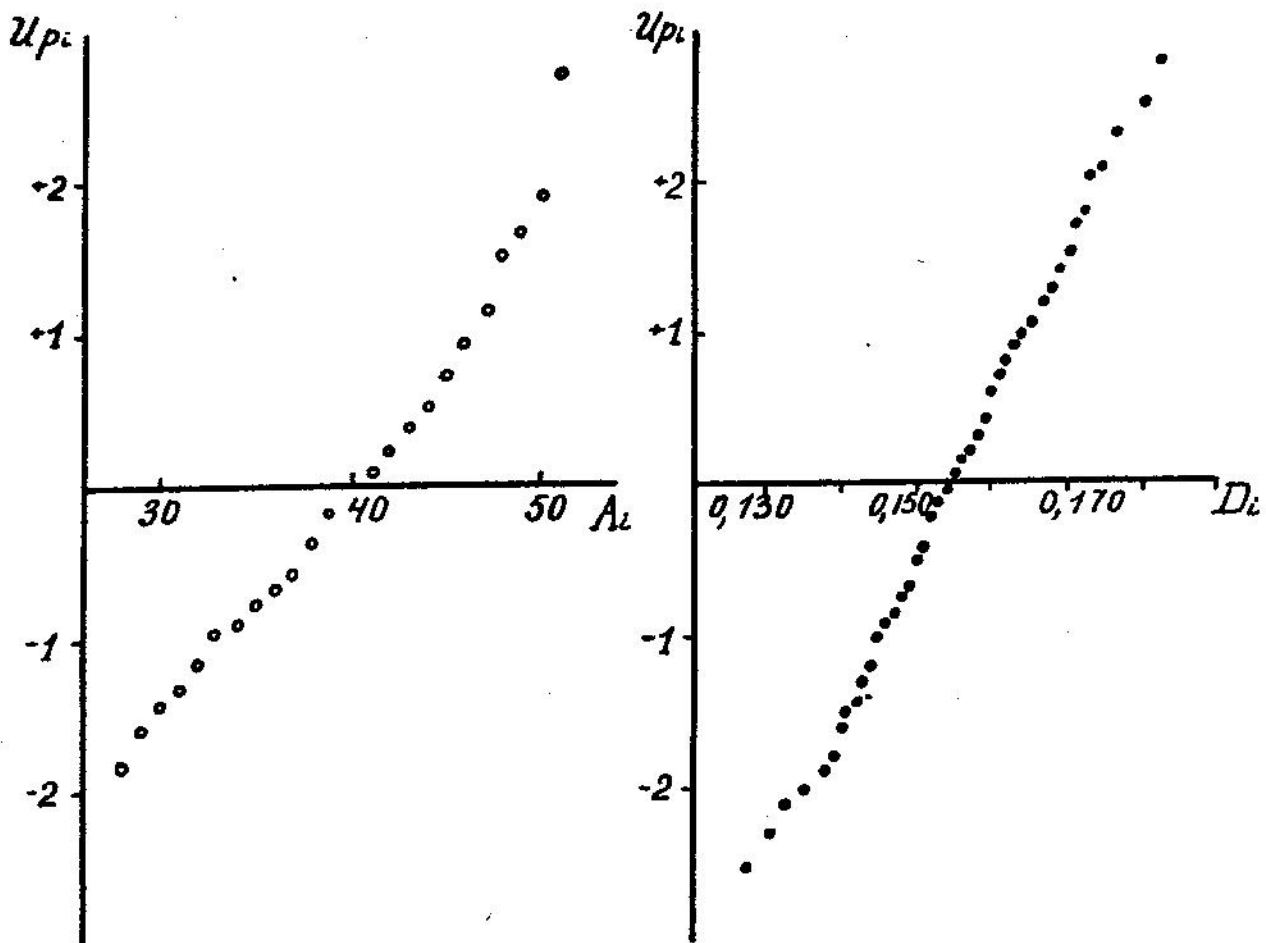


Рис. 2.7. Спрявленные диаграммы статистических распределений амплитуды колебаний в реакции Белоусова-Жаботинского (A_i) и значений оптической плотности, характеризующей интенсивность агглютинации (D_i).

U_{p_i} - квантили нормального распределения

прямой, нет оснований отвергать гипотезу о нормальном распределении. На концах точки могут заметно отклоняться (рис. 2.7.).

Для нормального распределения наилучшими оценками измеряемой величины являются выборочная среднееарифметическая (\bar{X}) и стандартное отклонение (σ). Квадрат стандартного отклонения называется дисперсией (σ^2). Они определяют положение среднего значения ряда и отклонение отдельных значений от среднего [215, 217, 218].

Кроме стандартного отклонения, для оценки variability измеряемой величины удобно пользоваться относительным стандартным отклонением

$$v = \frac{\sigma}{\bar{X}}, \quad \bar{X} \neq 0.$$

Эту величину, выраженную в процентах, называют коэффициентом вариации. С вероятностью 95 % доверительный интервал для коэффициента вариации при $n > 12$ и $v < 350\%$ находится [219]:

$$\text{верхняя граница} \quad \frac{1}{1 - K\sqrt{1 + 2v^2}} v;$$

$$\text{нижняя граница} \quad \frac{1}{1 + K\sqrt{1 + 2v^2}} v;$$

$$\text{где } K = \frac{\chi}{\sqrt{2(n-1)}}.$$

Для двухстороннего критерия и 95 % доверительной вероятности критическое значение χ равно 1,96, для 99 % вероятности - 2,57.

Для сравнения средних значений результатов контрольных опытов и опытов с воздействием МП использовали критерий Стьюдента (t -критерий):

$$|t| = \frac{|\bar{X}_k - \bar{X}_{мп}|}{\sqrt{m_k^2 + m_{мп}^2}} > t_\alpha$$

где $\bar{X}_k, \bar{X}_{мп}$ - средние значения, полученные в контрольных опытах и опытах с воздействием МП; $m_k, m_{мп}$ - среднеквадратические ошибки средних ($\frac{\sigma}{\sqrt{n}}$), t_α - критическое значение t , определенное по таблицам.

Обоснования применения критериев описаны во всех пособиях по статистике, поэтому ограничимся приведением расчетных формул.

Следует заметить, что t -распределение напоминает нормальное: оно непрерывно, симметрично, колоколообразно, с областью изменения от минус бесконечности до плюс бесконечности. Главное отличие его от нормального распределения заключается в том, что оно не зависит от значений математического ожидания и стандартного отклонения. Форма t -распределения зависит только от числа степеней свободы $\gamma = n - K$, n - объем выборки, K - число оцениваемых по выборке параметров. При большом числе степеней свободы t -распределение сходится к нормальному.

При сравнении дисперсий использовали критерий F (Фишера). Он основан на проверке равенства дисперсий двух выборок:

$$F = \frac{\sigma_1^2}{\sigma_2^2}$$
 , где σ_1^2 - большая выборочная дисперсия. Нуль-гипотеза (H_0) $\sigma_1^2 = \sigma_2^2$ отклоняется, если рассчитанное по выборочным дисперсиям значение F больше, чем соответствующее табличное значение F .

При оценке корреляции двух рядов наблюдений использовали метод корреляции рангов Спирмена - ρ [220]

$$\rho = \frac{1 - 6 \sum_{i=1}^n d_i^2}{n(n^2 - 1)},$$

где $\sum_{i=1}^n d_i^2 = \sum_{i=1}^n (r_1 - r_2)^2$ - сумма квадратов разностей соответствующих рангов сопоставляемых выборок, n - число пар. Ранговые критерии не зависят от вида распределений.

Для того чтобы показать как изменялась измеряемая величина в опытах с воздействием МП относительно контроля, на рисунках по оси абсцисс откладывалась величина $\frac{\bar{X}_k - \bar{X}_{мп}}{\bar{X}_k} \cdot 100\%$ (I). Ошибку этого отношения находили следующим образом. Выражение (I) можно представить как:

$$\frac{\bar{X}_K}{\bar{X}_K} - \frac{\bar{X}_{MN}}{\bar{X}_K} = 1 - \frac{\bar{X}_{MN}}{\bar{X}_K},$$

тогда ошибка отношения $\frac{\bar{X}_{MN}}{\bar{X}_K}$ определяется так [221]:

$$(m)^2 = \left(\frac{m_{MN}}{\bar{X}_{MN}}\right)^2 + \left(\frac{m_K}{\bar{X}_K}\right)^2,$$

отсюда

$$m = \sqrt{\left(\frac{m_{MN}}{\bar{X}_{MN}}\right)^2 + \left(\frac{m_K}{\bar{X}_K}\right)^2} \times 100\%.$$

Опыты с воздействием магнитного поля и контрольные проводили поочередно. Каждый опыт включал не менее 30 измерений (30 пробирок, в которых протекала агглютинация бактерий; 30 колебаний в автоколебательной реакции). Для проверки влияния какого-либо фактора на реакции проводили, как минимум, три контрольных опыта и три опыта с воздействием на реакцию изучаемого фактора. Каждая точка на рисунках - результат усреднения не менее 90 измерений.

Различия между контролем и опытом считались статистически значимыми, если вероятность принадлежности выборок к одной совокупности была меньше или равна 0,05 ($P \leq 0,05$).

На рис. 2.8 приведен пример сравнения результатов опытов "контроль-контроль" и "контроль-МП", проведенных с реакцией Белоусова-Жаботинского. Из рисунка видно, что различия опытов "контроль-контроль" невелики - обычно в пределах 3 %, тогда как в опытах с воздействием МП они равны: 14,5 % (4), 8 % (5), 5,5 % (6).

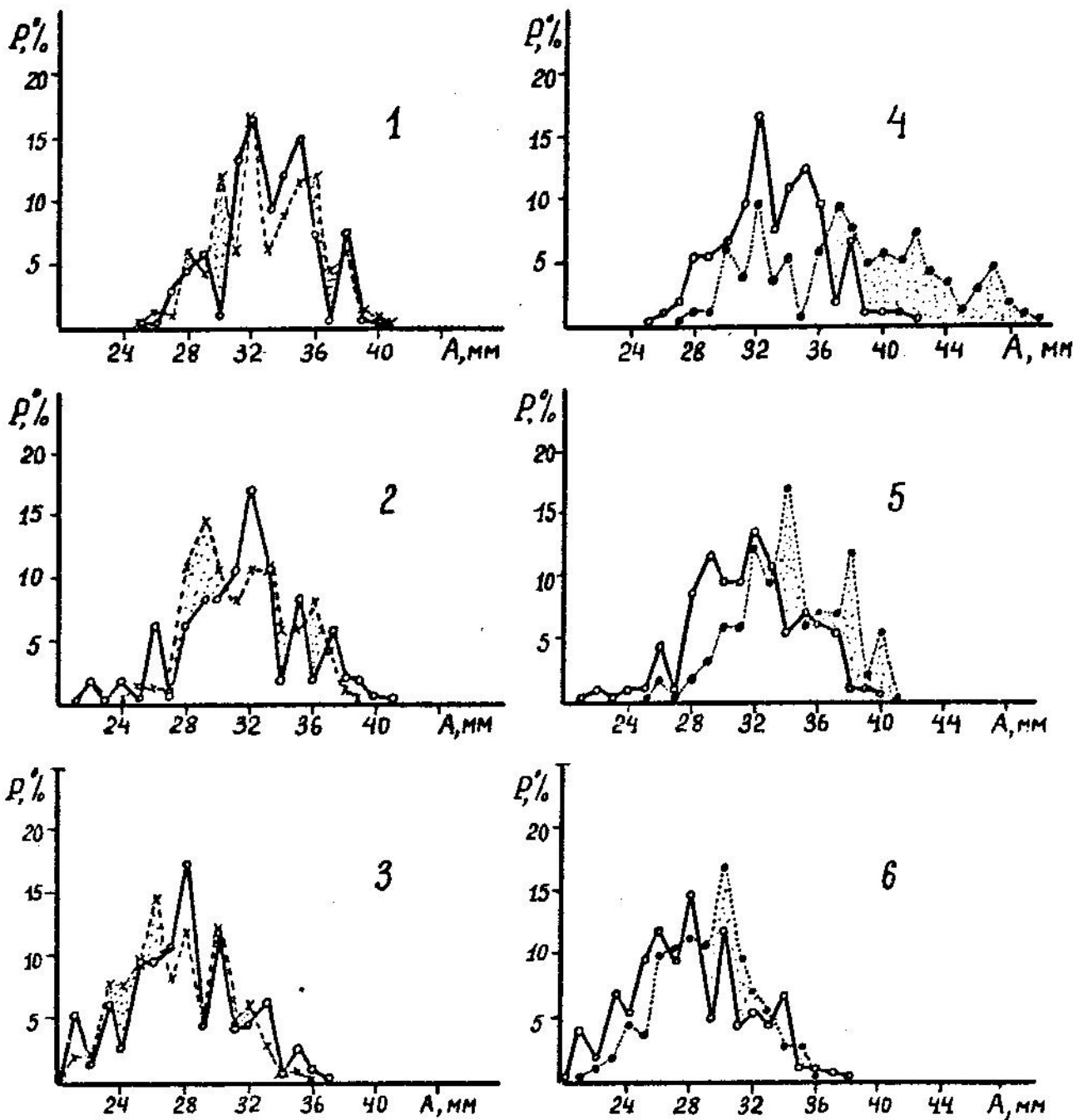


Рис. 2.8. Статистические распределения значений амплитуды колебаний в автоколебательной реакции Белоусова-Жаботинского (1-3) — "контроль-контроль", (4-6) — "контроль-МП", На рисунках (4-6) пунктирная линия — результаты опытов с воздействием МП ($H = 40 \text{ А/м}$, $f = 0,03 \text{ Гц}$)

Глава 3. ВЛИЯНИЕ ИСКУССТВЕННЫХ МАГНИТНЫХ ПОЛЕЙ НА ИССЛЕДУЕМЫЕ СИСТЕМЫ

Для того чтобы понять роль естественных ЭМП в биосфере, необходимо выяснить основные закономерности их действия. Важным этапом на этом пути является изучение эффектов ЭМП в зависимости от частоты и напряженности.

Нами были проведены исследования по изучению влияния магнитных полей монохроматических частот с амплитудами, на несколько порядков превышающими амплитуды естественных ЭМП на этих же частотах.

3.1. Агглютинация бактерий

Зависимость от напряженности МП ($H = 0,04; 0,02; 0,4; 0,8; 4; 8; 20; 40; 80; 200$ А/м) изучали при действии на реакцию поля сверхнизких ($f = 0,01; 0,1$ Гц) и низких ($f = 100; 250$ Гц) частот. Опыты проводили в двухслойном пермалловом экране. Результаты опытов представлены на рис.3.1. Из рисунка видно, что слабые МП при определенных параметрах воздействия достоверно изменяют интенсивность агглютинации бактерий, хотя эффекты и невелики. На сверхнизких частотах изменения составляют около 1 %, на низких — достигают 8 %. МП с напряженностями от 0,04 до 4 А/м действует более эффективно, чем с напряженностями от 8 до 200 А/м. При напряженности 0,2 А/м достоверные изменения отмечены на всех частотах, при напряженности 4 А/м — на 3 частотах (0,1; 100; 250 Гц).

Зависимости от напряженности имеют сложный характер: меняется знак эффектов, существует несколько экстремумов (полиэкстремальность). Ход кривых, полученных в разное время при действии МП различных частот, в общих чертах совпадает, что может служить подтверждением реального существования таких сложных зависимостей.

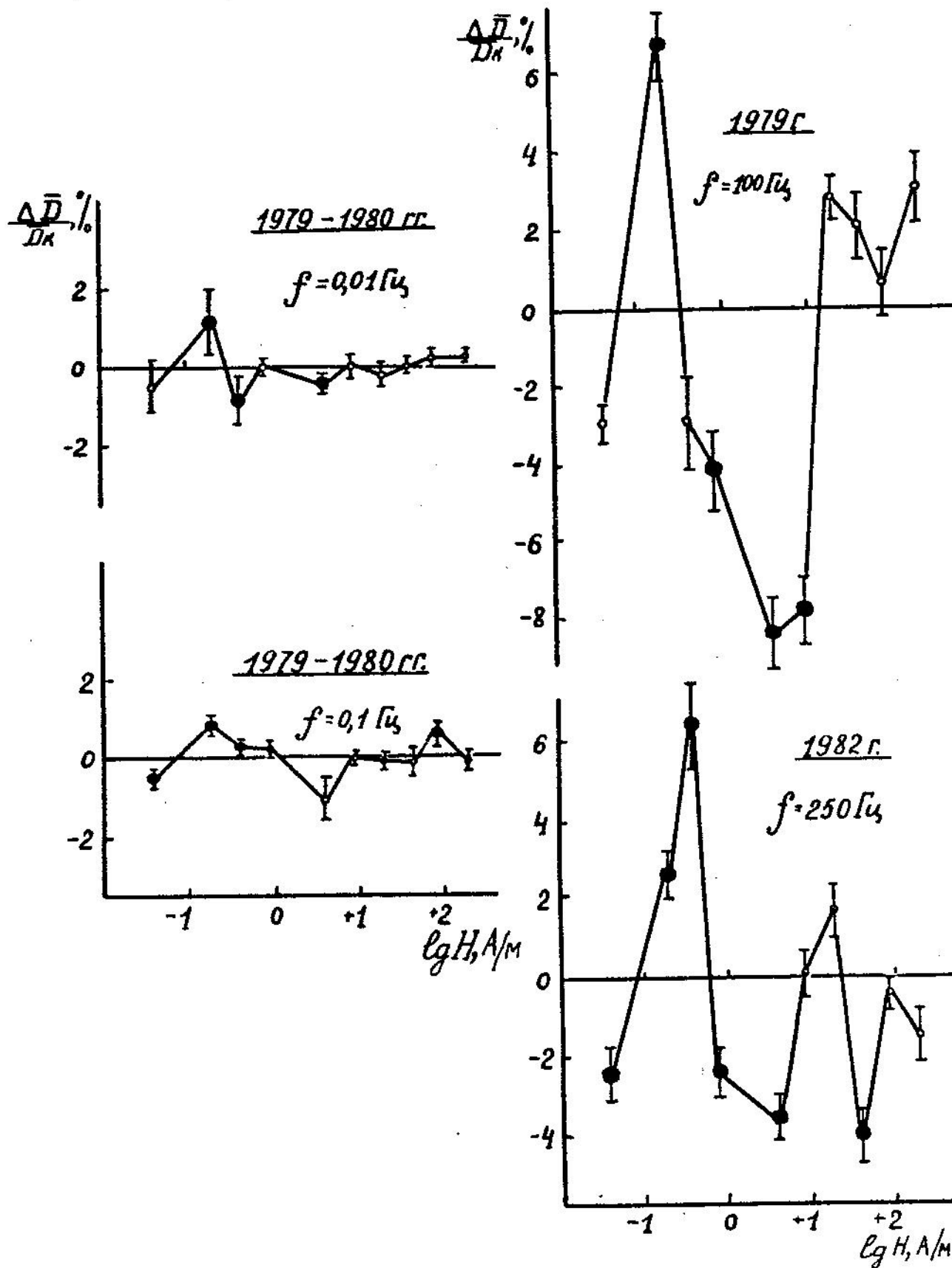


Рис. 3.1. Зависимость интенсивности агглютинации бактерий от напряженности магнитного поля.
 $\frac{\Delta \bar{D}}{\bar{D}_k} = \frac{\bar{D}_k - \bar{D}_{пл}}{\bar{D}_k} \times 100\%$ где \bar{D}_k , $\bar{D}_{пл}$ - средние значения оптических плотностей реакционной смеси в контроле и в опытах с воздействием МП соответственно; выделенные точки - изменения достоверны с уровнем значимости $P < 0.05$ - $P < 0.001$

Зависимость от частоты ($f = 0,01; 0,1; 1; 10; 20; 50; 100; 250; 500; 1000$ Гц) изучали при действии МП с напряженностями 0,2 и 0,4 А/м. Опыты при напряженности 0,4 А/м проведены в двух вариантах - в двухслойном пермалловом экране и без экрана. При проведении серии опытов по изучению влияния МП напряженностью 0,2 А/м достоверные изменения интенсивности агглютинации бактерий относительно контроля наблюдали на всех частотах, кроме 20 и 50 Гц. На частотах 100 и 250 Гц интенсивность агглютинации возрастала, на всех остальных - уменьшалась (рис. 3.2.)

При действии МП с напряженностью 0,4 А/м как в естественных условиях, так и при проведении реакции в экране, наибольшие эффекты наблюдали на частотах 0,1; 250; 500; 1000 Гц. В промежуточной области (1-100 Гц) статистически значимых изменений интенсивности агглютинации относительно контроля не отмечено. На частоте 0,1 Гц изменения разнонаправлены в опытах с экранированием и без экрана. Самые значительные изменения и хорошо воспроизводимые опыты наблюдались на частоте 250 Гц. Эффекты в среднем не превышали 2 %, хотя в отдельных опытах достигали 9-12 %.

Из рис. 3.2 видно, что зависимости интенсивности агглютинации от частоты, так же как зависимости от напряженности, полиэкстремальны. Ход кривых, полученных в разное время, при действии на реакцию МП различных напряженностей имеет сходство. Полиэкстремальность, амплитудные и частотные "окна" отмечает большинство исследователей, работающих со слабыми полями (см. табл. I.3, гл. I). Этот факт пока не имеет объяснения.

Зависимость флуктуаций интенсивности реакции от напряженности и частоты МП также полиэкстремальна (рис. 3.3, 3.4). Флуктуации интенсивности реакции изменялись при действии МП относительно контроля более существенно (в полтора-два раза), чем средние

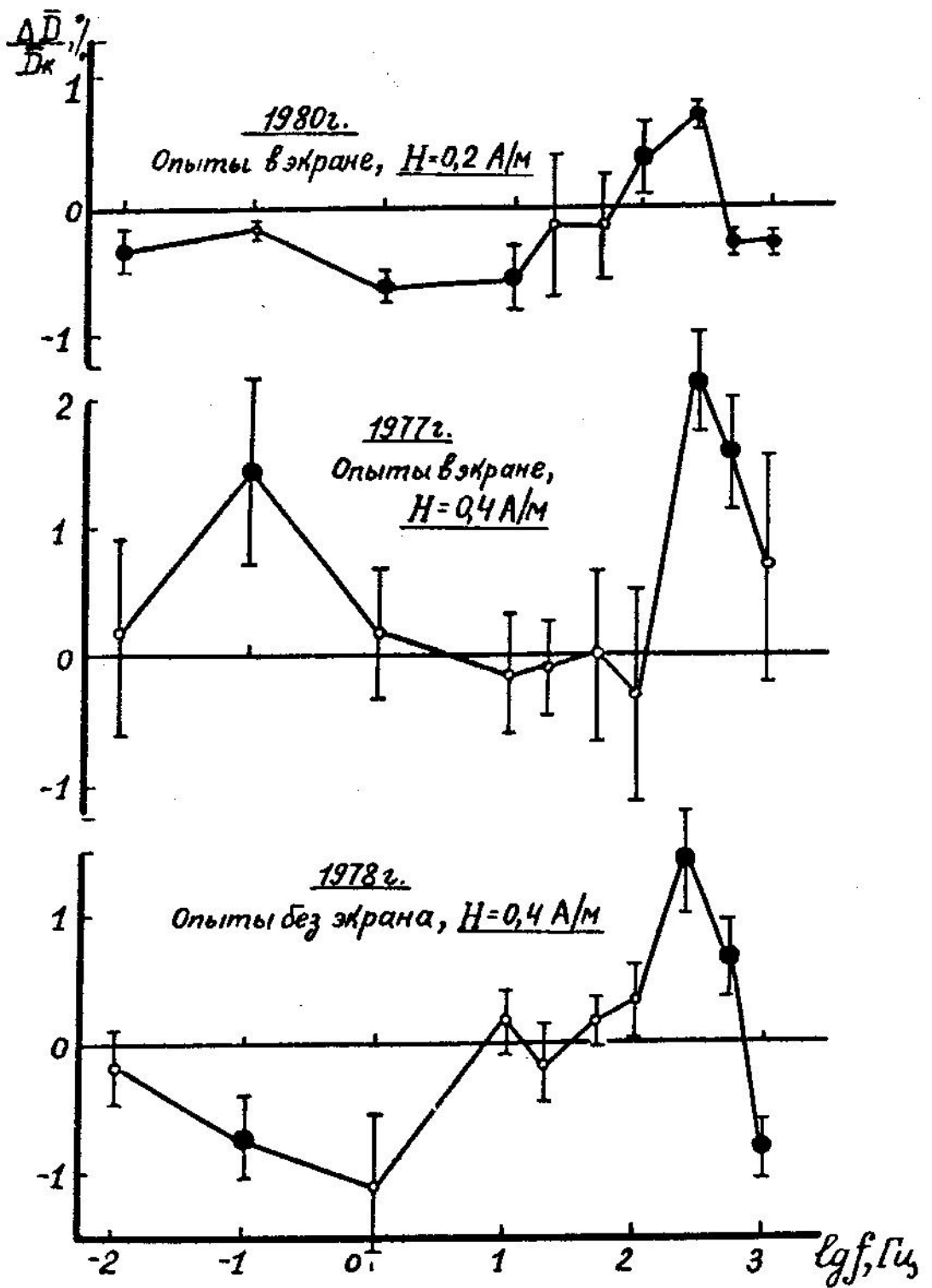


Рис. 3.2. Зависимость интенсивности агглютинации бактерий от частоты магнитного поля.
Обозначения - как на рис.3.1

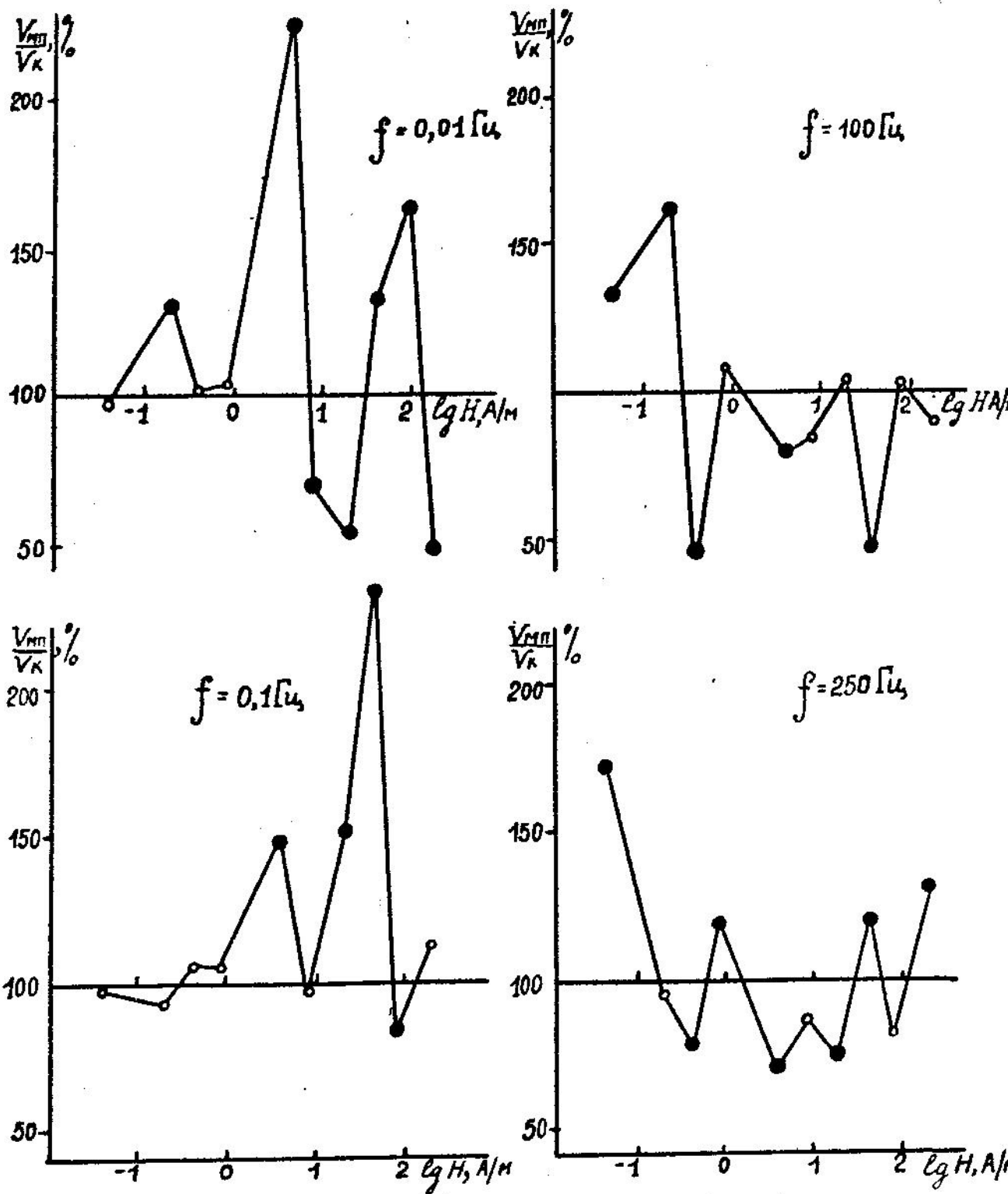


Рис. 3.3. Зависимость флуктуаций интенсивности агглютинации бактерий от напряженности магнитного поля. Коэффициенты вариабельности (гл.2, § 2.3) в в опытах с воздействием МП ($V_{мп}$) и в контрольных (V_k)

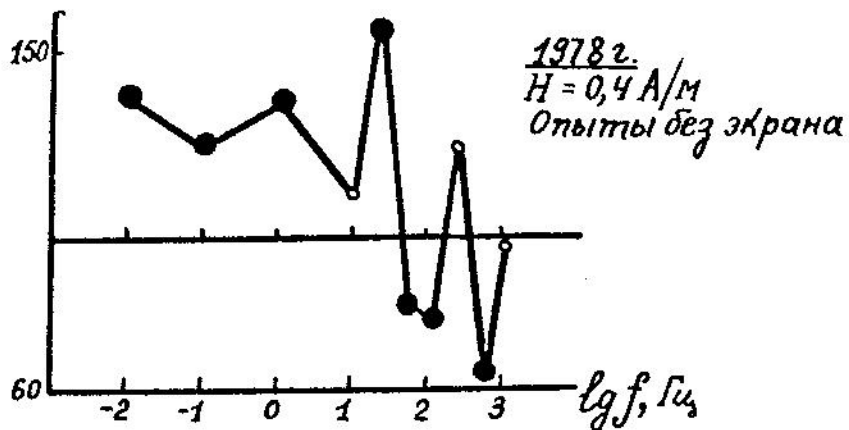
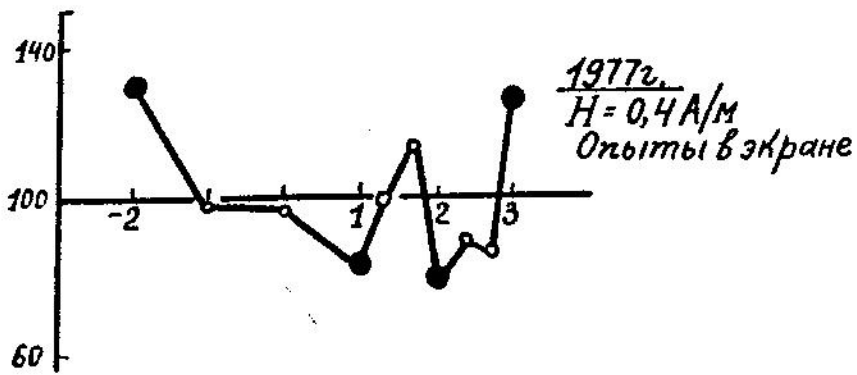
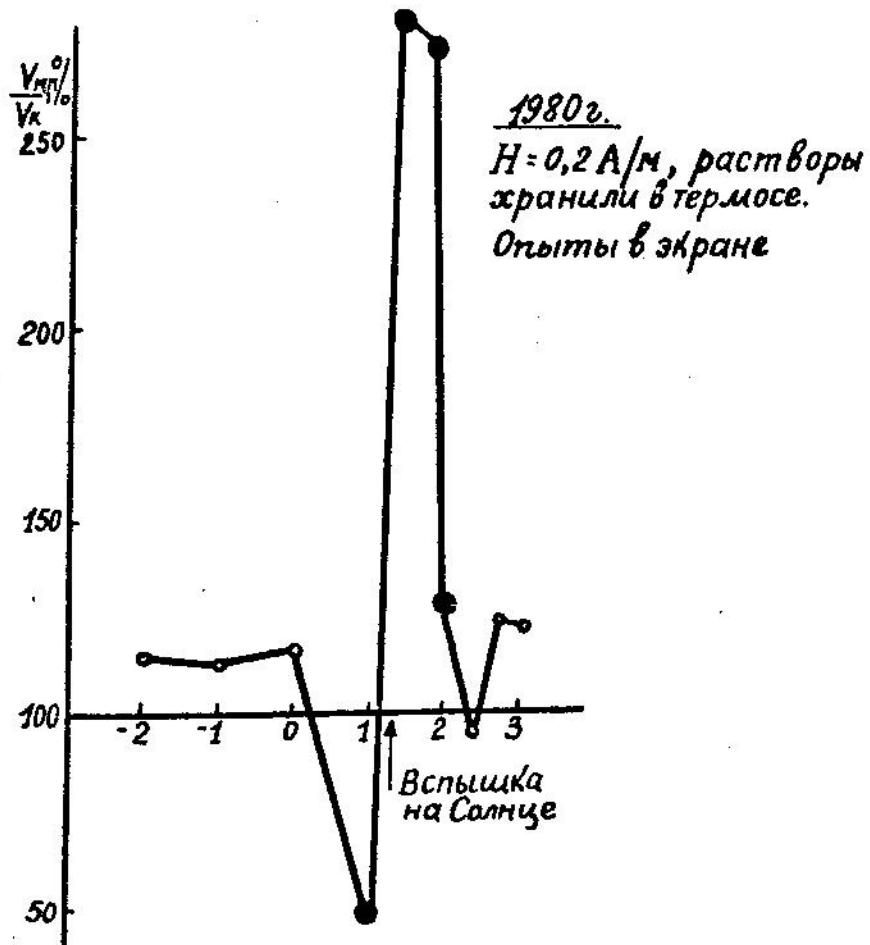


Рис. 3.4. Зависимость флуктуаций интенсивности агглютинаций бактерий от частоты магнитного поля. Обозначения - как на рис. 3.3

значения интенсивности. Как видно из рисунков, при действии МП ($H = 0,2$ А/м, $f = 20$ и 50 Гц) флуктуации возросли относительно контроля в 2,6 раза (рис.3.4). Опыты с этими частотами проводили 4, 5 и 6 февраля 1980 г. Значительное возрастание флуктуаций произошло 6 февраля (рис.3.5). В этот день была зарегистрирована самая мощная вспышка из наблюдавшихся в период с I-го по 13-е февраля [222]. Характерно, что флуктуации в контроле остались на том же уровне, что и в предыдущие дни. Изменения произошли только в опытах с воздействием МП. На средних значениях увеличение флуктуаций заметно не сказалось.

На основании этих результатов может возникнуть предположение, что сложные зависимости являются следствием влияния внешних неконтролируемых при проведении опытов факторов, т.е. артефактом. Рассмотрим этот вопрос подробнее. На рис. 3.6 приведены кривые, отражающие изменение результатов контрольных опытов при получении амплитудных и частотных зависимостей. Видно, что исходное состояние системы нестандартно при действии МП различных частот и напряженностей. Эта нестандартность связана с влиянием внешних факторов, поскольку кривые коррелируют с числами Вольфа, характеризующими уровень солнечной активности. Зависимость хода реакции агглютинации бактерий от космогелиогеофизических факторов была показана ранее [114]. Как видно из рисунка, слабые МП незначительно, но, по-видимому, закономерно изменяют ход реакции, так как амплитудные и частотные зависимости имеют сходство (рис.3.1, 3.2), несмотря на различия в исходном состоянии системы. Нестандартность начальных состояний, а также влияние в момент проведения опытов неучитываемых факторов, значимых для реакции, являются, возможно, причиной неполного сходства приводимых зависимостей. Какую-либо закономерную зависимость эффектов МП от космогелиогеофизических факторов и начальных состояний выявить пока

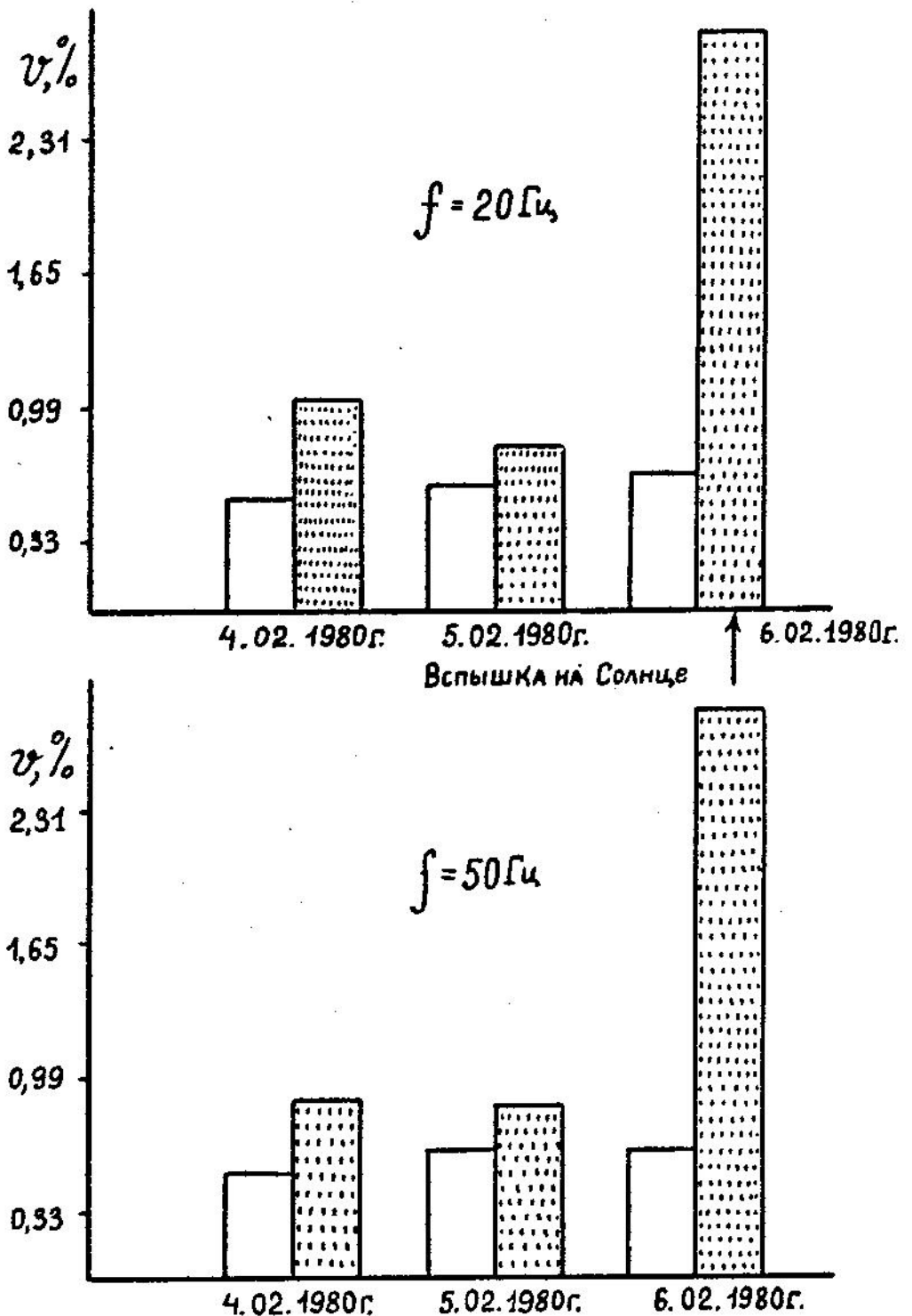


Рис. 3.5. Зависимость влияния магнитного поля на флуктуации интенсивности агглютинации бактерий от внешних, неконтролируемых в опытах, факторов;
 v - коэффициент вариабельности, заштрихованные столбики - результаты опытов с воздействием МП, незаштрихованные - результаты контрольных опытов

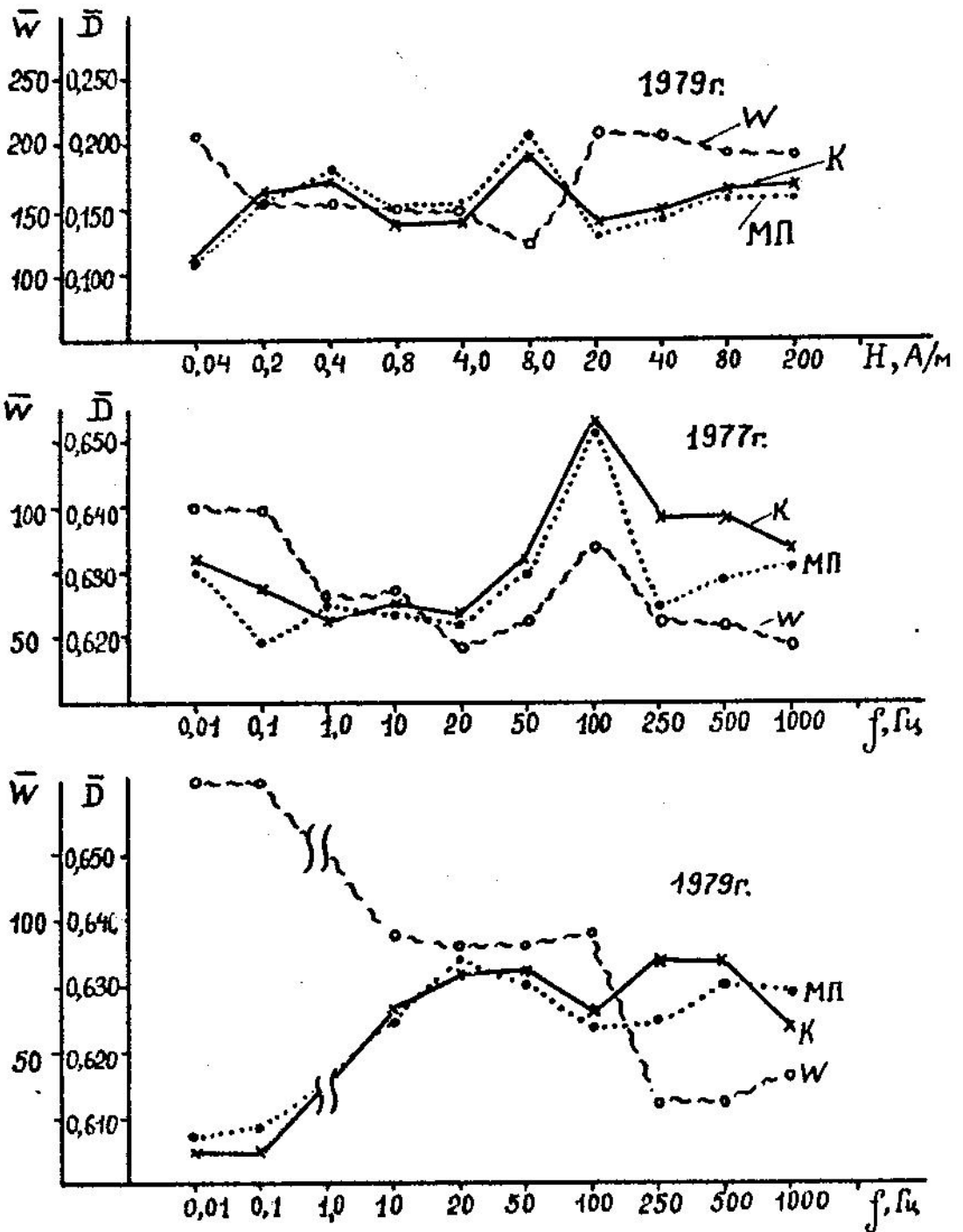


Рис. 3.6. Корреляция результатов опытов по получению амплитудных и частотных зависимостей с числами Вольфа.
 \bar{W} - средние значения чисел Вольфа; \bar{D} - средние значения оптической плотности реакционной смеси, в которой протекает агглютинация бактерий; К - контроль, МП - результаты опытов с воздействием МП

Эффекты МП можно получить не только при действии МП на реакционную смесь в целом, но и предварительно обрабатывая магнитным полем исходные компоненты реакционной смеси.

Магнитным полем ($H = 0,4 \text{ А/м}$, $f = 0,01; 0,1; 1; 10; 20; 50, 100; 250; 500; 1000 \text{ Гц}$) в течение 2 ч обрабатывали дистиллированную воду, на основе которой готовили изотонический раствор NaCl для разведения сыворотки; изотонический (0,15 М) раствор NaCl ; суспензию микробных клеток в 0,15 М растворе NaCl ; сыворотку, растворенную в NaCl , и сухой, запаянный в ампулу препарат. Электропроводность $\text{H}_2\text{O} \sim 6 \times 10^{-8} \text{ ом}^{-1}, \text{ см}^{-1}$.

Результаты опытов с обработанной МП дистиллированной водой показали, что полиэкстремальный характер зависимости сохранился. Эффективны те же частоты (0,1; 250; 500 Гц), что и при действии МП в ходе реакции (рис.3.7). На частоте 250 Гц знак эффекта изменился.

Выраженность изменений при действии МП на дистиллят меньше, чем на реакционную смесь в целом. Постоянное поле не действует. При обработке МП 0,15 М раствора NaCl статистически значимые изменения получены на частотах 0,01; 0,1; 1; 250; 1000 Гц. При действии МП всех этих частот агглютинация идет менее интенсивно, чем в контроле.

При обработке МП суспензии микробных клеток в 0,15 М растворе NaCl эффективны частоты 1; 50; 250; 500; 1000 Гц. Эффекты достигали 3%. Особенно выражены изменения на частотах 1; 250; 500 Гц.

При действии постоянного МП реакция идет более интенсивно, чем в контроле, как при предварительном "омагничивании" раствора NaCl , так и суспензии микробных клеток.

При обработке МП сухой сыворотки реакция идет более интенсивно, чем в контроле, при действии МП всех исследованных частот.

Изменения оптической плотности достигали 8-10 %. Частоты 0,1; 20; 100 Гц наиболее эффективны.

При обработке МП сыворотки, разведенной в 0,15 М растворе *NaCl*, максимальные изменения наблюдались на частотах 0,1; 100; 1000 Гц. Обработка сухой и жидкой сыворотки постоянным МП активировало агглютинацию.

По сходству зависимостей полученный материал можно разделить на три группы: реакционная смесь в целом - дистиллированная вода, раствор *NaCl* - бактерии в растворе *NaCl*, сыворотка сухая - сыворотка растворенная в *NaCl*.

Из рис.3.7 видно, что наиболее заметные изменения в интенсивности агглютинации бактерий происходят при использовании для проведения реакции "омагниченой" сыворотки (сухой и разведенной) и диагностикума. Менее выраженные изменения наблюдаются при "омагничивании" 0,15 М раствора *NaCl*, еще меньшие - при "омагничивании" дистиллированной воды.

Изменения флуктуаций оптической плотности при предварительной обработке МП различных частот исходных компонентов реакционной смеси показаны на рис.3.8. Флуктуации изменялись относительно контроля в 1,2 - 2 раза.

Результаты этих опытов показали, что полиэкстремальность наблюдается как при действии МП различных частот на реакционную смесь в целом, так и при предварительной обработке магнитным полем исходных компонентов реакционной смеси. Конечный результат определяется совокупностью свойств растворителя (воды) и содержащихся в ней веществ: соли, бактериальных клеток, белков сыворотки.

В табл.3.1 приведены данные по направленности реакции во всех шести сериях опытов. Как видно из таблицы, предварительное "омагничивание" раствора *NaCl* и суспензии микробных клеток в растворе *NaCl* вызывает сходные изменения в направленности

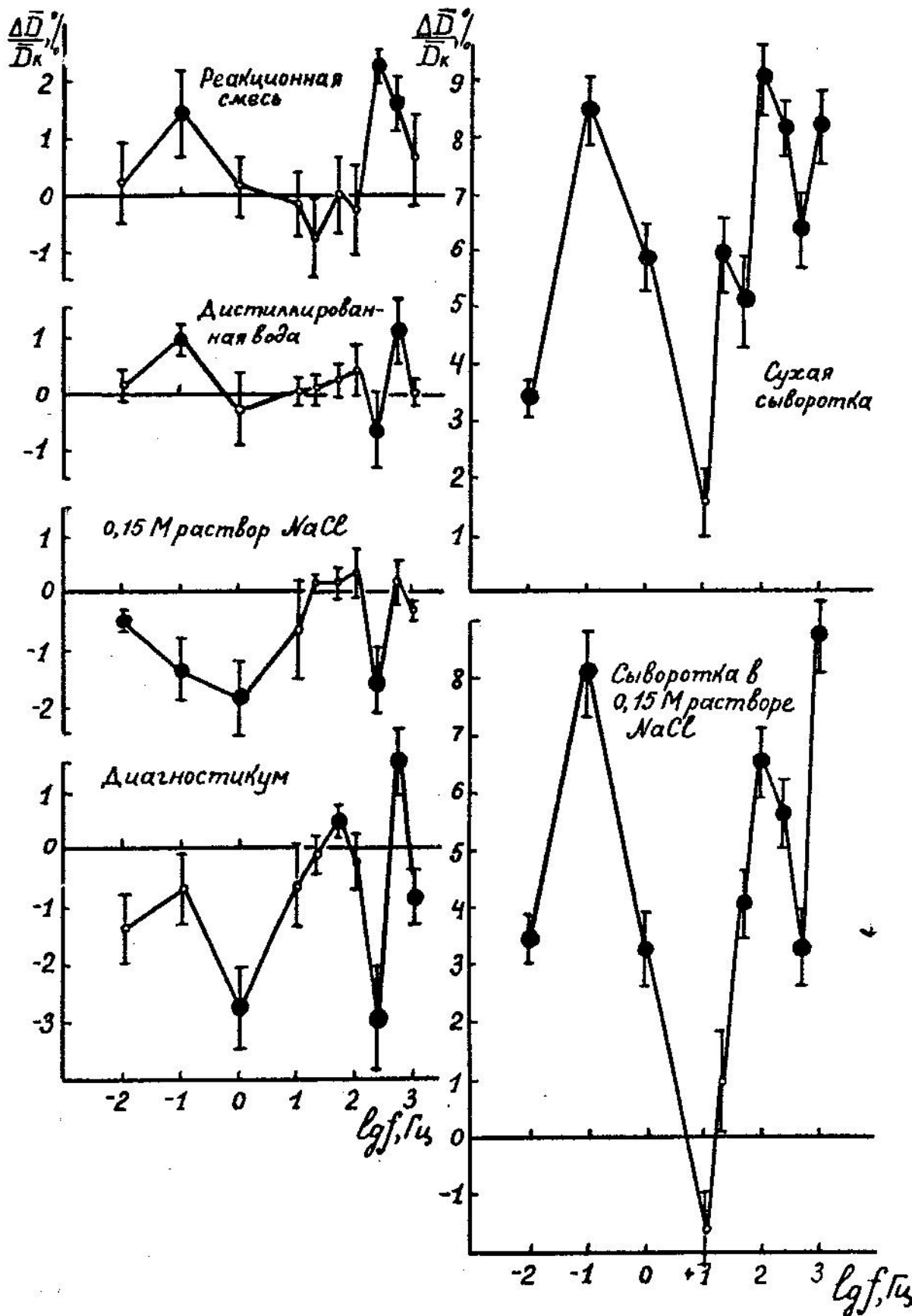


Рис. 3.7. Зависимость интенсивности агглютинации бактерий от частоты магнитного поля $H = 0.4 \text{ А/м}$ при действии поля на реакционную смесь в целом и на отдельные ее компоненты. Обозначения - как на рис. 3.1

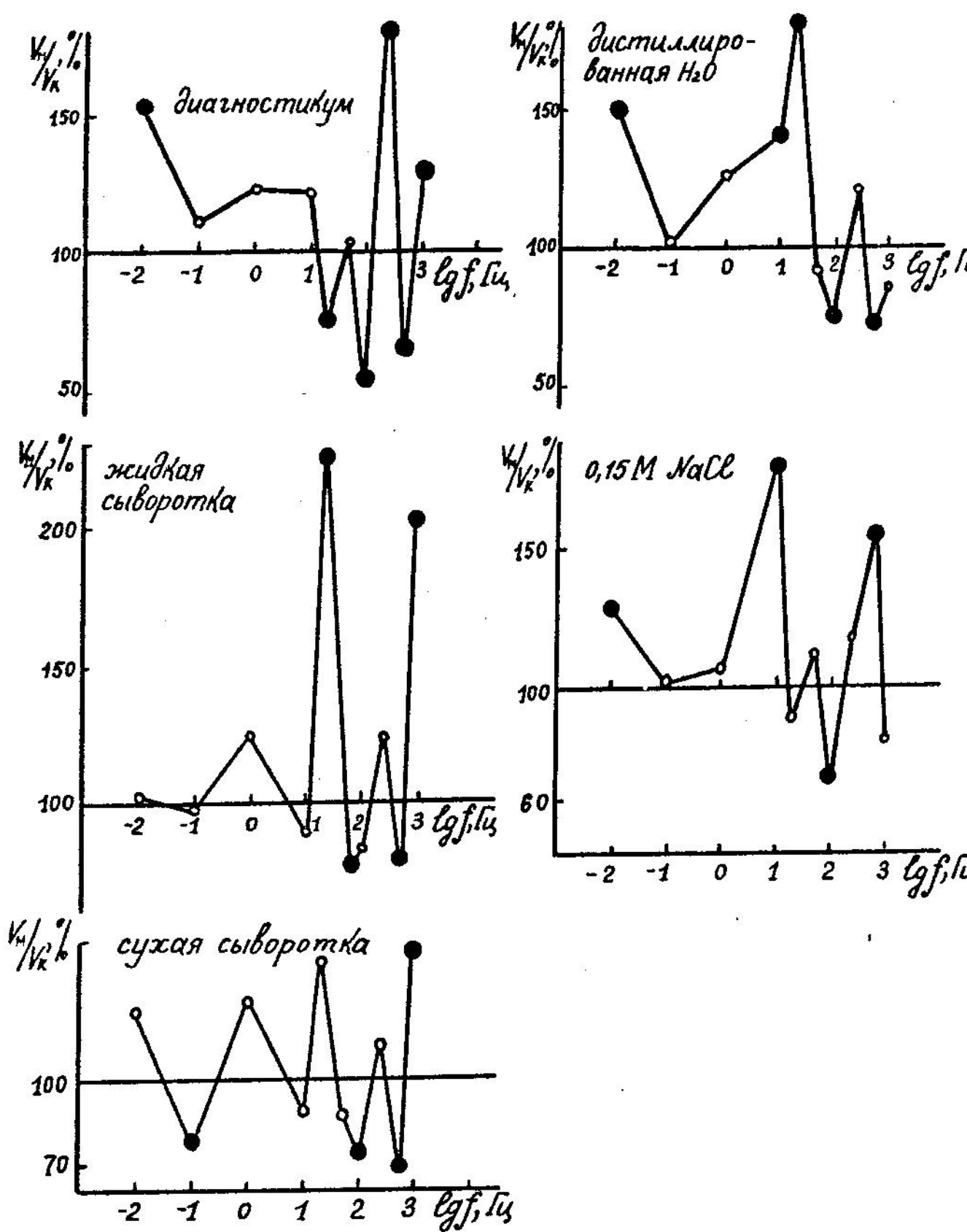


Рис.3.8. Зависимость флуктуаций интенсивности агглютинации бактерий от частоты магнитного поля $H = 0,4 \text{ А/м}$ при предварительной обработке магнитным полем исходных компонентов реакционной смеси. Обозначения - как на рис.3.3

Влияние магнитного поля $H = 0.4 \text{ A/cm}$ на направленность
реакции агглютинации бактерий

Исследуемые системы	Частота, Гц											
	0	0.01	0.1	1	10	20	50	100	250	500	1000	
Реакционная смесь	(-)	(+)	(+)	(+)	(-)	(-)	(-)	(-)	(+)	(+)	(+)	(+)
Дистиллированная H_2O	(+)	(+)	(+)	(-)	(-)	(-)	(-)	(-)	(-)	(+)	(+)	(+)
0.15 М раствор $NaCl$	(+)	(-)	(-)	(+)	(-)	(-)	(-)	(-)	(-)	(+)	(+)	(-)
Диагностикум	(+)	(-)	(-)	(-)	(-)	(-)	(+)	(-)	(-)	(+)	(+)	(-)
Сухая сыворотка	(+)	(+)	(+)	(+)	(+)	(+)	(+)	(+)	(+)	(+)	(+)	(+)
Сыворотка +0.15 М раств. $NaCl$	(+)	(+)	(+)	(-)	(-)	(+)	(+)	(+)	(+)	(+)	(+)	(+)

Примечание. (+) - увеличение интенсивности агглютинации; (-) - уменьшение.
Заштриховано - изменения в опытах с МП относительно контроля
достоверны с уровнем надежности $P < 0.05$ - $P < 0.001$

реакции. Действие поля в ходе реакции вызывает противоположные изменения, кроме частот 10, 20, 500 Гц. Результаты обработки МП дистиллированной воды занимают промежуточное положение. "Омагничивание" жидкой сыворотки активирует процесс агглютинации. При "омагничивании" сухой сыворотки также преимущественно наблюдается более активная агглютинация, чем в контроле.

Прежде чем обсуждать полученные результаты, следует остановиться на описании физико-химической природы реакции агглютинации.

Что представляет собой реакция агглютинации с физико-химической точки зрения?

В настоящее время единого мнения по этому поводу нет. Для объяснения механизма реакции предложен ряд теорий. Наряду с теорией решетки [223], широкое распространение получила адсорбционная теория Борде, дополненная современными представлениями о специфичности первой фазы реакции.

Известно, что реакция антиген-антитело имеет 2 фазы. Первая фаза - образование комплексов антиген-антитело - специфическая, вторая - соединение комплексов в агрегаты - неспецифическая. В зависимости от размеров молекул или частиц - антигенов, вторая фаза реакции проявляется в виде агглютинации, преципитации, флокуляции или агломерации. Реакция агглютинации происходит при взаимодействии антител с микробными клетками.

В основе специфичности первой фазы иммунологической реакции лежат конформационные перестройки. В этом отношении при взаимодействии антиген-антитело имеется сходство с образованием фермент-субстратных комплексов. Принципиальное отличие состоит в том, что при взаимодействии антиген-антитело практически отсутствуют электронные переходы, которыми сопровождается образование комплексов фермент-субстрат [208].

Конформационные изменения происходят в молекулах антител при взаимодействии с антигенной детерминантой вследствие сближения определенных областей молекул антител, образования новых областей в комплексе с антигеном, маскировки некоторых областей. Соединение антигенов и антител осуществляется за счет водородных и гидрофобных связей, ионного взаимодействия, сил Ван дер Ваальса. Прочность соединения обеспечивается при этом, главным образом, оптимальной стерической адаптацией активного центра антител к антигенной детерминанте [225].

Согласно теории Борде вторая фаза реакции подчиняется тем же законам, что и другие коллоидные системы. Она имеет сходство с взаимной коагуляцией и сенсibilизацией коллоидов [226, 227]. Если агглютинируют микробные клетки, то ход второй фазы определяется физико-химическими особенностями клеточной мембраны и ее функциями.

Мицеллы отрицательно заряженного гидрофильного антигена, адсорбируя на своей поверхности мицеллы положительно заряженного гидрофильного антитела, покрываются белковой пленкой, которая придает частицам и микробным клеткам некоторые свойства белковых молекул.

В электрическом поле частицы, покрытые белком, движутся с той же скоростью, что и молекулы чистого раствора белка. Неспецифическая коагуляция частиц, покрытых белком, вызывается теми же веществами, которые вызывают коагуляцию чистых растворов белка. Коагуляция частиц, покрытых белком, происходит при тех же значениях pH , что и чистых растворов белка.

Адсорбированный гидрофильный коллоид в процессе адсорбции денатурируется, становится плохо растворимым. Обволакивая мицеллы адсорбента, он уплотняет их и изолирует от дисперсионной среды. Заряд образовавшегося комплекса складывается из зарядов антиге-

В коллоидных системах, особенно с водной дисперсионной средой, роль заряда на поверхности частиц исключительно велика.

Известно, что взаимная коагуляция коллоидов наблюдается тогда, когда число разноименных зарядов на частицах обоих коллоидов будет одинаково. При иных соотношениях коагуляция может не произойти или будет неполной.

Присоединение антитела к антигену изменяет заряд, но не настолько, чтобы вызвать агглютинацию. Агглютинация происходит при добавлении электролита. Если первая фаза реакции может происходить и в дистиллированной воде, и в растворе электролитов, вторая фаза — только в среде, содержащей электролиты.

Соли могут вызывать агглютинацию и без антител-агглютининов, но только будучи взяты в гораздо большей концентрации. Агглютинирующие антитела повышают чувствительность бактерий — сенсibilизируют к действию солей. При повышении количества агглютининов необходимое для агглютинации количество соли может быть уменьшено. Например, при разведении сыворотки 1:10 в опытах Поргеса было достаточно $2 \cdot 10^{-4} N$ раствора *NaCl*, а при разведении 1:10000 потребовался $0.2 N$ раствор *NaCl* [227].

Считается, что есть две силы, которые обуславливают устойчивость комплексов антиген-антитело: электрический заряд *комплексов* и поверхностное натяжение. Между силами поверхностного натяжения и зарядом существуют определенные соотношения. Бактерии агглютинируют только тогда, когда разница потенциалов между поверхностью и раствором составляет меньше 15 мВ при постоянной величине поверхностного натяжения. Если же поверхностное натяжение значительно уменьшается, то агглютинация не наступает и при снижении потенциала до нуля. Было показано, что различные электролиты в низких концентрациях (от 0.01 до 0.1 N) влияют, главным образом, на потенциал, а в более высокой — преимущественно

но на поверхностное натяжение. Многие исследователи считают, что основным фактором стабильности бактериальных суспензий является поверхностная энергия, а остальные факторы только постольку, поскольку они влияют на величину поверхностной энергии [227]. На ход агглютинации бактерий влияют ионная сила раствора, температура, рН.

Таким образом, реакционная смесь, в которой происходит агглютинация бактерий, представляет собой сложную гетерогенную водную дисперсную систему, в которой протекает 2 типа реакций: комплементарное взаимодействие активных центров антител с антигенной детерминантой и агглютинация образовавшихся комплексов — процесс, основанный на проявлении поверхностных сил.

Разная направленность и выраженность агглютинации при действии МП на реакционную смесь в целом и на ее исходные компоненты может быть следствием нескольких причин.

Одной из причин могут быть методические особенности проведения каждой из серий опытов. В табл. 3.2 отражены некоторые из этих особенностей. Ясно, что ни форма сосуда, ни объем обрабатываемой МП жидкости не имеют прямой связи с наблюдаемыми эффектами.

Существенно, вероятно, следующее: при действии МП на реакционную смесь в целом, его действие не затрагивает (или почти не затрагивает) первую фазу реакции, в которой происходит комплементарное взаимодействие антигенов и антител. Это связано с тем, что первая фаза очень быстрая, она, в основном, успевает пройти до того, как пробирки помещают в поле. В случае предварительного "омагничивания" исходных компонентов реакционной смеси, обе фазы реакции протекают с веществами, физико-химические свойства которых изменились под влиянием магнитного поля.

В настоящее время не вызывает сомнения, что биологические макромолекулы и окружающую их водную среду нужно рассматривать

Таблица 3.2

Методические особенности экспериментов с агглютинацией бактерий

№ серии	Состав "омагничиваемой" водной системы	Сосуд, в котором проводилось "омагничивание"	Объем "омагничиваемой" жидкости (мл)	Объем "омагничиваемой" жидкости в реакционной смеси (мл)
1.	0.15 М водный раствор <i>NaCl</i> , антитела, антигены	Пробирки цилиндрические	3.24 в каждой пробирке	3.24
2.	Дистиллят	Конический стеклянный стакан	100	3.0
3.	0.15 М раствор <i>NaCl</i>	"--"	100	3.0
4.	Диагностикум (антигены) + <i>NaCl</i>	Запаянная цилиндрическая стеклянная ампула	10	0.24
5.	Сухая сыворотка (антитела)	"--"	-	$2 \cdot 10^{-4}$
6.	Сыворотка в 0.15 М растворе <i>NaCl</i>	Вскрытая стеклянная ампула	I	$2 \cdot 10^{-4}$

как единое целое.

Известно, что антитела представляют собой белки, относящиеся к группе иммуноглобулинов [224]. Вода имеет универсальное значение для осуществления глобулярными белками их функций. Сама пространственная структура глобулярных белков является результатом взаимодействия структурных элементов первичной структуры белка с водой.

Флуктуации гидратации белков могут быть источником энергии конформационных флуктуаций молекул белка, в том числе и в степенях свободы, выделенных для комплементарного взаимодействия [209]

Антигены - это биополимеры, прежде всего белки и полисахариды нуклеиновые кислоты, а также комплексные соединения этих веществ [224, 208]. Для их функционирования также важны свойства водного окружения.

Чрезвычайно важны свойства водного окружения для формирования границ раздела фаз - двойных электрических слоев и процессов с ними связанных.

Возможность изменения свойств водных систем (оптических; гидратации, содержащихся в воде веществ; вязкости; поверхностного натяжения; адсорбционной способности; растворимости; смачиваемости; коагуляции; электрохимических характеристик и т.д.) при действии на них магнитных полей показана многими экспериментальными исследованиями [226] и, хотя эти работы выполнены при напряжениях на несколько порядков выше тех, которые использованы нами, тем не менее можно ожидать сходства (до какого-то неизвестного пока предела напряженностей) в механизмах влияния очень слабых и сравнительно сильных электромагнитных полей на водные системы. В пользу этого свидетельствует полиэкстремальный характер зависимостей эффектов от частоты и напряженности МП, как при действии очень слабых, так и более сильных полей.

Большое значение в механизмах действия ЭМП на водные системы отводится изменению гидратации ионов и микроскопических твердых частиц. Изменение гидратации влечет за собой целую цепь событий: оно влияет на скорость химических реакций, адсорбцию, диффузию, коагуляцию, электрохимические характеристики, кристаллизацию и многое другое. Степень гидратации, является одним из основных факторов, определяющих физическую и химическую активность, содержащихся в воде веществ.

Исследователи, как правило, отмечают, что в результате магнитной обработки, кристаллы образуются с большей скоростью. Размеры их меньше, количество больше, по сравнению с этими показателями при кристаллизации в обычных условиях [230]. В наших предварительных опытах было установлено, что при действии на реакционную смесь МП, ($H = 0.04 \frac{\text{А}}{\text{м}}$) ^{среднее} общее количество кристаллов (после высухания на предметном стекле капле реакционной смеси равного объема) возрастало (рис.3.9)

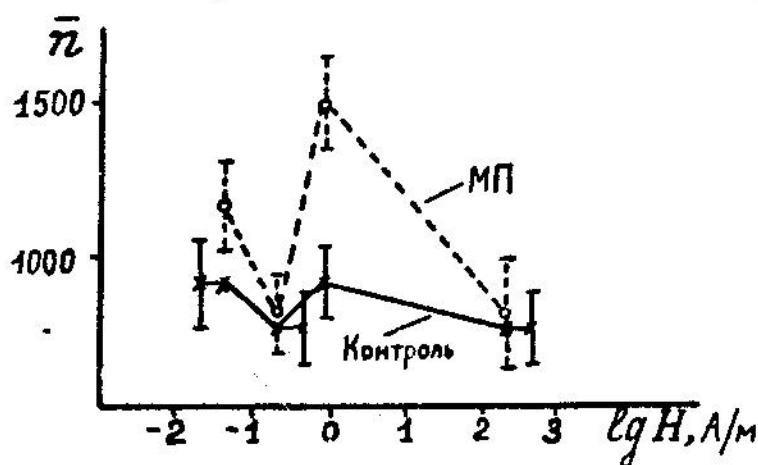


Рис.3.9. Зависимость образования кристаллов NaCl от напряженности магнитного поля $f = 250$ Гц.
 \bar{n} - число кристаллов

При напряженности МП 0.2 А/м изменения в ~~форме~~^{числе} кристаллов были незначительны, но кристаллы имели большие размеры, чем в контроле. Эти данные косвенно подтверждают возможность влияния слабых магнитных полей на гидратацию содержащихся в воде веществ. Известно, что слипание взвешенных в воде частиц зависит от степени гидратации и величины электрокинетического потенциала их поверхности. Даже небольшое уменьшение степени гидратации поверхности твердых частиц может привести к их массовому слипанию.

Как уже отмечалось, при обработке магнитным полем 0.4 А/м раствора *NaCl* (0.15 М) и суспензии микробных клеток в растворе *NaCl* наблюдалось, преимущественно, уменьшение интенсивности агглютинации бактерий. Это происходит, по-видимому, за счет увеличения гидратации поверхности клеток бактерий и повышения ~~величины~~^{величины} дзета-потенциала.

Основываясь на приведенных фактах, мы предполагаем, что в механизме действия слабых магнитных полей на агглютинацию бактерий большую роль играет изменение гидратации антигенов и антител ионов Na^+ и Cl^- .

В наших опытах использовалась гетерогенная популяция антител (неадсорбированная сыворотка) в сильном разведении (1/10000). Гетерогенная популяция возникает, если антигеном является бактериальная или другая клетка, имеющая много антигенных детерминант. В ответ на введение такого антигена в организме образуются антитела к различным антигенным детерминантам, расположенным как на поверхности, так и внутри клетки. При взаимодействии антигенов-бактерий с гетерогенной популяцией антител возможно как специфическое, так и неспецифическое связывание. Неспецифическое связывание возможно за счет взаимной нейтрализации положительно и отрицательно заряженных групп или за счет гидрофобного взаимодействия липофильных групп, находящихся на поверхности молекул

[229]. При сильном разведении сыворотки (недостатке антител и избытке антигенов), возрастает роль неспецифического связывания и увеличивается конкуренция между антигенами за специфические антитела. Поэтому образовавшиеся комплексы неустойчивы, происходит их возникновение и распад.

Проводя наблюдения за динамикой агглютинации, мы наблюдали изменение оптической плотности раствора, отражающее, вероятно, распад и образование комплексов антиген-антитело (рис. 3.10)

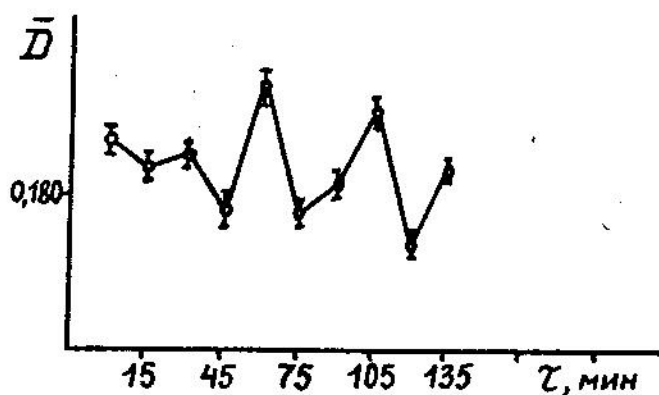


Рис. 3.10. Типичное изменение оптической плотности реакционной смеси в течение времени

При обработке магнитным полем растворенной в *NaCl* и сухой сыворотки интенсивность агглютинации в большинстве опытов повышалась. Это могло происходить за счет повышения устойчивости комплексов и усиления неспецифического связывания. Агглютинация проходила более интенсивно, чем в контроле, независимо от того, обрабатывалась ли сухая или растворенная в 1 мл *NaCl* сыворотка. Поскольку даже в сухом препарате содержится небольшое количество воды, возможно, что слабые МП влияют на взаимодействие молекул иммуноглобулинов с водным окружением.

Изучение влияния магнитного поля на агглютинацию бактерий при различных температурах, концентрациях в реакционной смеси, pH

Зависимость эффектов МП от температуры раствора, концентрации в нем *NaCl* и pH изучали при одних и тех же напряженности ($H = 0.4$ А/м) и частоте ($f = 250$ Гц).

Нами установлено, что зависимость агглютинации бактерий от температуры реакционной смеси в интервале 20–45°C при использованных концентрациях реагентов имеет несколько экстремумов [II4]. В опытах с воздействием МП статистически значимые изменения зарегистрированы при температурах 29; 30,5; 35; 41°C. При этих температурах агглютинация проходила более активно, чем в контроле. Флуктуации интенсивности агглютинации, как правило, увеличивались при действии МП. Эффекты достоверны при температурах реакционной смеси 22,5; 25; 29; 32,5; 35; 39°C (рис.3.II). Интенсивность агглютинации изменялась в пределах 2 %, флуктуации в 1,2 – 1,5 раза.

Зависимость интенсивности агглютинации бактерий от концентрации *NaCl* (0,025–0,5 М) также имеет несколько экстремумов. При действии МП интенсивность реакции, как правило, возрастала, флуктуации увеличивались. При концентрациях *NaCl* 0,1; 0,15; 0,25 М изменения интенсивности агглютинации были статистически значимы и составляли 6,8; 2,3; 5,5 % соответственно. Изменения флуктуаций были достоверны при концентрациях 0,025; 0,1; 0,2; 0,25 М и составляли 53,8; 65 и 36 % соответственно (рис.3.I2).

Таким образом, в исследованном интервале температур и концентраций *NaCl* действие МП ($H = 0,4$ А/м, 250 Гц) проявляется однотипно – интенсивность агглютинации бактерий повышается, флуктуации интенсивности возрастают.

Согласно Дж.Берналу и Р.Фаулера [230] действие ионов на

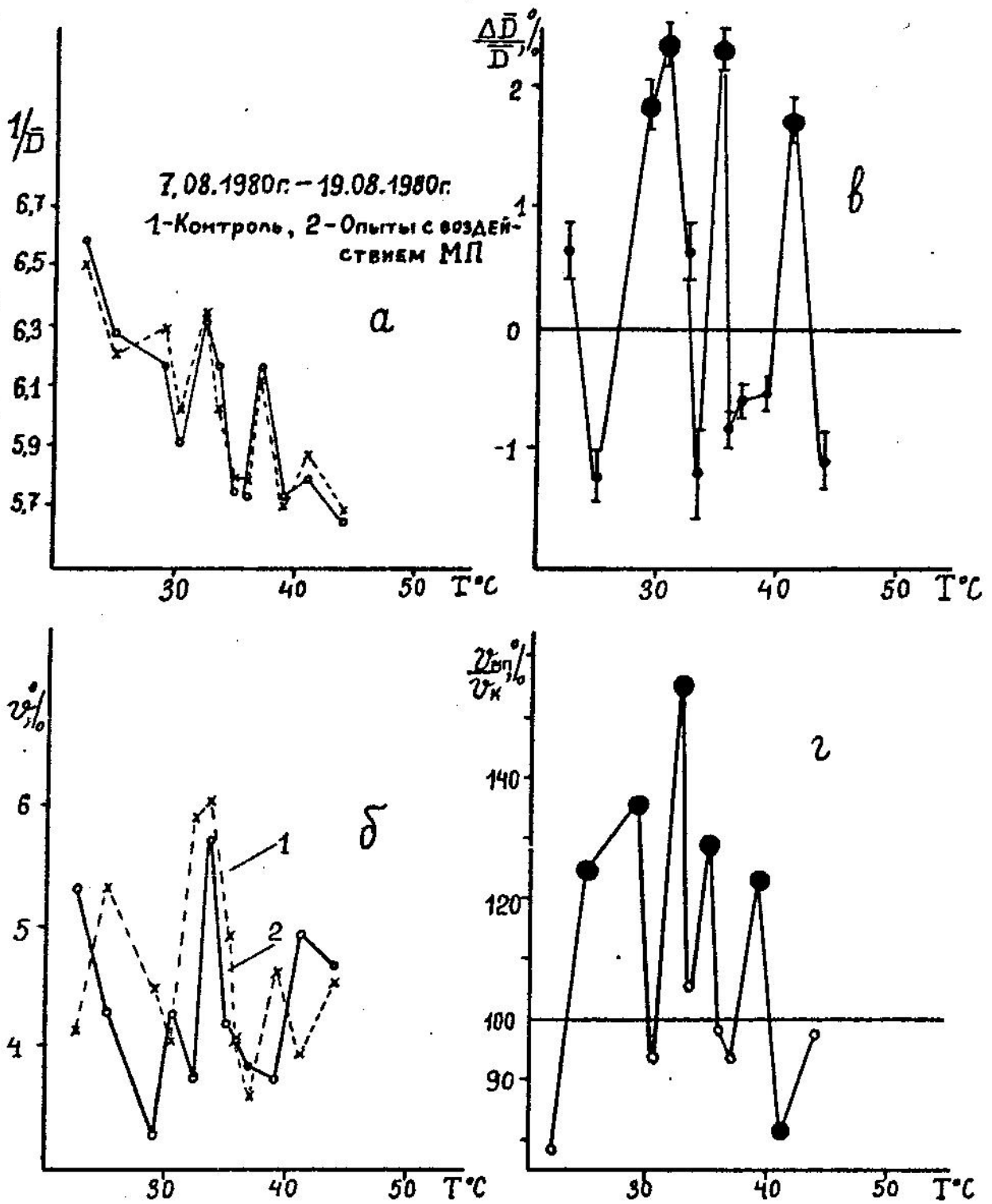


Рис.3.II. Зависимость интенсивности агглютинации бактерий и флуктуаций интенсивности от температуры реакционной смеси (а,б). Влияние магнитного поля $H = 0,4 \text{ А/м}$, $f = 250 \text{ Гц}$ при различных температурах реакционной смеси на изменение этих величин относительно контроля (в,г). I/D - средние значения интенсивности агглютинации бактерий, v - коэффициент вариабельности.

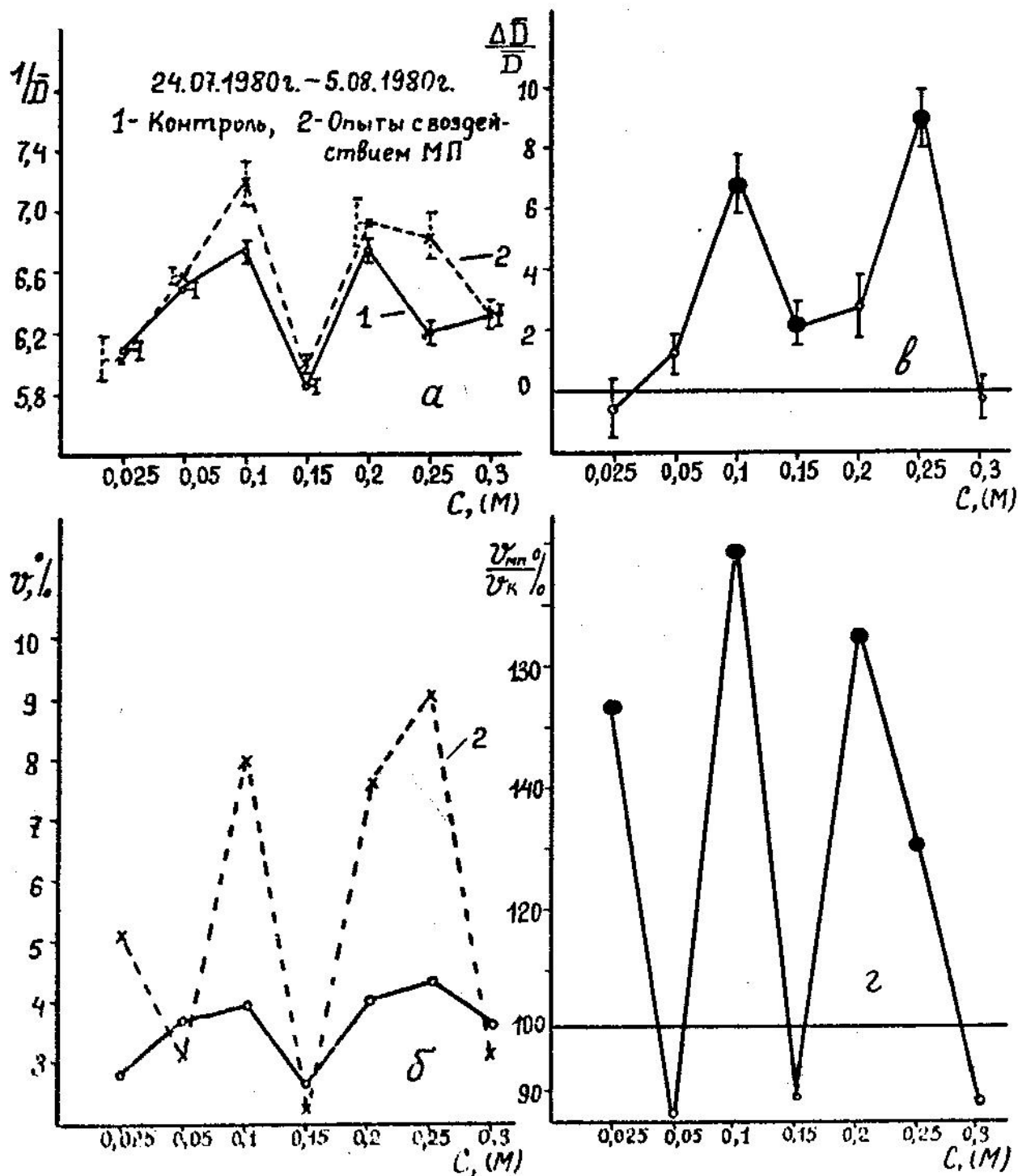


Рис. 3.12. Зависимость интенсивности агглютинации бактерий и флуктуаций интенсивности от концентрации $NaCl$ в реакционной смеси (а, б). Влияние магнитного поля $H = 0,4$ А/м, $f = 250$ Гц при различных концентрациях $NaCl$ в реакционной смеси на изменение этих величин относительно контроля (в, г) Обозначения- как на рис. 3.11

воду можно уподобить действию на нее повышения или понижения температуры. Одни ионы действуют на воду аналогично повышению температуры, другие - так же, как понижение температуры. Это свойство непосредственно связано с гидратацией ионов, переходом в раствор из связанного состояния ионов с положительной или отрицательной гидратацией. О.Я.Самойлов [231, 232] детально изучил влияние гидратации на структуру воды, используя кинетический подход. В зависимости от соотношения времени жизни молекул воды в ближайшем окружении иона (τ_i) и в чистой жидкости (τ), было введено понятие положительной гидратации ($\tau_i > \tau$) и отрицательной гидратации ($\tau_i < \tau$). Одни ионы, такие как Fe^{2+} , Fe^{3+} , Al^{3+} , Mg^{2+} , Zn^{2+} , Co^{2+} , HCO_3^- , Ca^{2+} , Na^+ , SO_4^{2-} принято считать положительно гидратированными, другие - K^+ , Rb^+ , Cs^+ , Cl^- , Br^- , I^- - отрицательно гидратированными. Эти два вида ионов обладают прямо противоположным действием на молекулы воды (табл. 3.3)

Таблица 3.3

Влияние гидратации на структуру воды

Положительная гидратация	Отрицательная гидратация
1. Ослабляется трансляционное движение ближайших к иону молекул воды.	1. Усиливается трансляционное движение ближайших к иону молекул воды
2. Понижается структурная температура воды.	2. Повышается структурная температура воды.
3. Повышается структурное давление раствора.	3. Понижается структурное давление раствора.
4. Уменьшается активность воды (коэффициент активности воды < 1)	4. Увеличивается активность воды (коэффициент активности воды > 1)
5. Коэффициент самодиффузии молекул воды меньше, чем в чистой воде.	5. Коэффициент самодиффузии молекул воды больше, чем в чистой воде.
6. Увеличивается прочность водородных связей воды.	6. Уменьшается прочность водородных связей воды.
7. Упорядочивается структура H_2O	7. Разрыхляется структура H_2O

Возможность влияния МП на гидратацию ионов показана в ряде работ [233, 234].

В работе В.С.Духанина и М.Г.Ключникова [233] исследовалось влияние магнитной обработки водных растворов некоторых хлоридов на степень ионной гидратации. В условиях заданного режима магнитной обработки наблюдали статистически значимые изменения в числах гидратации только в растворах, содержащих положительно гидратированные ионы: Li^+ , Mg^{2+} , Ca^{2+} , Fe^{3+} , Ni^{2+} , Cu^{2+} . При этом гидратация диамагнитных ионов Li^+ , Mg^{2+} , Ca^{2+} уменьшалась, а парамагнитных ионов Fe^{3+} , Ni^{2+} , Cu^{2+} имела тенденцию к возрастанию.

Увеличение чисел гидратации ионов отмечалось при обработке МП растворов $CaCl_2$, $NaCl$ и уменьшение числа гидратации при "омагничивании" раствора HCl . Характер и величина гидратации ионов влияет на основные свойства водных растворов: сжимаемость, плотность, коэффициент диффузии растворенных веществ, давление пара, электропроводность, температуры кипения и замерзания, растворяющую способность, ИК-спектры и химические сдвиги [238].

Зависимость агглютинации от рН (3-12) имеет вид колоколообразной кривой с максимумом при рН 8 [114].

Результаты опытов по влиянию МП $0,4 \text{ A/m}$, $f = 250 \text{ Гц}$ на агглютинацию бактерий при рН 4; 7; 7,44; 9 приведены в табл.3.4.

Видно, что при всех значениях рН флуктуации значений оптической плотности в опытах с МП несколько возрастает. Достоверные изменения в интенсивности агглютинации получены лишь при рН 7.44.

Таблица 3.4

Влияние магнитного поля $H = 0,4 \text{ A/m}$ $f = 250 \text{ Гц}$ на агглютинацию бактерий при различных pH

		pH										
		4.0		7.0		7.44 *		9.0				
Статистические параметры	Контроль		Опыт		Контроль		Опыт		Контроль		Опыт	
	$n=33$	$n=33$	$n=33$	$n=33$	$n=33$	$n=33$	$n=33$	$n=33$	$n=33$	$n=33$	$n=33$	
\bar{D}	0.222 ₊	0.223 ₊	0.206 ₊	0.203 ₊	0.633 ₊	0.624 ₊	0.186 ₊	0.183 ₊				
m	0.003	0.003	0.002	0.002	0.001	0.001	0.002	0.002				
$v, \%$	7.54 _{<9,5}	7.57 _{<9,5}	4.93 _{<6,2}	5.83 _{<7,3}	1.92 _{<2,4}	2.02 _{<2,5}	6.77 _{<8,5}	7.92 _{<9,5}				
td	-1.41		1.5		8.23		1.5					
P	>0.05		>0.05		<0.001		>0.05					

Примечание.* Регистрация оптической плотности проводилась на фотоэлектроколориметре ФЭК-М, \bar{D} - среднее арифметическое значение оптической плотности реакционной смеси, m - ошибка среднего, v - коэффициент вариабельности с верхним доверительным интервалом, td - коэффициент Стьюдента (см. гл. 2, § 2.3), P - вероятность принадлежности выборок к одной совокупности для критерия Стьюдента.

Как показали проведенные опыты, раствор, в котором протекает агглютинация бактерий, реагирует на изменения частоты и напряженности магнитного поля весьма сложно. Изменения интенсивности агглютинации невелики. Флуктуации интенсивности изменяются более заметно. Эффекты МП можно зарегистрировать не только при действии МП в ходе реакции, но и при предварительной обработке полем исходных реагентов. Выраженность эффектов зависит от температуры реакционной смеси и концентрации электролита.

Полученные данные дают основание предполагать, что важным

ществ, содержащихся в реакционной смеси.

3.2. Автоколебательная химическая реакция Белоусова-Жаботинского

Зависимость от напряженности магнитного поля изучали при действии на реакцию постоянного и переменного ($f = 0,01$ Гц) МП.

При действии слабого постоянного МП достоверное увеличение амплитуды колебаний относительно контроля отмечено при напряженностях 2,0; 4,0; 20 А/м, уменьшение - при напряженностях 0,2; 0,8; 8,0; 40 А/м. Достоверное возрастание флуктуаций амплитуды наблюдали при действии МП с напряженностями 0,2; 8,0; 80 А/м, уменьшение флуктуаций - при действии поля с напряженностями 0,8 и 40 А/м. На рис.3.13 показано изменение амплитуды колебаний в течение опыта. Видно, что в опытах с воздействием МП $H = 0,8$ А/м, проведенных 5.03.1983 г., амплитуда колебаний флуктуировала в меньшей степени, чем в контроле.

Как видно из табл.3.5, зависимость изменений амплитуды колебаний и флуктуаций амплитуды от напряженности МП имеет сложный, полиэкстремальный характер.

Зависимость от напряженности переменного МП ($f = 0,01$ Гц) изучали при напряженностях 0,4; 0,8; 2; 4; 8; 20; 40; 80; 200; 400 А/м. Усредненные результаты опытов представлены на рис.3.14. Зависимость от напряженности переменного МП, так же как от напряженности постоянного МП, полиэкстремальна. При действии на реакцию переменного МП амплитуда колебаний в большинстве опытов увеличивалась, а флуктуации амплитуды уменьшались относительно контроля. При действии постоянного поля преимущественного увеличения или уменьшения амплитуды и ее флуктуаций не отмечалось. Достоверные изменения амплитуды наблюдали при действии поля с напряженностями 0,8; 2; 4; 8; 20; 40; 200 А/м. Эффекты не пре-

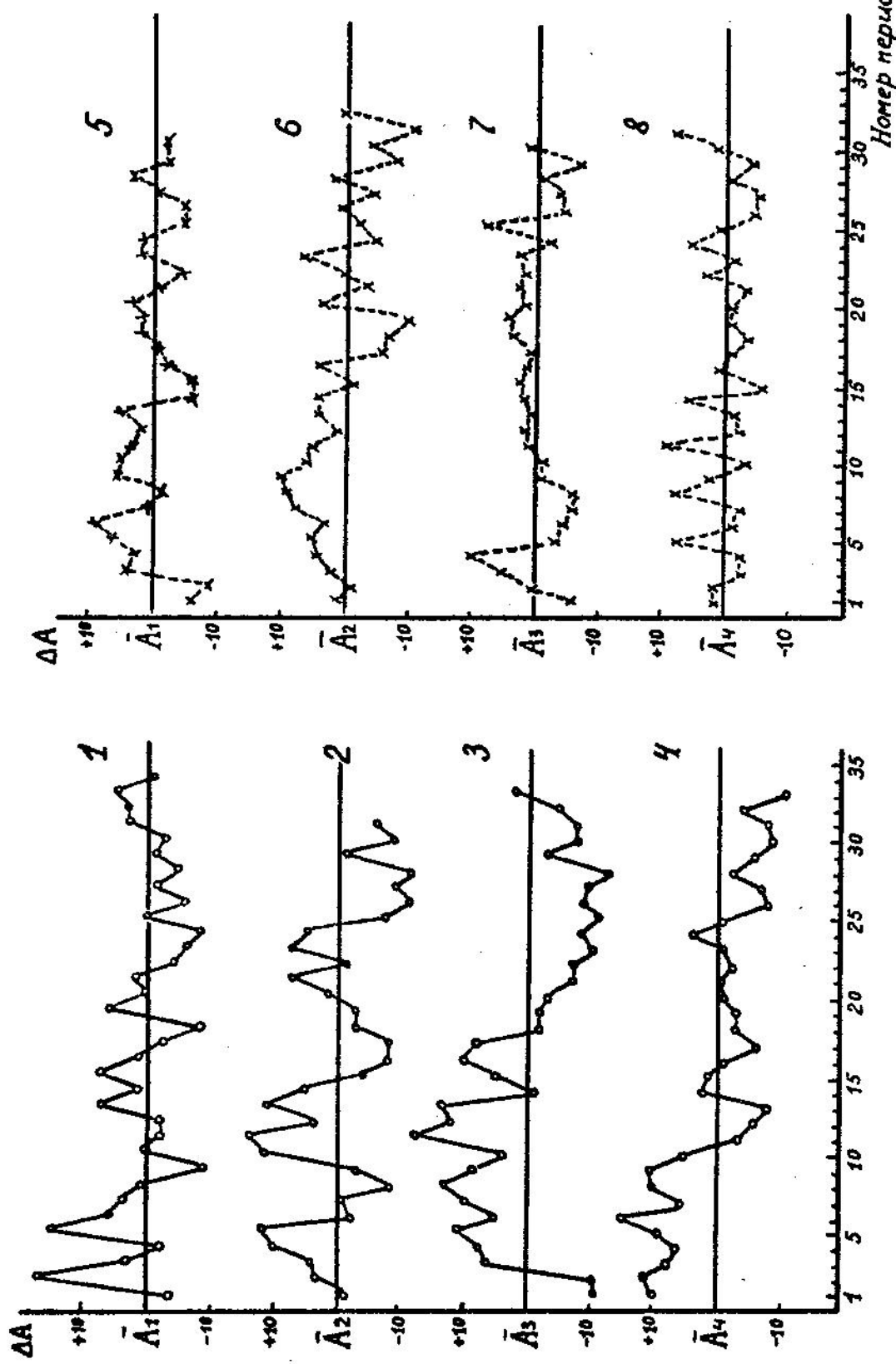


Рис. 3.13. Влияние постоянного магнитного поля 0,8 А/м на флуктуации амплитуды автоколебаний (1-4) - контрольные опыты, коэффициенты вариабельности (\mathcal{V}) равны 9,6; 13,3; 16,9; 13,4 % соответственно. (5-8) - опыты с воздействием МП 0,8 А/м: $\mathcal{V} = 7,3$; $\mathcal{V} = 9,7$; $\mathcal{V} = 7,2$; $\mathcal{V} = 8,1$ %. ΔA - отклонения конкретных значений от средних значений амплитуд A

Влияние постоянного магнитного поля на автоколебательную химическую реакцию Белоусова-Жаботинского

H, A/m	n	$\bar{A} \pm m, \text{ мм}$	$\Delta, \%$	$\nu, \%$	F σ
1	2	3	4	5	6
0.2	118	22.03.1983г. К 49.4 ± 0.5	-4.05	10.0 < 11.1 < 12.4	I. <u>P < 0.</u>
	118	П 47.4 ± 0.59 <u>P < 0.01</u>		12.2 < 13.6 < 15.2	
0.4	129	17.03.1983г. К 46.8 ± 0.52	-2.56	11,5 < 12.7 < 14.1	I.0 P > 0.
	131	П 45.6 ± 0.54 P > 0.05		12.2 < 13.5 < 15.0	
0.8	94	16.12.1980г. К 50.4 ± 1.28	-4.76	8.0 < 9.0 < 10.2	I.3 <u>P < 0.</u>
	94	П 48.0 ± 0.39 <u>P < 0.05</u>		7.1 < 7.96 < 9.0	
0.8	132	5.03.1983г. К 56.0 ± 0.71	-2.86	13.3 < 14.66 < 16.3	I.6 <u>P < 0.</u>
	132	П 54.4 ± 0.57 <u>P < 0.05</u>		10.7 < 11.8 < 13.0	
2.0	94	11.03.1983г. К 50.3 ± 0.72	+6.56	12.3 < 13.9 < 15.8	I.14 P > 0.0
	89	П 53.6 ± 0.68 <u>P < 0.01</u>		10.7 < 12.0 < 13.7	
2.0	90	21.03.1983г. К 46.0 ± 0.56	+2.17	10.8 < 11.6 < 12.6	I.39 P > 0.0
	90	П 47.0 ± 0.47 P > 0.05		8.8 < 9.5 < 10.3	
4.0	126	10.03.1983г. К 52.9 ± 0.67	+6.05	12.9 < 14.26 < 15.97	I.25 P > 0.0
	126	П 56.1 ± 0.75 <u>P < 0.01</u>		13.7 < 15.06 < 16.8	

I	2	3	4	5	6
8.0	94 94	14.12.1980г. K 50.0 ± 0.39 П 43.6 ± 0.48 <u>P < 0.001</u>	-12.8	$6.9 < 7.7 < 8.8$ $9.7 < 10.9 < 12.4$	I.5 <u>P < 0.05</u>
8.0	I27 I28	4.03.1983г. K 62.0 ± 0.61 П 54.0 ± 0.61 <u>P < 0.001</u>	-12.9	$10.0 < 11.1 < 12.4$ $11.6 < 12.8 < 14.3$	I.0 P > 0.05
8.0	72 75	7.04.1983г. K 49.97 ± 0.49 П 45.7 ± 0.49 <u>P < 0.001</u>	-8.47	$7.3 < 8.3 < 9.6$ $8.3 < 9.44 < 10.9$	I.1 P > 0.05
20.0	I26 I24	16.03.1983г. K 44.8 ± 0.43 П 46.8 ± 0.53 <u>P < 0.01</u>	+4.46	$9.7 < 10.75 < 12.0$ $11.4 < 12.6 < 14.1$	I.49 <u>P < 0.05</u>
20.0	I29 I24	1.04.1983г. K 43.5 ± 0.54 П 44.8 ± 0.48 P > 0.05	+3.13	$12.7 < 14.0 < 15.6$ $10.8 < 11.99 < 13.4$	I.3 <u>P < 0.05</u>
40.0	I31 I31	1.03.1983г. K 59.7 ± 0.66 П 51.3 ± 0.53 <u>P < 0.001</u>	-14.07	$11.5 < 12.66 < 14.1$ $10.7 < 11.75 < 13.1$	I.57 <u>P < 0.05</u>
40	56 56	5.04.1983г. K 50.8 ± 0.56 П 49.8 ± 0.51 P > 0.05	-2.0	$7.08 < 8.2 < 9.7$ $6.7 < 7.7 < 9.1$	I.17 P > 0.05
80	I23 I23	15.03.1983г. K 46.3 ± 0.46 П 46.5 ± 0.56 P > 0.05	+0.43	$9.9 < 10.99 < 12.3$ $11.9 < 13.21 < 14.8$	I.45 <u>P < 0.05</u>

Примечание. n - число измерений амплитуды колебаний;
 \bar{A} - среднее арифметическое значение амплитуды;

$\Delta = \frac{\bar{A}_n - \bar{A}_k}{\bar{A}_k} \times 100\%$ - изменение амплитуды колебаний в опытах с воздействием МП (\bar{A}_n) относительно контроля (\bar{A}_k);

$v = \frac{\sigma}{\bar{A}} \times 100\%$ - коэффициент вариабельности амплитуды где σ - среднеквадратическое отклонение от среднего;

$F_{\sigma} \frac{\sigma_1^2}{\sigma_2^2} (\sigma_1^2 > \sigma_2^2)$ - коэффициент Фишера;

P - вероятность принадлежности выборок к одной совокупности;

K - контрольные опыты;

Π - опыты с воздействием на реакцию МП.

Подчеркнуты статистически значимые различия результатов.

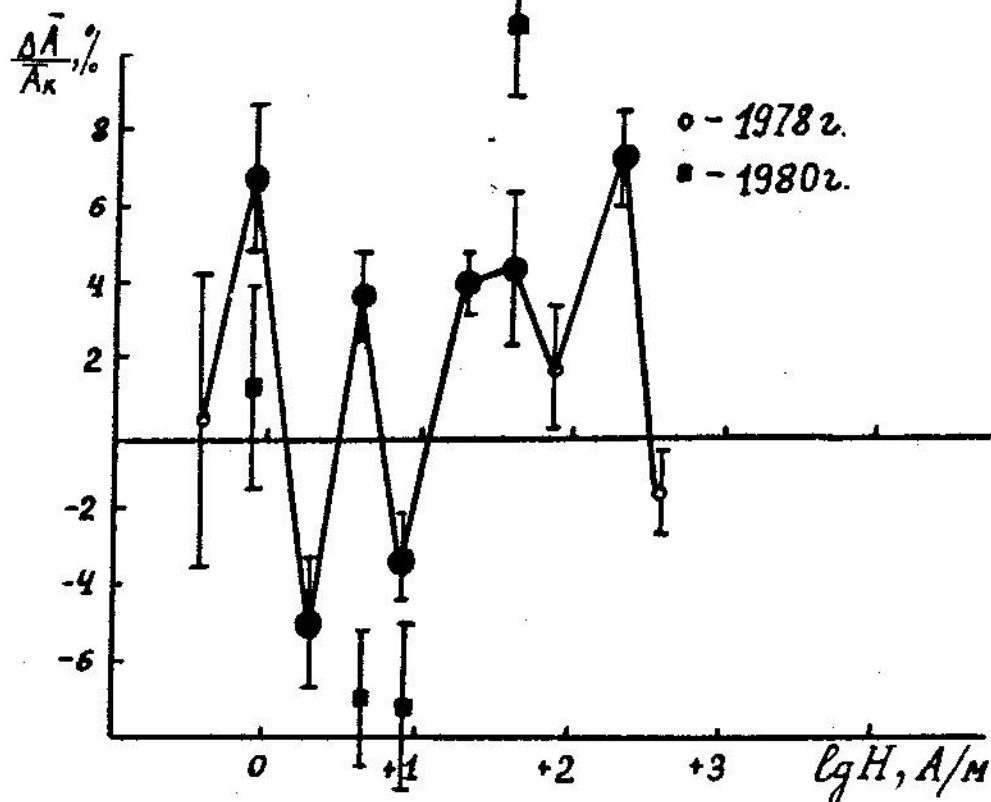


Рис.3.14. Зависимость амплитуды автоколебаний от напряженности магнитного поля с частотой 0.01 Гц.

$\frac{\Delta \bar{A}}{\bar{A}_k} = \frac{\bar{A}_{мп} - \bar{A}_k}{\bar{A}_k} \times 100\%$, где $\bar{A}_{мп}$, \bar{A}_k - средние значения амплитуды колебаний в опытах с воздействием МП и контрольных соответственно. Выделенные точки - изменения достоверны с уровнем значимости $P < 0,01$

знак эффектов при напряженностях 0,8; 8 и 40 А/м остался тем же, а при напряженности 4 А/м – изменился. Достоверные изменения флуктуаций амплитуды отмечены при напряженностях 2; 4; 8; 80; 200 А/м (рис.3.15). Флуктуации изменялись относительно контроля в 1,2 – 1,8 раза.

Зависимость от частоты изучали при действии МП с напряженностями 8 и 40 А/м. Усредненные результаты опытов по влиянию МП с частотами 0,001; 0,002; 0,003; 0,01; 0,02; 0,03; 0,1; 0,2; 0,3; 1; 2; 3; 10; 20; 30; 100; 200; 300 Гц представлены на рис.3.16. Собственная частота автоколебаний в течение опыта изменялась от ~ 0,025 до ~ 0,02 Гц.

Как видно из рисунка, эффекты увеличения амплитуды были существенней эффектов уменьшения – площадь, описываемая кривой выше нулевой линии, больше, чем площадь ниже этой линии. При действии МП с напряженностью 8 А/м увеличение амплитуды по сравнению с контролем составляло в среднем (без учета частоты МП) 6,3 %, при действии МП с напряженностью 40 А/м – 7,3 %. Эффекты уменьшения амплитуды были равны 3,8 % ($H = 8$ А/м) и 4,4 % (40 А/м). Флуктуации амплитуды уменьшались при действии МП обеих напряженностей в 60 % опытов. При действии МП с напряженностью 8 А/м флуктуации амплитуды уменьшались относительно контроля в среднем в 1,9 раза, при действии МП с напряженностью 40 А/м – в 2,5 раза.

Зависимости от частоты также сложные. В пользу реального существования таких зависимостей свидетельствуют следующие факты. Опыты с воздействием МП различных частот и напряженностей проведены в разные дни. Результаты контрольных опытов этих двух серий исследований не коррелируют между собой, тогда как зависимости эффектов МП от частоты коррелируют с уровнем значимости $P < 0,01$. То же самое мы наблюдали в опытах с агглютинацией бактерий. Опыты с воздействием на автоколебательную реакцию МП промежуточных

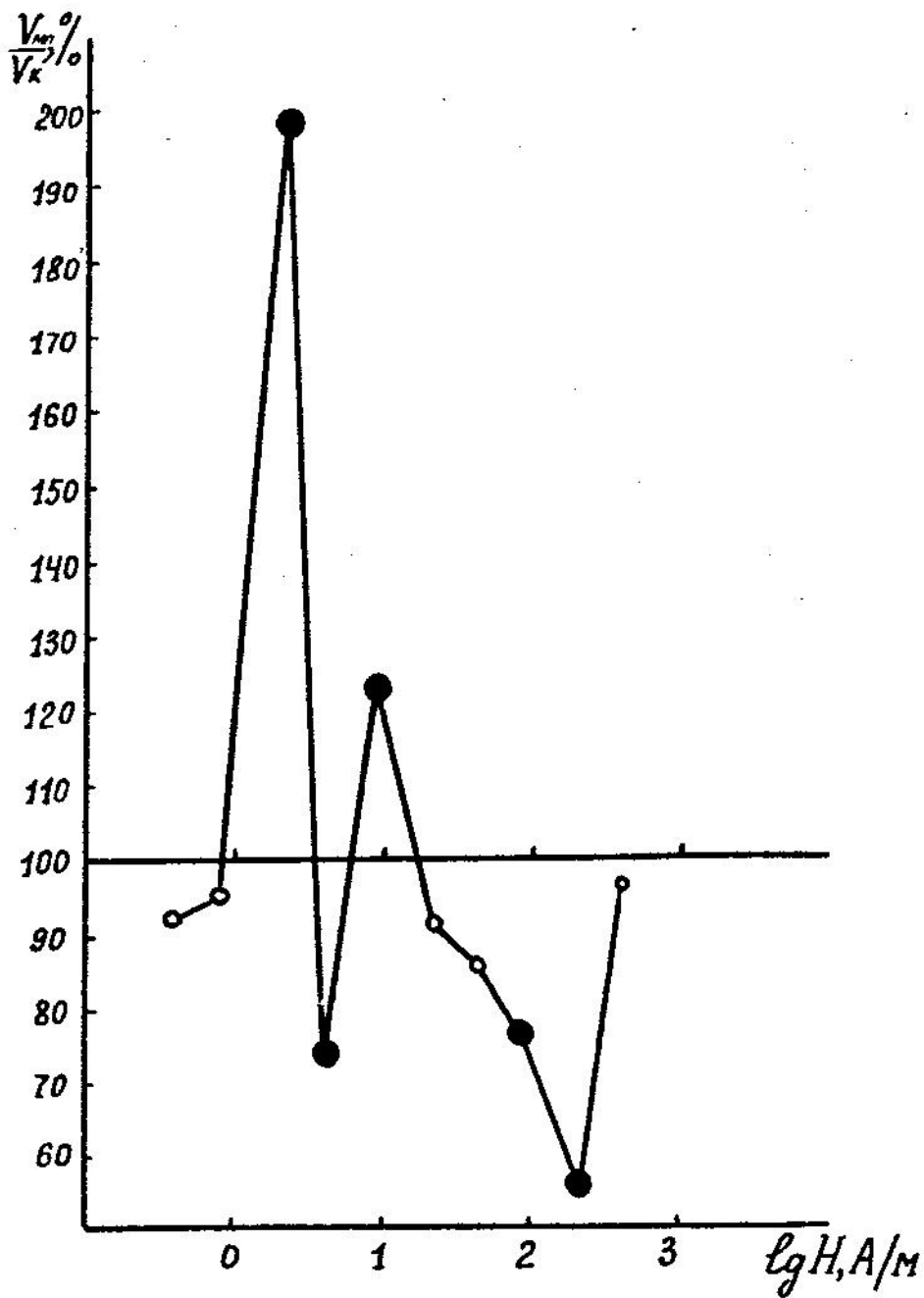


Рис. 3.15. Зависимость изменений флуктуаций амплитуды колебаний от напряженности магнитного поля $f = 0.01$ Гц. Коэффициенты вариальности в опытах с МИ (V_{MI}) и в контроле (V_k)

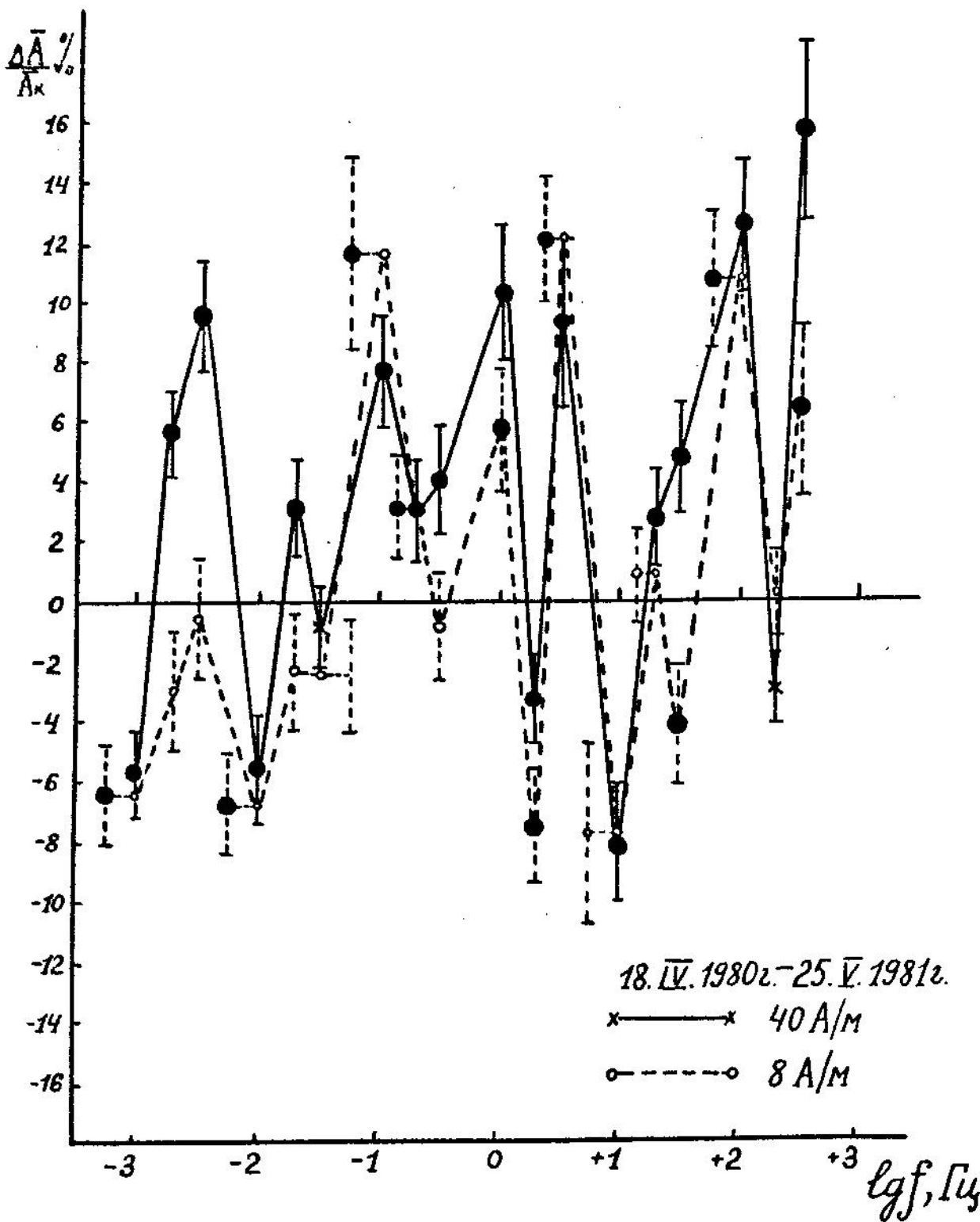


Рис. 3.16. Зависимость амплитуды колебаний от частоты магнитного поля. Кривые коррелируют с уровнем значимости $P < 0.01$.
 Обозначения - как на рис. 3.14

указанным частот ($f = 0,015; 0,025; 0,05; 0,065; 0,075; 0,085$ Гц) не привели к упрощению зависимости.

Было замечено, что величина и знак эффектов МП, а также результаты контрольных опытов флуктуируют ото дня ко дню. Флуктуации связаны, по-видимому, с координатами системы в пределах области существования колебаний. Известно, что на границах области воспроизводимости значительно хуже, чем внутри [235]. Другими причинами флуктуаций могут быть ЭМП, создаваемые работой лабораторного и промышленного оборудования и влияние на реакцию космогелиогеофизических факторов. Наличие корреляционной связи между рядом космогелиогеофизических индексов и флуктуациями амплитуды автоколебаний ото дня ко дню в опытах, проведенных в январе-июне 1980 г., показано в табл.3.6. При возрастании индексов, характеризующих геомагнитную активность (K_s, P_s3), флуктуации амплитуды уменьшались, при возрастании индексов, характеризующих солнечную активность ($W, P.I., H.K.$), флуктуации амплитуды увеличивались.

Из рис.3.17 видно, что амплитуда колебаний в опытах, проведенных при изучении зависимости реакции от частоты МП, коррелирует с числами Вольфа. Это также свидетельствует о связи флуктуаций результатов опытов с космогелиогеомагнитной активностью. Причем, знак связи может меняться. Если в 1980-1981 гг. связь с числами Вольфа амплитуды колебаний и флуктуаций амплитуды была положительной, то в 1978 г. - отрицательной. В 1978 г. проводилась серия опытов по изучению зависимости реакции от напряженности МП. Проводя опыты с воздействием МП в разные дни, мы действуем на исследуемые системы, имеющие разное исходное состояние. Так как эффекты МП невелики, исходный уровень должен, по-видимому, сказываться на конечном результате. Подтверждением могут служить данные, приведенные на рис.3.18. При сравнении эффектов МП (усредненные за день результаты без учета параметров МП), полученных

Таблица 3.6

Зависимость флуктуаций амплитуды колебаний в контрольных опытах от космогелиогеомагнитной активности

Индексы космогелиогеомагнитной активности	ρ	n	P
Числа Вольфа (W)	<u>+0.25</u>	76	<u>< 0.025</u>
Средний поток радиоизлучения Солнца на частоте 202 МГц в единицах 10^{-22} Вт/м ² МГц - Р.И. (обс. Москва)	<u>+0.29</u>	76	<u>< 0.05</u>
Среднесуточные значения интенсивности нейтронной компоненты космических лучей с поправкой на давление в имп/час (ст. Москва) - Н.К.	<u>+0.32</u>	68	<u>< 0.001</u>
Суточная характеристика магнитной активности в баллах (ст. Новосибирск) K_s	<u>-0.31</u>	76	<u>< 0.001</u>
Амплитуда микропульсаций типа Pc3 геомагнитного поля в гаммах (γ) (обс. Борок)	<u>-0.21</u>	76	<u>< 0.05</u>
Амплитуда микропульсаций типа Pc3 теллурических токов в мВ/км (обс. Иркутск)	<u>-0.27</u>	76	<u>< 0.01</u>
Критическая частота ионосферного слоя F_2 ($f_o F_2$) (ст. Томск)	-0.16	76	>0.05

Примечание. n - число значений коэффициентов вариабельности;
 ρ - коэффициент корреляции Спирмена;
 P - уровень значимости корреляции.
 Подчеркнуты статистически значимые значения.

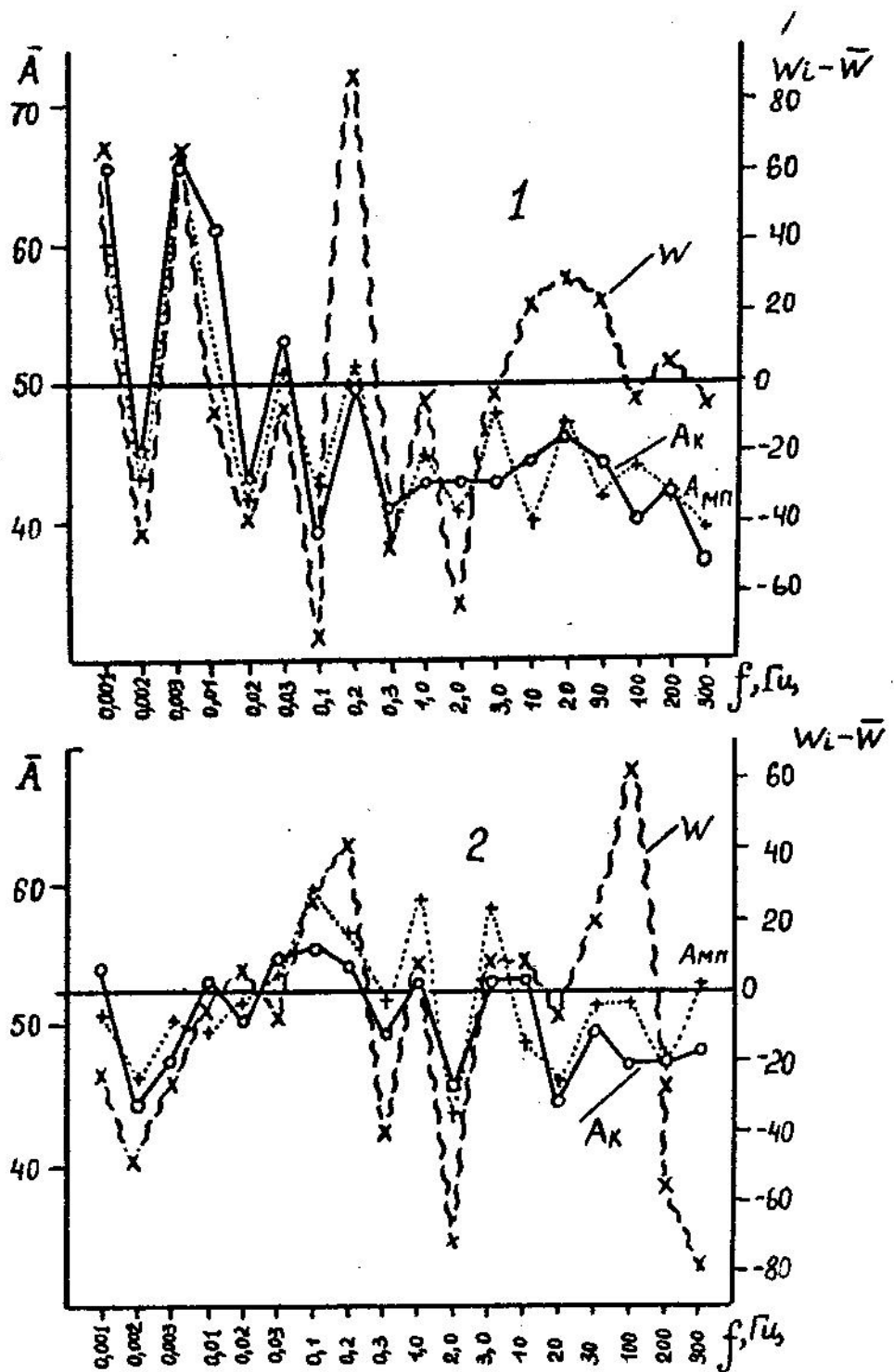


Рис.3.17. Корреляция результатов опытов, проведенных при изучении зависимости автоколебательной реакции от частоты МП, с числами Вольфа
 1 - 8 А/м; 2 - 40 А/м; \bar{A} , W_i - средние значения амплитуды колебаний и чисел Вольфа, соответствующие опытам с конкретными частотами; \bar{W} - усредненные за весь период исследования значения чисел Вольфа

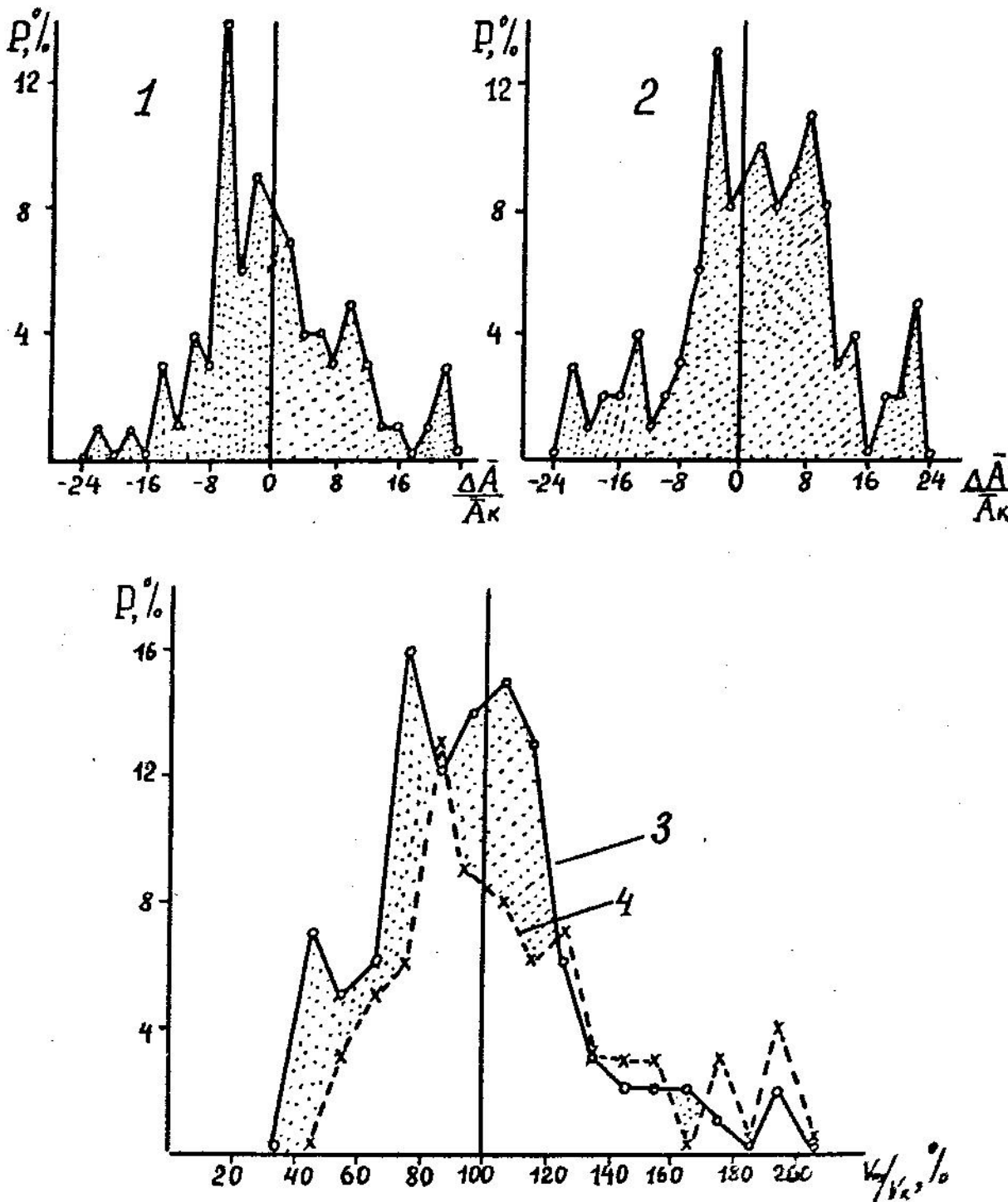


Рис.3.18. Статистические распределения эффектов магнитного поля в спокойные дни (1,4) и в дни геомагнитных бурь и вспышек (2,3)

P - вероятность эффекта определенного знака и величины. Остальные обозначения - как на рис. 3.14, 3.15

в "спокойные" и "возмущенные" (солнечные вспышки, геомагнитные бури) дни, отмечено следующее. В "возмущенные" дни в опытах с воздействием МП чаще, ^{чем в спокойные}, наблюдалось увеличение амплитуды колебаний (в 63 случаях из 106) и уменьшение флуктуаций амплитуды (в 60 случаях из 106). По критерию знаков [220] такие различия достоверны с уровнем значимости 95 %. В "спокойные" дни чаще отмечалось уменьшение амплитуды (в 42 случаях из 74) и увеличение флуктуаций амплитуды (в 41 случае из 74). Различия близки к статистически значимым: критическое значение для 95 % уровня достоверности - 45 случаев из 74.

Зависимость результатов опытов от внешних неконтролируемых факторов чрезвычайно затрудняет работу, однако из этого, по-видимому, не следует, что внешние факторы во всех случаях определяют исход реакций. Как в опытах с агглютинацией бактерий, так и в опытах с автоколебательной реакцией мы отмечали сходство амплитудных и частотных зависимостей, полученных в разное время.

В разное время были проведены опыты по изучению влияния на автоколебательную реакцию МП с напряженностью 40 А/м, $f = 0,03$ Гц. Видно (табл.3.8), что величина эффектов колеблется от 5 до 24 %, но знак эффекта сохраняется.

Изучение зависимости эффектов магнитного поля от температуры реакционной смеси и концентрации в ней церия.

Нами было установлено, что при выбранных концентрациях реагентов, зависимость амплитуды автоколебаний от температуры в области 20-50°C имеет несколько экстремумов [114]. Опыты по воздействию на реакцию МП ($H = 40$ А/м, $f = 0,02$ Гц) при различных температурах показали, что величина и знак эффекта зависят от температуры (рис.3.19). Зависимость сложная. При температурах 23,5; 27,5; 35; 37°C наблюдалось достоверное ($P < 0,01 - P < 0,001$) увеличение амплитуды колебаний относительно контроля. При темпе-

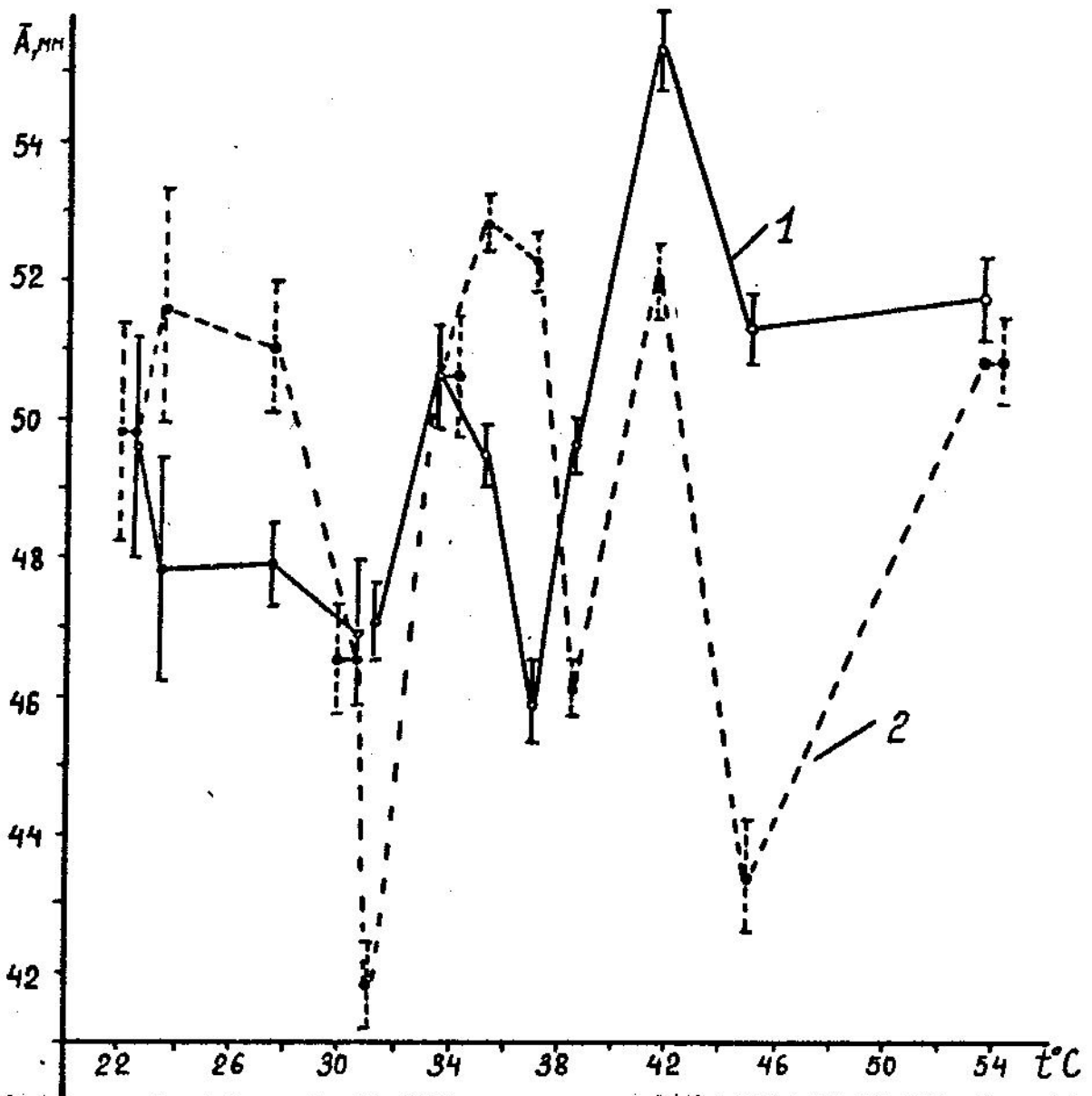


Рис.3.19. Влияние магнитного поля $H = 40$ А/м, $f = 0,02$ Гц при различных температурах реакционной смеси на амплитуду колебаний

\bar{A} - средние значения амплитуды колебаний;

I - результаты контрольных опытов и опытов с воздействием на реакцию МI - 2

ратурах 3I; 38,5; 4I,5; 45°C – достоверное уменьшение амплитуды. Изменения составляли от 6 до 15 %, в среднем – 9 %. Флуктуации амплитуды достоверно ($P < 0,01$) возрастали при температурах 27,5°; 45°C и достоверно уменьшались при температурах 30,5, 37°C. Флуктуации амплитуды при действии на реакцию МП изменялись в 2– 2,5 раза по сравнению с контролем.

Характерной чертой наблюдений и экспериментов, касающихся влияния естественных и сопоставимых с ними слабых искусственных электромагнитных полей на физико-химические и биологические объекты, является то, что эффекты ярче проявляются на системах, находящихся в неустойчивом состоянии.

Разную степень устойчивости автоколебательной реакции можно получить, меняя концентрации реагентов и их соотношение.

Была проведена серия опытов по влиянию постоянного МП напряженностью 40 А/м на реакцию при различных концентрациях церия в реакционной смеси (рис.3.20). При концентрациях церия $3,8 \times 10^{-5}$, $8,3 \times 10^{-5}$, $1,66 \times 10^{-4}$ М, магнитное поле не вызывало каких-либо значимых изменений в ходе реакции. При концентрациях $1,25 \times 10^{-4}$ и $1,4 \times 10^{-4}$ М амплитуда колебаний уменьшалась.

При концентрации $Ce_2(SO_4)_3 \cdot 8H_2O$ $8,3 \times 10^{-5}$ М были проведены опыты по влиянию постоянного МП напряженностью 2; 4; 40 А/м. В этом режиме флуктуации значений амплитуды сравнительно небольшие – не превышают 5,5 %. МП не вызывало статистически значимых изменений амплитуды колебаний, однако флуктуации значений амплитуды при действии МП 2 и 8 А/м изменялись достоверно (табл.3.7). Возможно, что флуктуации являются более чувствительным индикатором, чем средние значения, для выявления эффектов слабых воздействий.

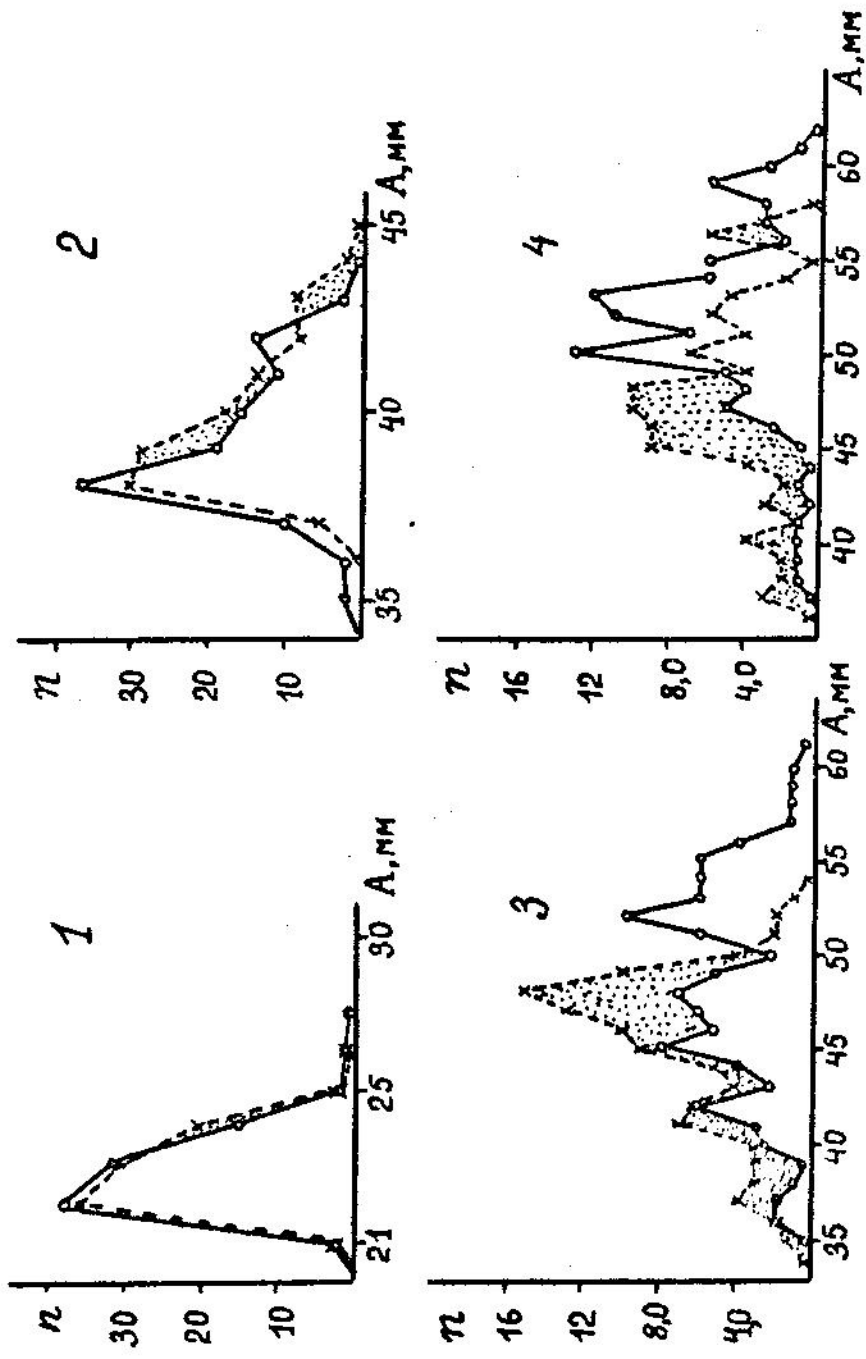


Рис. 3.20. Зависимость эффектов магнитного поля ($H = 40 \text{ A/mm}$) от концентрации в реакционной смеси серы $-\text{Ce}_2(\text{SO}_4)_3 \times 8\text{H}_2\text{O}$
 1) - $4,2 \times 10^{-5} \text{ M}$; 2) - $8,3 \times 10^{-5} \text{ M}$; 3) - $1,25 \times 10^{-4} \text{ M}$; 4) - $1,4 \times 10^{-4} \text{ M}$
 Сплошная линия - контрольные опыты, пунктирная - опыты с воздействием МП

Таблица 3.8

Влияние постоянного магнитного поля на автоколебательную реакцию при концентрации $Ce_2(SO_4)_3 \times 8H_2O$ в реакционной смеси - $8,3 \times 10^{-5}$ М

H, A/м	n	$\bar{A} \pm m, \text{ мм}$	$\Delta, \%$	$v, \%$	F σ
2.0	I07	3.06.1983г. К 38.6 ± 0.21	+0.62	5.03 < 5.6 < 6.3 3.4 < 3.8 < 4.3	2.17 <u>P < 0.00</u>
	II6	П 38.8 ± 0.14 P > 0.05			
2.0	I69	6.06.1983г. К 37.3 ± 0.15	-0.76	4.8 < 5.2 < 5.7 5.0 < 5.5 < 6.0	I.1 P > 0.05
	I75	П 36.97 ± 0.16 P > 0.05			
4.0	I60	2.06.1983г. К 40.98 ± 0.14	+0.12	3.9 < 4.3 < 4.7 4.2 < 4.6 < 5.0	I.13 P > 0.05
	I67	П 40.93 ± 0.15 P > 0.05			
8.0	I30	25.05.1983г. К 37.8 ± 0.14	+0.26	3.8 < 4.2 < 4.6 4.8 < 5.3 < 5.8	I.6 <u>P < 0.0</u>
	I34	П 37.9 ± 0.17 P > 0.05			
40.0	I20	24.05.1983г. К 41.8 ± 0.14	+0.48	3.4 < 3.8 < 4.2 3.7 < 4.1 < 4.6	I.16 P > 0.0
	I28	П 42.0 ± 0.15 P > 0.05			

Обозначения - как в таблице 3.5.

Влияние магнитного поля на амплитудно-частотные спектры реакции Белоусова-Жаботинского

Предполагается, что вариации естественных ЭМП оказывают влияние на живые организмы путем принудительной синхронизации биологических ритмов [4, 18-21, 28, 29]. Для экспериментального подтверждения этой гипотезы были проведены исследования амплитудно-частотных спектров реакции Белоусова-Жаботинского при действии на нее постоянного и переменного МП. Эта реакция зарекомендовала себя как удобная простейшая модель автоколебательных процессов, протекающих в живых организмах [135, 213, 236].

Как показали результаты анализа амплитудно-частотные спектры реакции имеют сложную структуру.

На рис. 3.21 представлен амплитудно-частотный спектр, полученный за полное время реакции - время, в течение которого наблюдались колебания (~ 8200 с). Шаг дискретизации равен 4 с, число отсчетов - 2048. В спектре можно выделить три основные области.

Низкочастотная область ($\sim 0 - 0,005$ Гц) обусловлена медленными изменениями средней оптической плотности.

Средняя часть спектра обусловлена квазигармоническими колебаниями концентраций реагентов.

Третья область спектра ($\sim 0,03-0,05$ Гц) обусловлена, по-видимому, тем, что колебания не являются строго гармоническими, вследствие нелинейных свойств исследуемой системы.

Как видно из рисунка, средняя часть спектра имеет несколько мод. Полиmodalность связана с непроточностью исследуемой системы по мере расходования реагентов частота колебаний уменьшается. Для того чтобы проследить этот процесс во времени, полное время реакции разделили на четыре равные интервала по 2048 с. Данные в каждом интервале обрабатывали с помощью метода быстрого преобразования Фурье [214, 237]. Так как шаг дискретизации был равен 4 с,

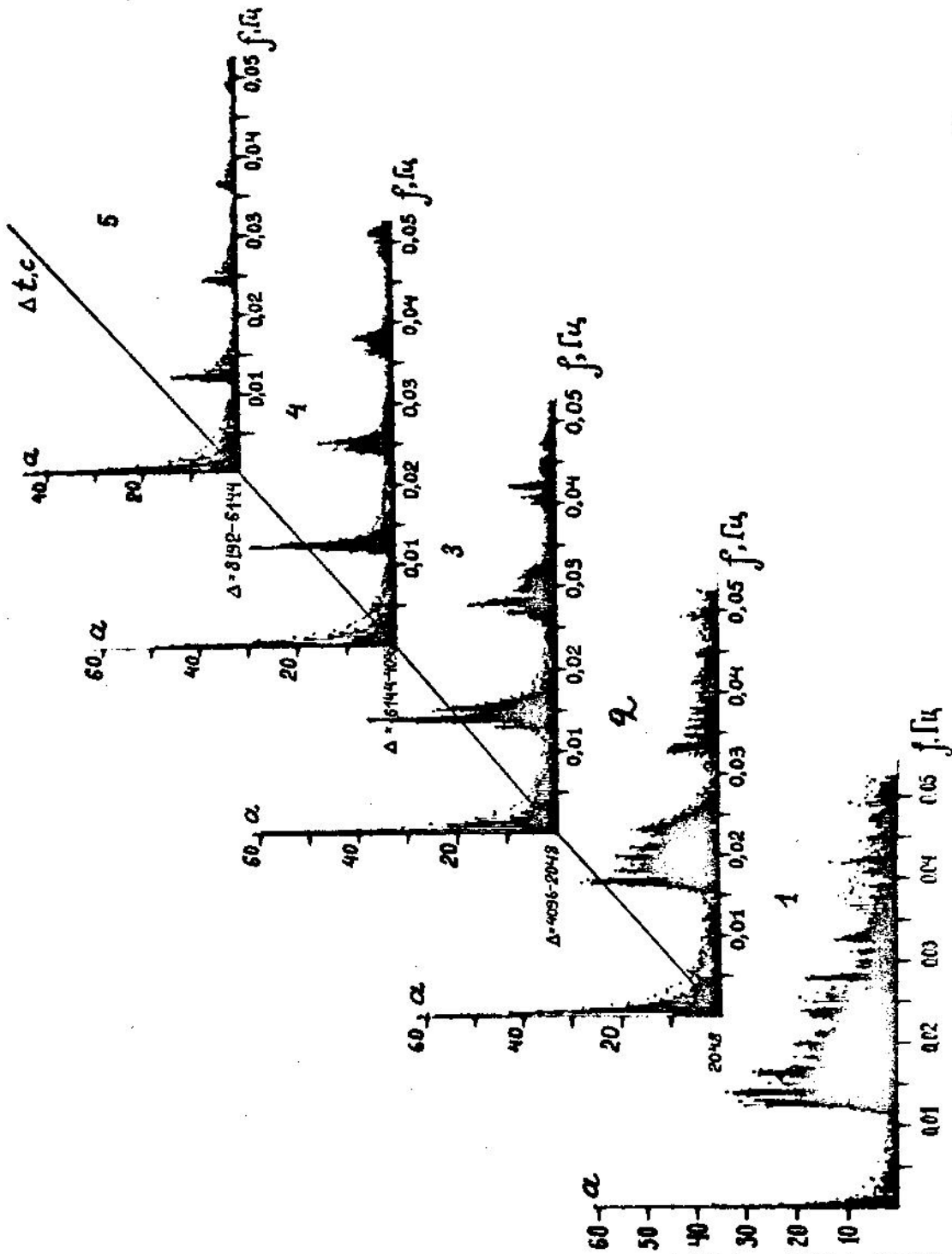


Рис. 3.21. Амплитудно-частотный спектр реакции Белоусова-Жаботинского за полное время реакции (1) и за временные интервалы по 2048 с (2-5), A - амплитуда гармонических составляющих спектра в условных единицах

для сохранения такого же масштаба, как в целом массиве, данные в каждом интервале были дополнены нулями до 2048 отсчетов [237]. Анализ показал, что в первые 2048 с самая большая скорость изменения частоты автоколебаний (многомодовый широкий спектр) и самая большая величина колебательной энергии, оцениваемой по площади средней части спектра. В дальнейшем частота изменялась с меньшей скоростью, колебательная энергия уменьшалась (рис.3.21).

По мере уменьшения в реакционной смеси концентрации реагентов координаты системы в пределах области существования колебаний изменяются. Переходы осуществляются резко (скачком), образуя седла между модами - основными частотами.

Опыты ^{с воздействием МП} проводили в течение 2048 и 4096 с. Амплитудно-частотные спектры таких реализаций представлены на рис.3.23. Основные частоты: $f = 0,025; 0,02; 0,015$ Гц.

Изучали влияние постоянного МП с напряженностью 40 А/м и переменного с частотами близкими или кратными основным частотам автоколебательной реакции:

$$H = 40 \text{ А/м}, \quad f = 0,01; 0,02; 0,025; 0,03; 0,05; 0,25 \text{ Гц};$$

$$H = 8 \text{ А/м}, \quad f = 0,03; 0,05; 2 \text{ Гц};$$

$$H = 4 \text{ А/м}, \quad f = 0,02; 0,03; 0,04; 0,05 \text{ Гц}.$$

Опыты с магнитным полем $H = 40 \text{ А/м}$, $f = 0,02; 0,03; 0,05$ Гц и постоянным проводили как при перемешивании, так и без перемешивания реакционной смеси.

Кроме того была проведена серия экспериментов по изучению влияния на реакцию одиночных прямоугольных однополярных импульсов МП длительностью $4 \pm 0,2$ с, с напряженностью 40 А/м, которые подавали в минимуме и максимуме каждого колебания, а также в моменты быстрого изменения скоростей реакций. Эти моменты фиксировали визуально по записи колебаний на ленте самописца.

В опытах с воздействием МП синхронизации и резонанса отме-

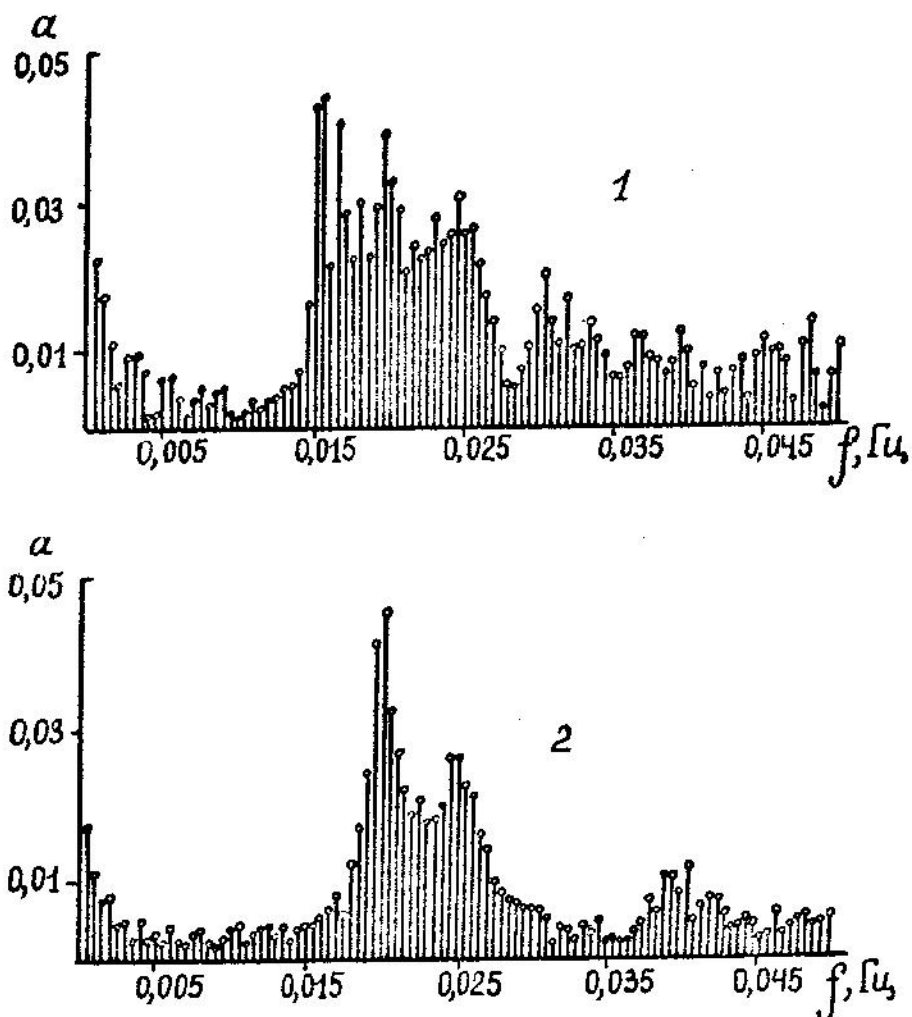


Рис. 3.22. Амплитудно-частотные спектры реакции Белоусова-Жаботинского при разной длительности опытов
 1 - 4096 с, 2 - 2048 с, α - нормированные значения гармонических составляющих спектра, пропорциональные напряжению, в относительных единицах

чено не было.

Наблюдалось изменение характера переходных процессов ("размывание" или углубление седел между модами), увеличение амплитуды гармоник в узкой области частот ($\sim 0,017-0,019$ Гц), изменение средней спектральной мощности, оцениваемой по величине среднего ^{к квадрату} отклонений $-\sigma^2$ [214, 237, 238], смещение спектров в область более высоких частот.

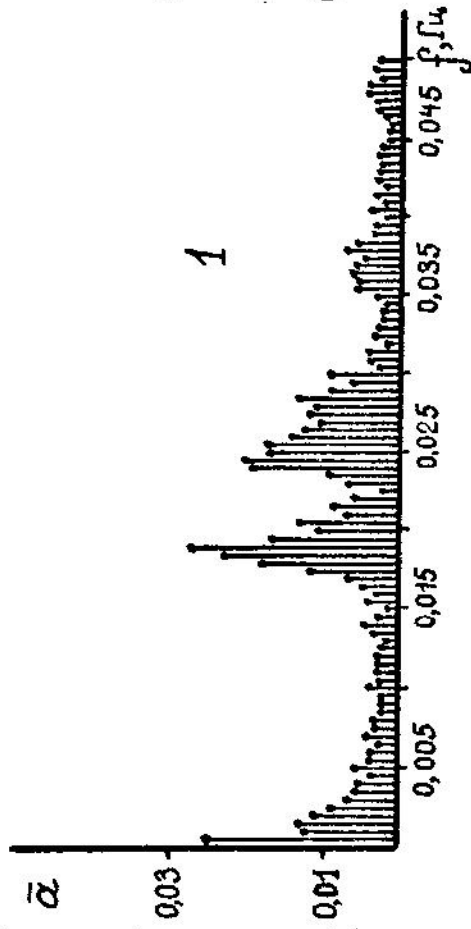
"Размывание" седел наблюдали при действии МП $H = 40$ А/м постоянного и переменного с частотами $0,02; 0,03$ Гц, в опытах без перемешивания реакционной смеси (рис. 3.23, 3.24).

Углубление седел отмечалось при действии поля $H = 40$ А/м, $f = 0,05$ Гц (рис. 3.25, 3.26); $H = 4$ А/м, $f = 0,02$ Гц (рис. 3.27) $0,03$ Гц.

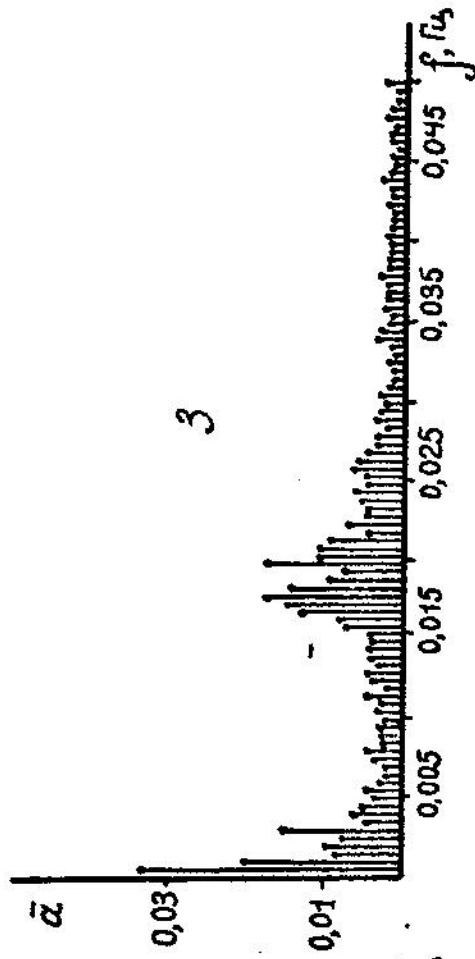
Амплитуда гармоник возрастала при действии МП $H = 40$ А/м, $f = 0,03$ и $0,05$ Гц (рис. 3.28, 3.29); $H = 8$ А/м, $f = 0,03$ Гц (рис. 3.30); $H = 4$ А/м, $f = 0,05$ и $0,04$ Гц.

Различия между результатами контрольных опытов и опытов с воздействием МП оценивали по величинам средних значений и дисперсий амплитуды гармоник в тех областях частот, в которых наблюдали изменения. Во всех отмеченных выше случаях изменения относительно контроля были достоверны с уровнем значимости $P < 0,05 - P < 0,01$.

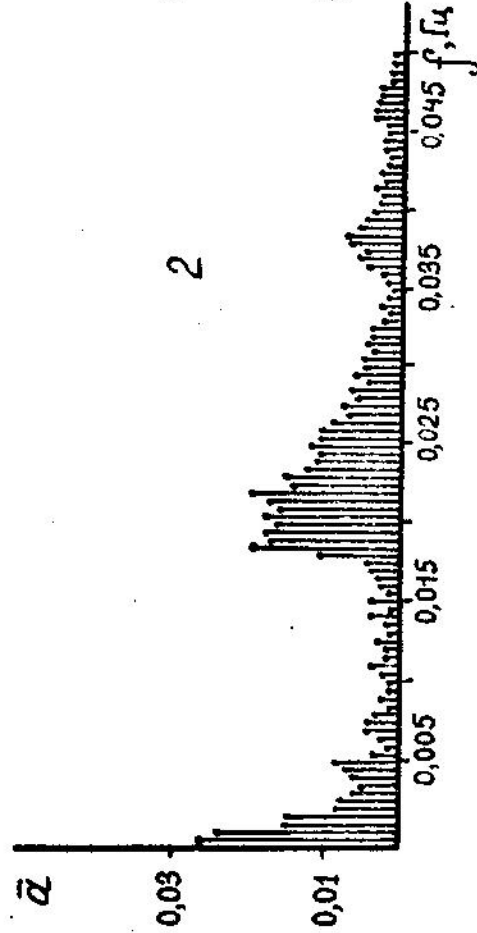
Средняя спектральная мощность достоверно ($P < 0,05 - P < 0,01$) возрастала в опытах с воздействием постоянного МП и переменного ($H = 40$ А/м, $f = 0,02; 0,03$ Гц; $H = 8$ А/м, $f = 0,03$ и $0,05$ Гц) при действии импульсов МП в минимуме и максимуме каждого колебания, а также при быстром падении оптической плотности и уменьшалась при действии поля $H = 40$ А/м, $f = 0,05$ Гц, $H = 4$ А/м, $f = 0,02$ и $0,04$ Гц. В среднем увеличение ^{мощности} ~~амплитуды~~ составляло 18% , уменьшение -13% , хотя в отдельных сериях изменения достигали $30-60\%$.



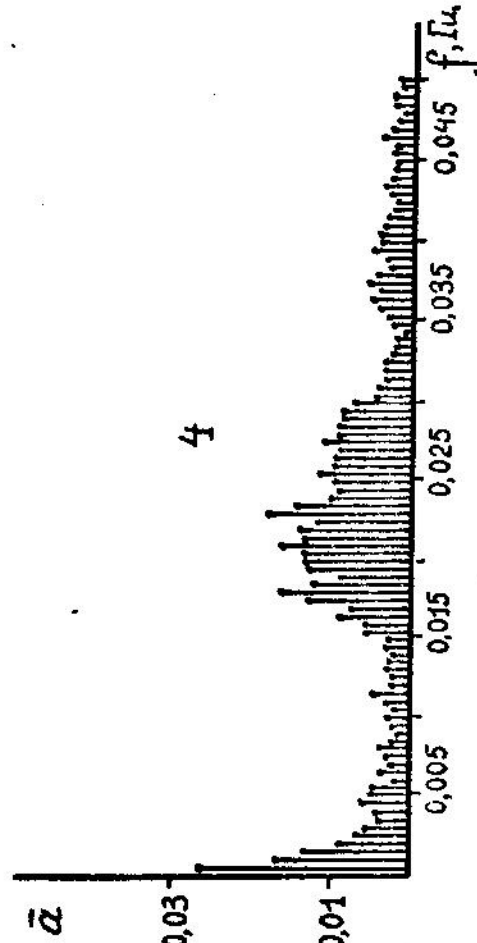
1



3



2



4

Рис. 3.23. Влияние постоянного МП с напряженностью 40 А/м (2) и переменного $H = 40$ А/м, $f = 0,02$ Гц (4) на амплитудно-частотные спектры реакции Белоусова-Жаботинского в опытах без перемешивания реакционной смеси; 1,3 - контроль; $\bar{\alpha}$ - средние значения амплитуды гармоник в относительных единицах; продолжительность каждого опыта - 2048 с

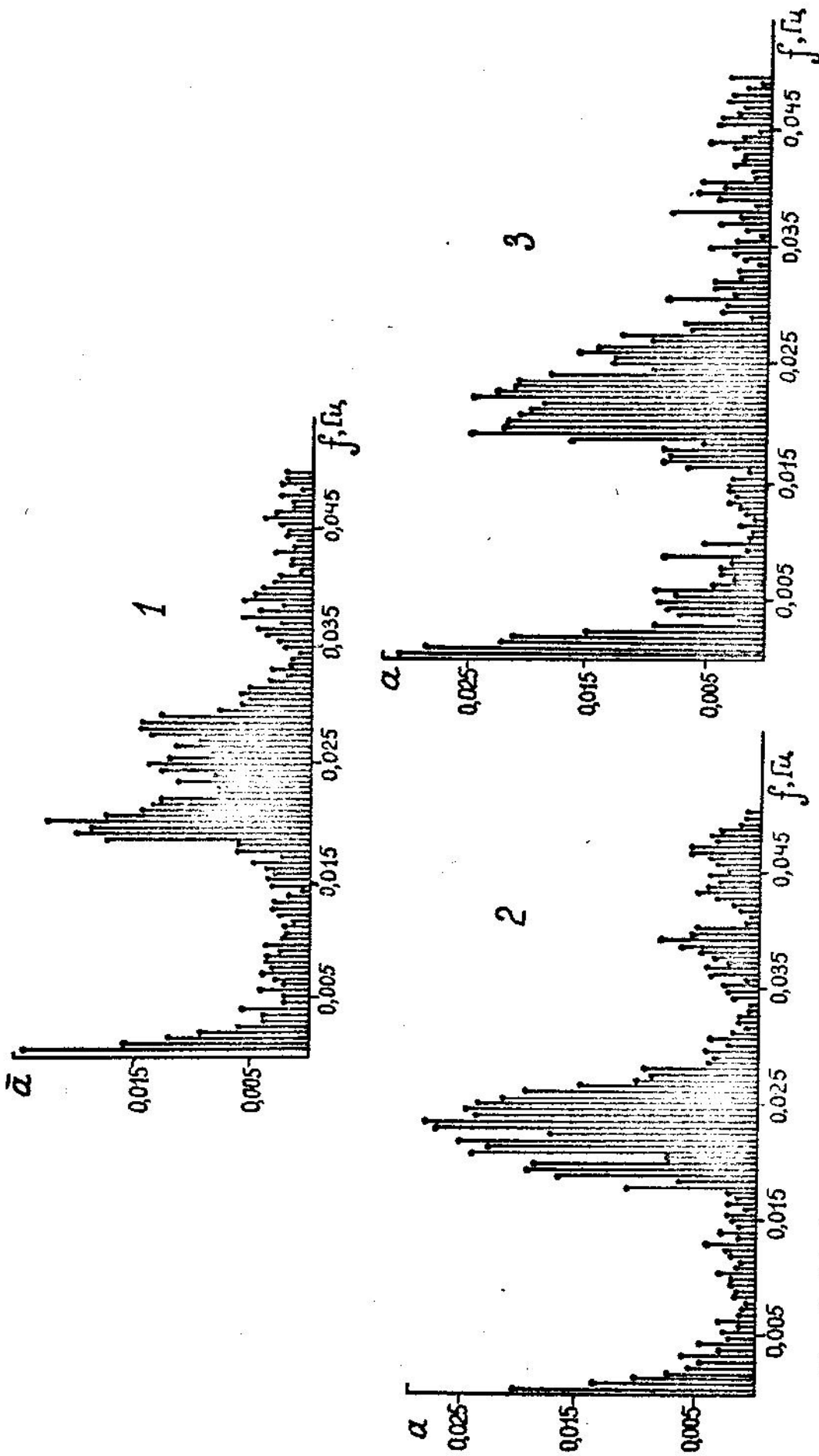


Рис. 3.24. Влияние магнитного поля $H = 40 \text{ А/м}$, $f = 0,03 \text{ Гц}$ на амплитудно-частотные спектры реакции Белоусова-Жаботинского в опытах без перемешивания реакционной смеси. 1 - усредненные результаты контрольных опытов, 2-3 - результаты опытов с воздействием МП; продолжительность опыта - 2048 с

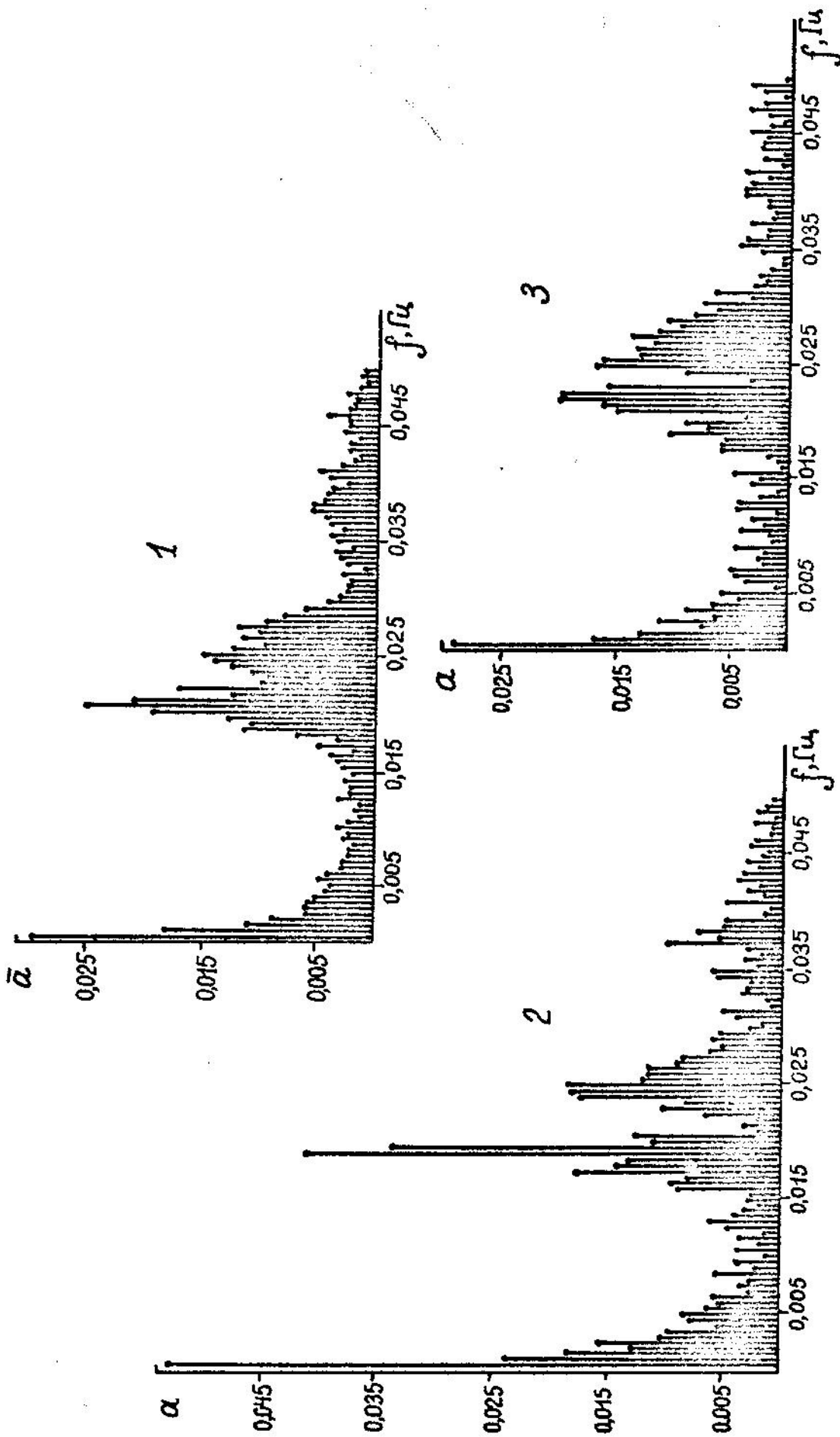


Рис. 3.25. Влияние магнитного поля $H = 40$ А/м, $f = 0,05$ Гц на амплитудно-частотные спектры реакции Белоусова-Жаботинского в опытах без перемешивания реакционной смеси. 1 - усредненные результаты контрольных опытов; 2,3 - результаты опытов с воздействием МП; продолжительность опыта - 2048 с

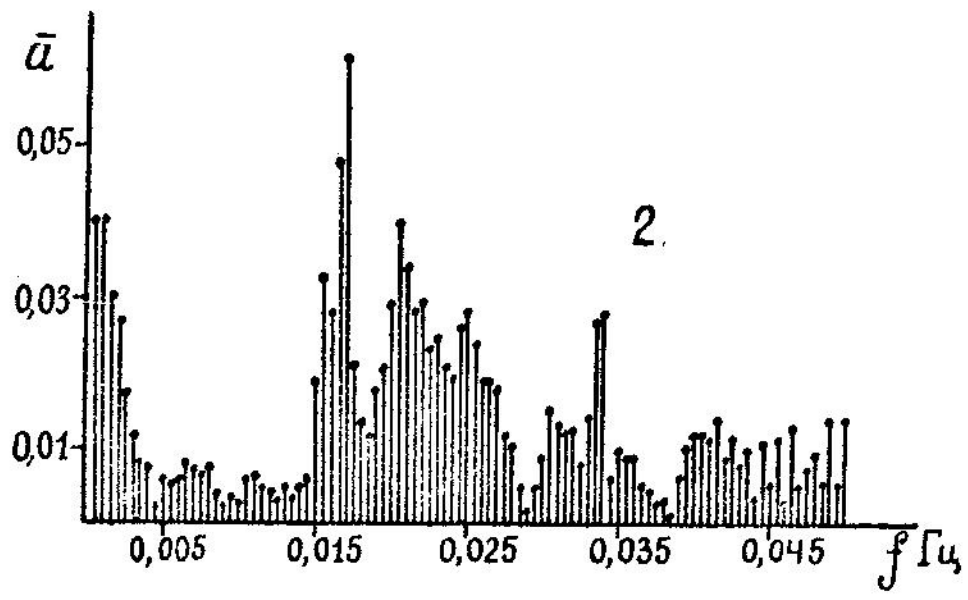
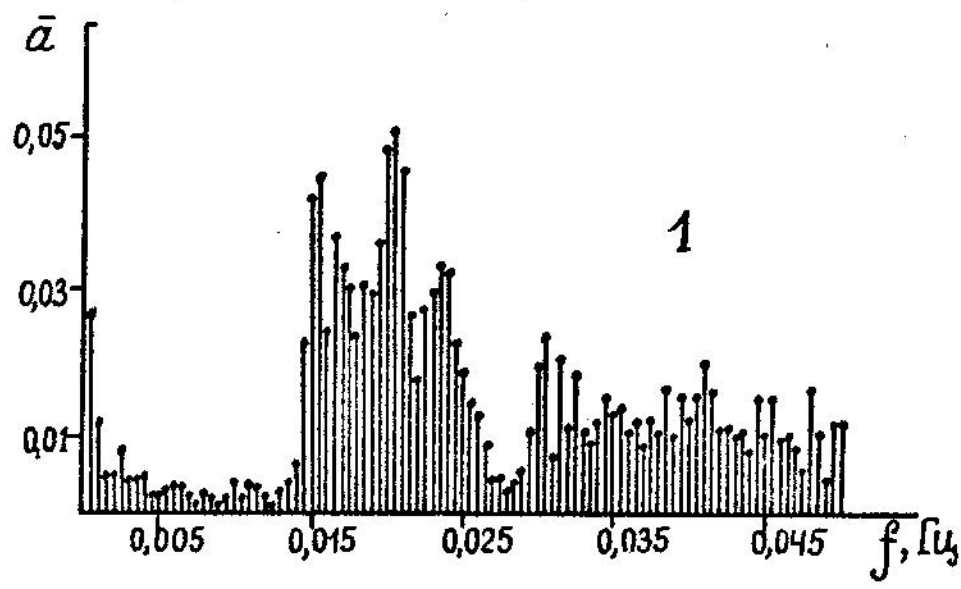


Рис. 3.26. Изменение амплитудно-частотного спектра под влиянием магнитного поля $H = 40 \text{ А/м}$, $f = 0,05 \text{ Гц}$. Усредненные результаты контрольных опытов (1) и опытов с воздействием МП (2), \bar{a} - средние значения амплитуды гармоник. Реакционная смесь перемешивалась, продолжительность опыта - 4096 с

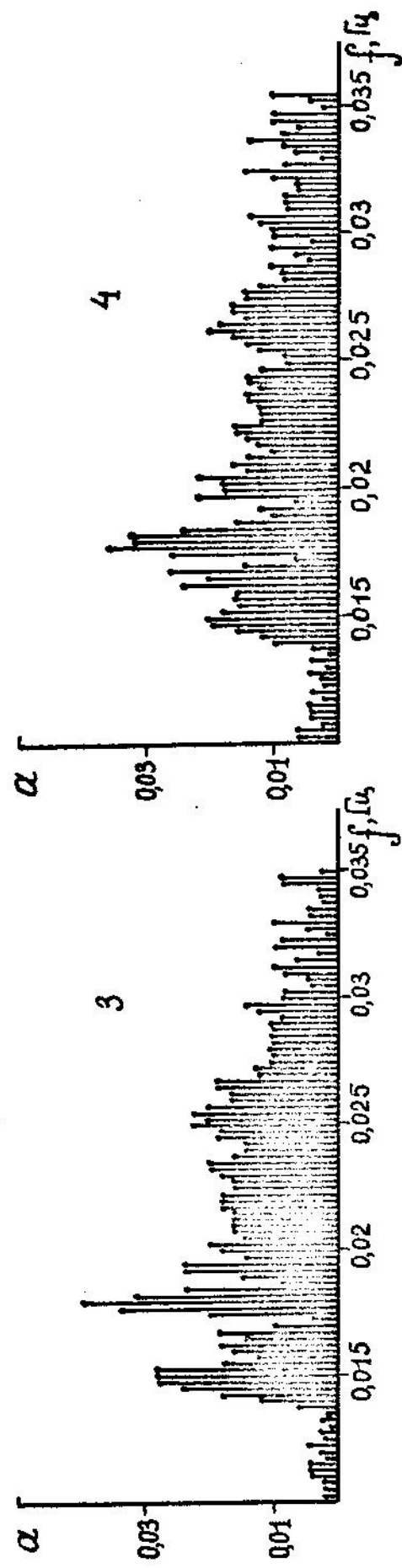
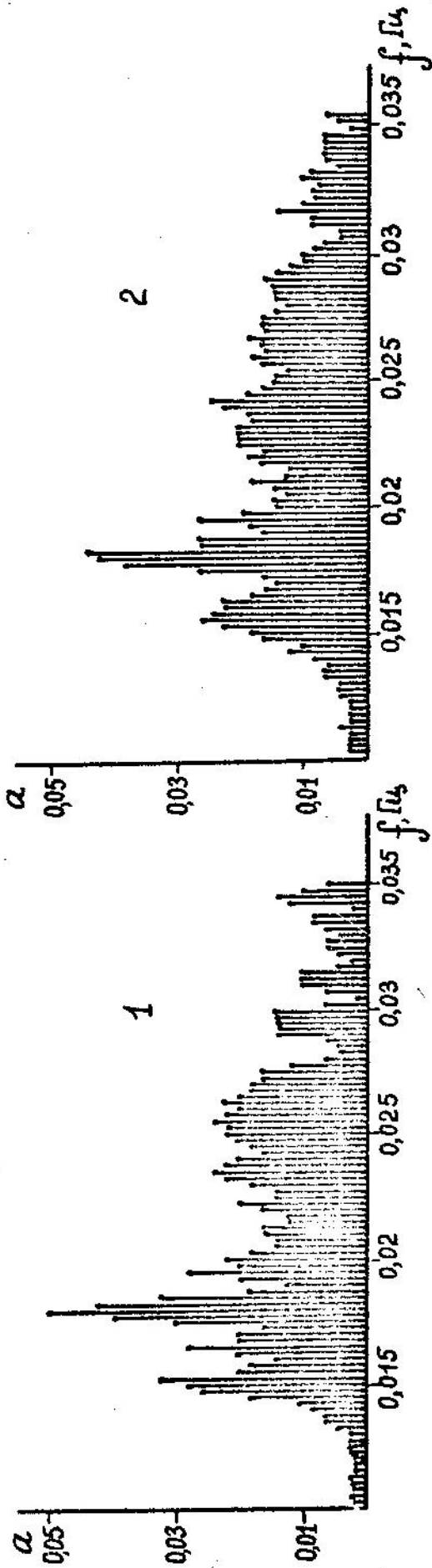


Рис.3.27. Изменение средней части амплитудно-частотных спектров под влиянием МП

$H = 4 \text{ A/m}$, $f = 0,02 \text{ Гц}$.

1,2 - контроль; 3,4 - опыты с воздействием МП; реакционная смесь перемешивалась; продолжительность опыта - 4096 с

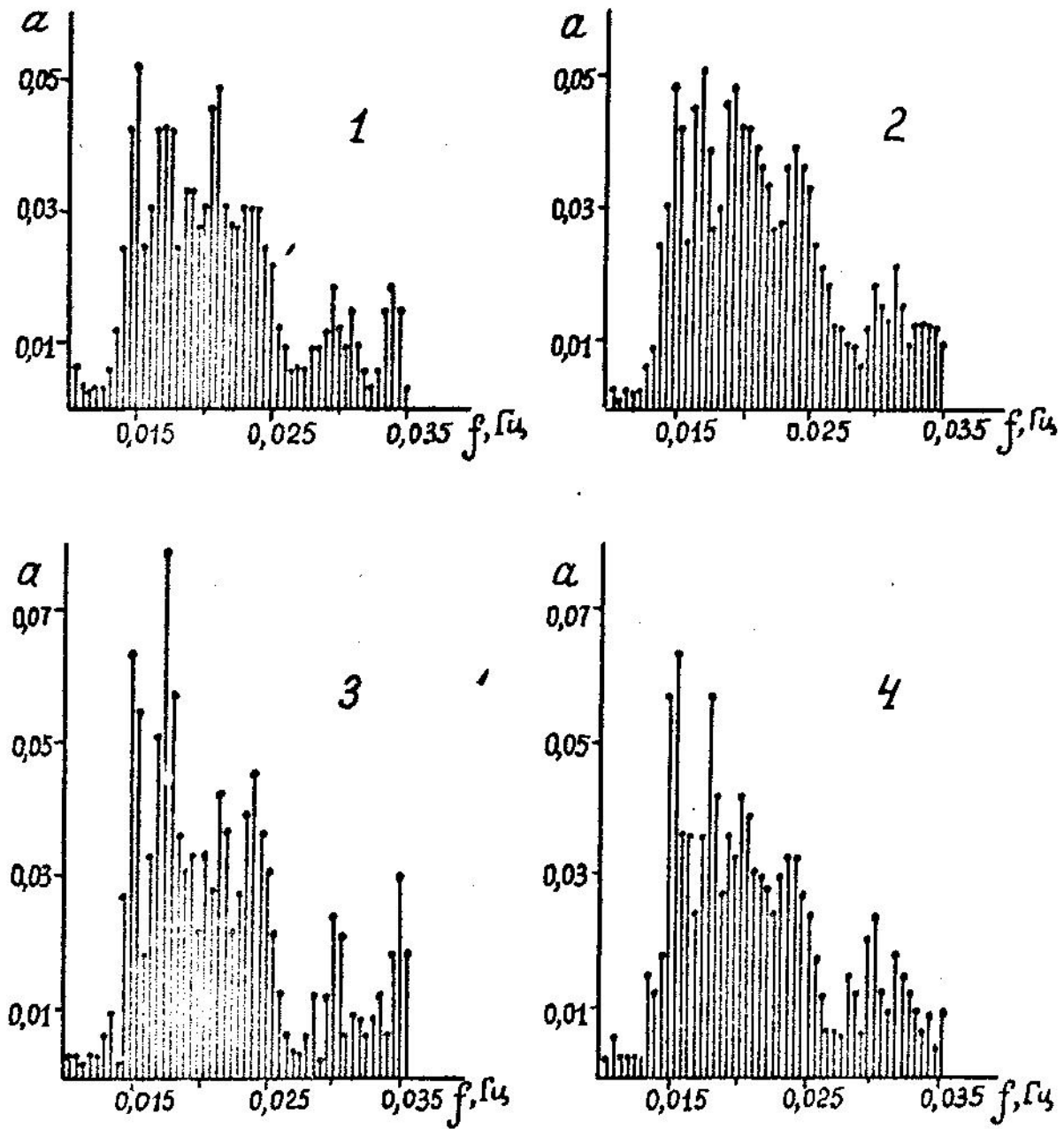


Рис.3.28. Изменение средней части амплитудно-частотных спектров под влиянием МП $H = 40 \text{ А/м}$, $f = 0,03 \text{ Гц}$ в опытах с перемешиванием реакционной смеси
 1,2 - контроль; 3,4 - опыты с воздействием МП;
 продолжительность опыта - 4096 с

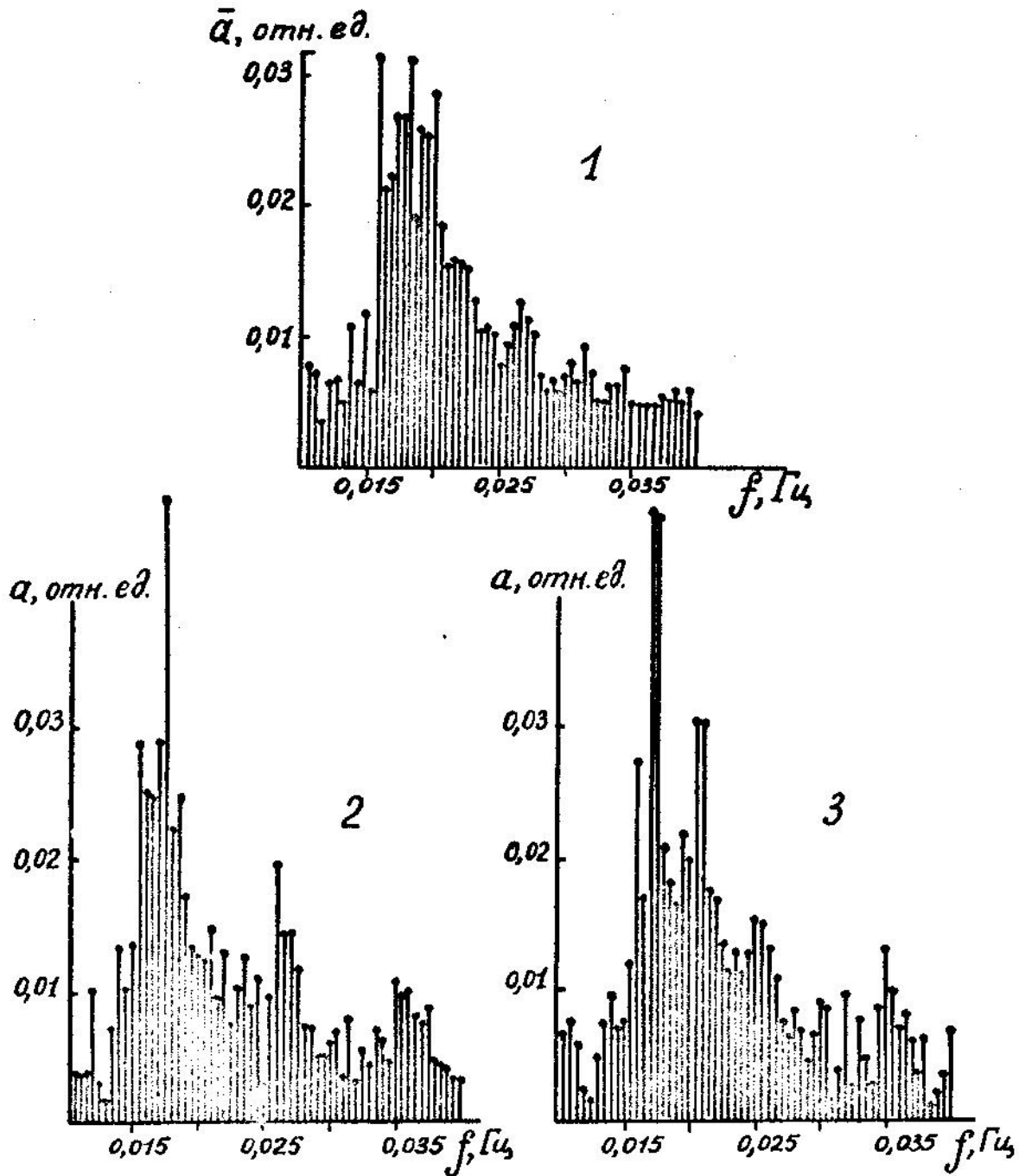


Рис.3.29. Изменение средней части амплитудно-частотных спектров под влиянием МП $H = 40$ А/м, $f = 0,05$ Гц в опытах без перемешивания реакционной смеси. 1 - усредненные результаты контрольных опытов; 2,3 - опыты с воздействием МП; продолжительность опыта - 4096 с

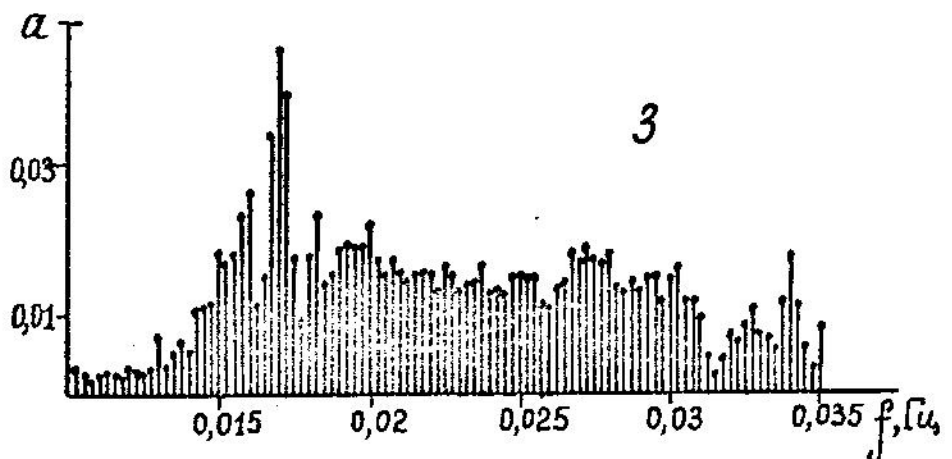
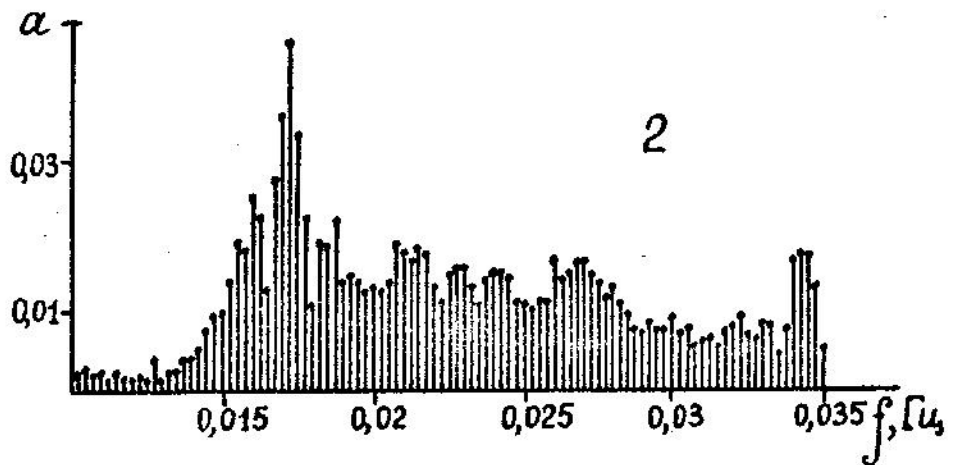
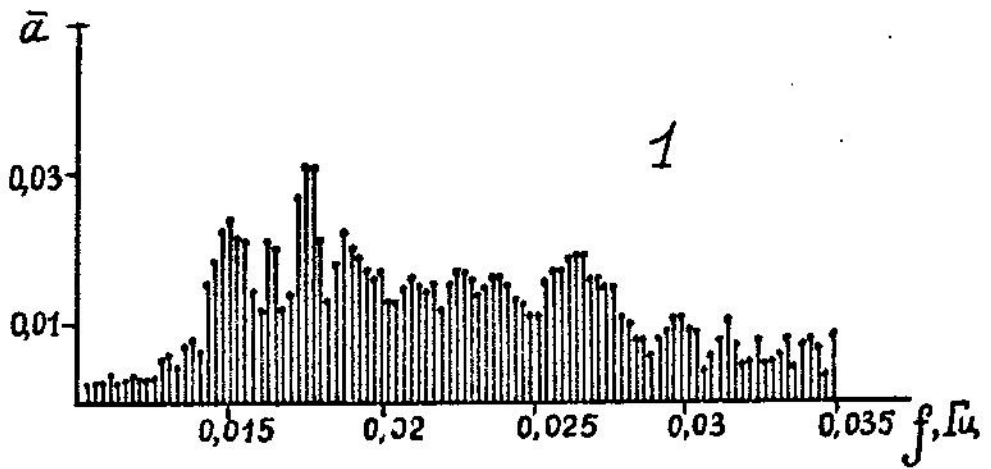


Рис.3.30. Изменение средней части амплитудно-частотных спектров реакции Белоусова-Жаботинского под влиянием магнитного поля $H = 8 \text{ А/м}$, $f = 0,03 \text{ Гц}$.
 I - усредненные результаты контрольных опытов
 2-3 - результаты опытов с воздействием МИ;
 продолжительность опыта - 4096 с

Смещение спектров в высокочастотную область отмечалось при действии постоянного МП, при действии МП $H = 40 \text{ A/m}$, $f = 0,02; 0,05 \text{ Гц}$ (рис.3.31) и при действии прямоугольными импульсами в минимуме каждого колебания (рис.3.32).

Важно заметить, что опыты по изучению влияния слабых МП на амплитудно-частотные спектры автоколебательной реакции Белоусова Жаботинского требуют особенной тщательности, так как спектры очень изменчивы, а эффекты МП невелики и проявляются, главным образом, в моменты перехода автоколебательного процесса от одной частоты к другой. При резком переходе мы видим глубокое седло между модами, при плавном - седло "размытое" за счет увеличения вклада частот промежуточных основным. В некоторых случаях повышается амплитуда отдельных гармоник. Это наблюдалось в узкой области частот (0,017-0,019 Гц). Эффекты МП хорошо воспроизводились в опытах, проведенных в один и тот же день и могли не повториться в другие дни. Например, при действии МП одних и тех же параметров можно было наблюдать вместо углубления седла его "размывание". На основании этих опытов можно сделать выводы только о том, что слабые МП влияют на амплитудно-частотные спектры и о характере влияния. Говорить об эффектах МП конкретных частот и напряженностей было бы преждевременно. Это является задачей дальнейших исследований. Качественно эффекты МП ничем не отличались от эффектов, производимых другими факторами. На рис.3.33 показано изменение характера перехода при изменении начальной температуры растворов $Ce_2(SO_4)_3$, $KBrO_3$ и $CH_2(COOH)_2$. Растворы после приготовления были разделены на две партии, одну из которых хранили 12 ч до опыта в холодильнике (температура растворов $+10^{\circ}C$), а другую - в металлическом экране при комнатной температуре ($+22^{\circ}C$). H_2SO_4 также хранили при комнатной температуре. Объем реагентов в реакционной смеси был следующий: $Ce_2(SO_4)_3$

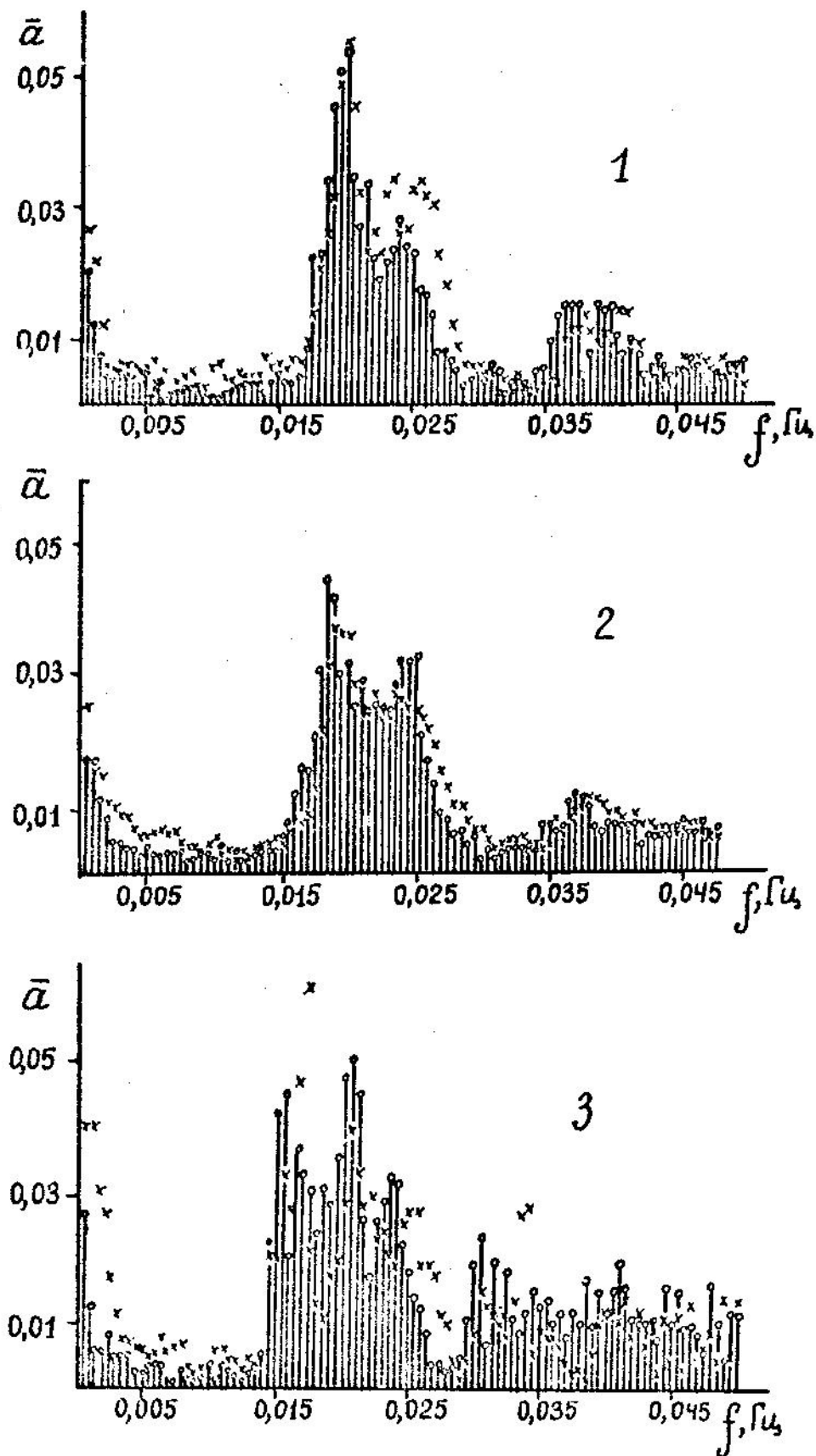


Рис. 3.31. Смещение амплитудно-частотных спектров реакции Белоусова-Жаботинского в опытах с воздействием МП. 1 - ПМП, 2 - 0,02 Гц, 3 - 0,05 Гц; заштрихованы спектры контрольных опытов, (x) - результаты опытов с воздействием МП.

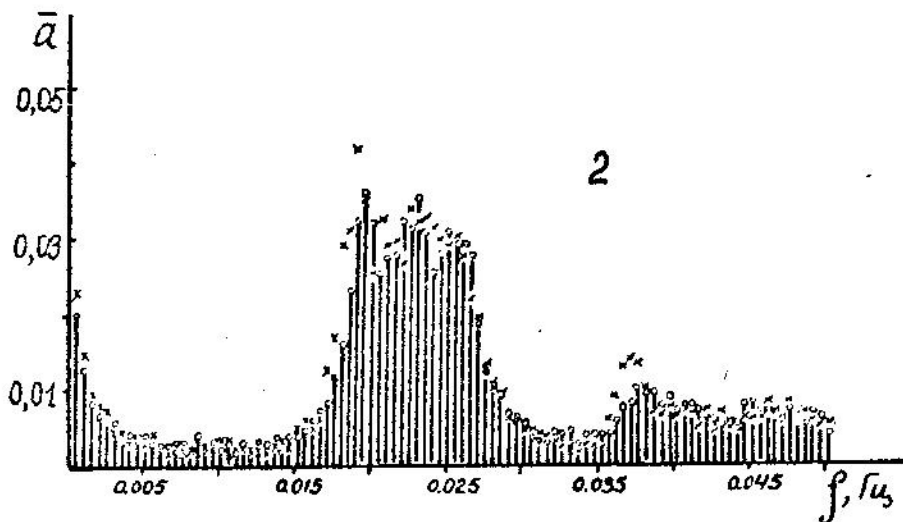
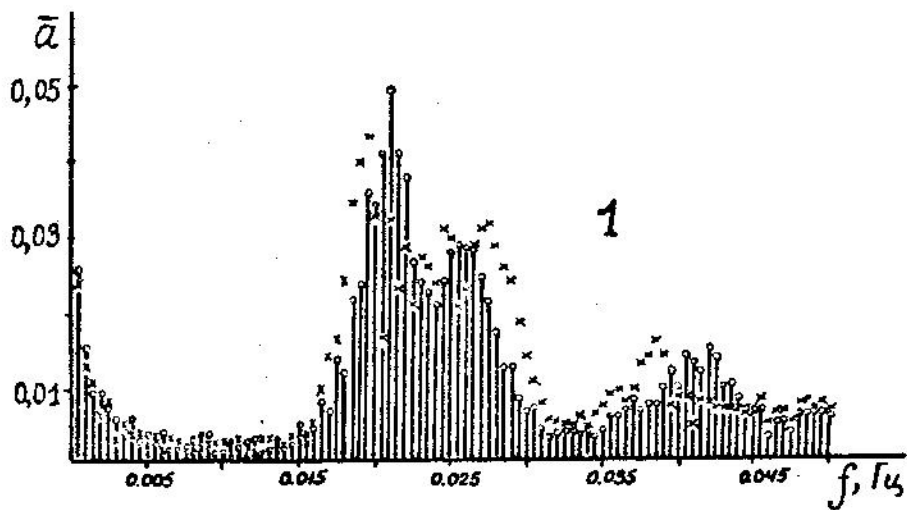


Рис.3.32. Влияние импульсов магнитного поля с амплитудой 40 А/м и длительностью $4 \pm 0,2$ с на амплитудно-частотные спектры автоколебательной реакции
 1 - импульсы в минимуме колебаний,
 2 - импульсы в максимуме колебаний
 Продолжительность опытов 2048 с
 Обозначения - как на рис.3.31

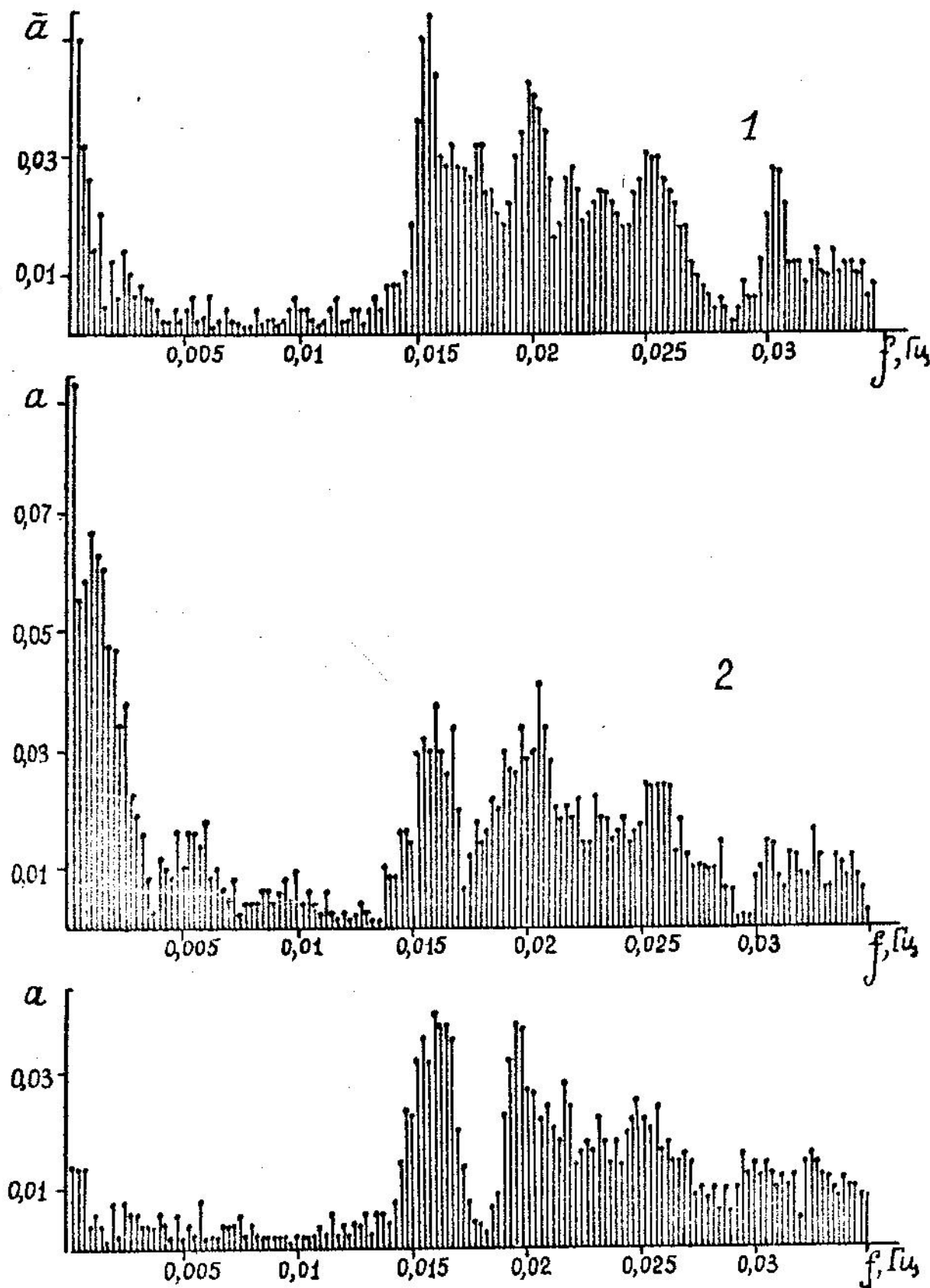


Рис. 3.33. Влияние начальной температуры растворов на характер перехода от одной частоты колебаний к другой.
I — усредненные результаты контрольных опытов,

- 1 мл, $KBrO_3$ - 2 мл, $CH_2(COOH)_2$ - 2 мл, H_2SO_4 - 13 мл
 Опыты проводили в термостатированных условиях ($t = 38 \pm 0,5^\circ C$)
 по стандартной методике.

При работе с растворами, хранившимися в холодильнике, наблюдали резкий переход от частоты $\sim 0,02$ Гц к частоте $\sim 0,015$ Гц, значительное увеличение в одном случае и уменьшение в другом амплитуды гармоник в низкочастотной области спектра ($0 - 0,005$ Гц).

В контрольных опытах спектры обычные. Из этих опытов следует, что изменчивость спектров ото дня ко дню может быть вызвана неконтролируемыми в процессе работы факторами.

Специалисты, изучающие фазовые переходы, постоянно обращают внимание на высокие требования к точности проведения опытов и измерений в этой области физики и на трудности, вызванные такими требованиями, так как системы вблизи особых точек обладают чрезвычайно высокой восприимчивостью к разного рода возмущениям, что существенно искажает картину перехода. Искажения могут быть воспроизводимы. Однако контроль за множеством факторов, искажающих переходы, является практически нереальной задачей [131, 132].

Возможный механизм влияния магнитного поля на автоколебательную реакцию

В настоящее время создана теория, подтвержденная экспериментом, и открыты физические механизмы влияния МП порядка десятков и сотен эрстед на химические реакции с участием радикалов и триплетных молекул [239, 240]. Были получены косвенные [241] и прямые [242] доказательства участия радикальных частиц в автоколебательной реакции Белоусова-Жаботинского. С целью получения косвенных доказательств участия свободных радикалов в механизме действия МП на автоколебательную реакцию нами было проведено три серии опытов. В первой серии изучали влияние МП ($H = 40$ А/м,

$f = 0,03$ Гц), во второй - влияние гидрохинона низкой концентрации ($6,6 \times 10^{-5}$ М. в реакционной смеси), в третьей - совместное действие этих факторов.

Известно, что гидрохинон - сильный восстановитель. Он является ингибитором полимеризации и антиоксидантом. В основе этих его свойств лежит способность взаимодействовать с активными радикалами. Водные растворы гидрохинона на воздухе легко окисляются. При окислении образуется хингидрон, а затем π -бензохинон, который также является ингибитором некоторых радикальных реакций.

В 20 парах опытов (пара: контроль - опыт с воздействием МП) было установлено, что при действии на реакцию МП с напряженностью 40 А/м и частотой 0,03 Гц амплитуда колебаний достоверно ($P < 0,01$ - $P < 0,001$) увеличивалась относительно контроля на 5 - 24 % (табл.3.9).

При добавлении в реакционную смесь 0,06 мл 0,002 М свежеприготовленного водного раствора гидрохинона амплитуда колебаний уменьшалась относительно контроля на 3,5-17 %. Изменения достоверны ($P < 0,05$ - $P < 0,001$). Гидрохинон добавляли до начала колебаний. Для сохранения равенства объемов в растворы контрольных опытов добавляли дистиллированную воду. Если гидрохинон добавляли в реакционную смесь, которая находилась в МП, закономерного изменения амплитуды под влиянием совместно действующих факторов не наблюдалось. В среднем амплитуда возрастала на 2,4 %.

Предполагается, что в автоколебательной реакции Белоусова-Жаботинского принимают участие радикалы BzO^{\cdot} , Bz^{\cdot} , BzO_2^{\cdot} [243,244]. Установлено участие радикалов малоновой кислоты [241]. Введение

π -бензохинона в раствор, содержащий малоновую кислоту и церий, приводит к ингибированию реакций через определенный промежуток времени, а далее наблюдается медленное повышение оптической плотности раствора. Полученным результатам дается следующее качественное

Таблица 3.9

Влияние магнитного поля и гидрохинона на автоколебательную реакцию Белоусова - Жаботинского

n	$\bar{A} \pm m, \text{ мм}$	$\Delta, \%$	$v, \%$	$F\sigma$
1	2	3	4	5
Влияние магнитного поля ($H = 40 \text{ А/м}$, $f = 0,03 \text{ Гц}$)				

	14.04.1980г.			
100	К $43,3 \pm 1,06$	+24	$21,6 < 24,2 < 27,6$	2,1
100	П $53,7 \pm 0,72$		$11,9 < 13,4 < 15,1$	<u>$P < 0,01$</u>
	<u>$P < 0,001$</u>			
	18.03.1980г.			
61	К $52,1 \pm 0,85$	+6,1	$11,1 < 12,9 < 15,2$	1,4
61	П $55,3 \pm 0,73$		$9 < 10,4 < 12,2$	$P > 0,05$
	<u>$P < 0,01$</u>			
	14.06.1982г.			
91	К $62,6 \pm 0,67$	+5,9	$9,6 < 10,8 < 12,3$	1,1
93	П $66,3 \pm 0,69$		$9,1 < 10,2 < 11,6$	$P > 0,05$
	<u>$P < 0,01$</u>			
	14.08.1984г.			
94	К $31,6 \pm 0,35$	+7,97	$9,5 < 10,7 < 12,2$	1,1
99	П $34,1 \pm 6,32$		$8,4 < 9,4 < 10,7$	$P > 0,05$
	<u>$P < 0,001$</u>			
	29.06.1984г.			
38	К $32,5 \pm 0,46$	+8,3	$6,9 < 8,7 < 10,2$	2,1
33	П $35,2 \pm 0,30$		$4,6 < 5,5 < 6,9$	<u>$P < 0,05$</u>
	<u>$P < 0,01$</u>			
	14.06.1984г.			
131	К $33,01 \pm 0,27$	+14,5	$8,4 < 9,3 < 10,4$	3,0
133	П $37,8 \pm 0,46$		$12,6 < 14,0 < 15,6$	<u>$P < 0,001$</u>
	<u>$P < 0,001$</u>			
	13.11.1984г.			
65	К $32,3 \pm 0,34$	+5,9	$7,3 < 8,6 < 10,4$	1,54
66	П $34,3 \pm 0,43$		$8,7 < 10,1 < 12,3$	$P > 0,05$
	<u>$P < 0,01$</u>			

Продолжение таблицы 3.9

I	2	3	4	5
I4I	29.05.1985г. K 27,1 \pm 0,22	+5,9	8,9 < 9,7 < 10,6	I,0I
I53	II 28,7 \pm 0,2I <u>P < 0,00I</u>		8,3 < 9,2 < 10,4	P > 0,05
2I7	4.06.1985г. K 27,4 \pm 0,29	+5,5	II,6 < 12,7 < 14,0	I,3I
I43	II 28,9 \pm 0,2I <u>P < 0,00I</u>		9,9 < 10,52 < 11,2	<u>P < 0,05</u>

Влияние гидрохинона (6×10^{-5} М в реакционной смеси)
на автоколебательную реакцию

62	2I.04.1982г. K 6I,7 \pm 0,53	-7,1	5,8 < 6,7 < 7,8	I,4
50	IX 57,3 \pm 0,44 <u>P < 0,00I</u>		5,1 < 5,9 < 7,1	P > 0,05
9I	10.06.1982г. K 64,3 \pm 0,59	-3,5	7,7 < 8,7 < 9,9	I,7
90	IX 60,9 \pm 0,77 <u>P < 0,00I</u>		10,6 < 11,9 < 13,6	<u>P < 0,0I</u>
93	17.06.1982г. K 59,3 \pm 0,63	-4,5	9,9 < 11,2 < 12,8	I,2
9I	IX 56,6 \pm 0,76 <u>P < 0,0I</u>		11,5 < 12,9 < 14,7	P > 0,05
92	27.06.1984г. K 54,9 \pm 0,57	-7,1	8,8 < 9,9 < 11,3	I,0I
87	IX 50,96 \pm 0,58 <u>P < 0,00I</u>		9,4 < 10,6 < 12,1	P > 0,05
59	5.09.1984 г. K 39,7 \pm 0,63	-4,3	10,6 < 12,2 < 14,4	I,5
60	IX 37,98 \pm 0,52 <u>P < 0,05</u>		9,1 < 10,5 < 12,3	P > 0,05
63	25.10.1984г. K 44,6 \pm 0,72	-17,7	11,2 < 12,9 < 15,2	2,07
62	IX 36,7 \pm 0,5I <u>P < 0,00I</u>		9,5 < 10,9 < 12,8	<u>P < 0,0I</u>

I	2	3	4	5
<u>Влияние на автоколебательную реакцию магнитного поля и гидрохинона</u>				
	15.06.1982г.			
92	II 67,3 \pm 0,72	+2,4	9,1 < 10,2 < 11,6	1,06
87	III 68,9 \pm 0,76		9,1 < 10,2 < 11,6	<u>P > 0,05</u>
	<u>P > 0,05</u>			
	17.06.1982г.			
91	II 56,6 \pm 0,76	+3,8	11,5 < 12,9 < 14,7	1,4
88	III 60,4 \pm 0,65		8,97 < 10,1 < 11,6	<u>P < 0,05</u>
	<u>P < 0,001</u>			
	18.06.1982г.			
89	II 61,6 \pm 0,62	-1,8	8,5 < 9,6 < 10,9	1,06
93	III 59,5 \pm 0,63		9,1 < 10,2 < 11,6	<u>P > 0,05</u>
	<u>P > 0,05</u>			
	9.07.1984г.			
I31	II 44,5 \pm 0,46	+2,3	10,8 II,9 I3,2	1,08
I32	III 46,1 \pm 0,48		10,8 II,9 I3,2	<u>P > 0,05</u>
	<u>P < 0,05</u>			
	6.09.1984г.			
74	II 46,2 \pm 0,54	-8,5	8,8 < 10,0 < 11,6	1,07
90	III 42,3 \pm 0,50		10,0 < 11,3 < 12,9	<u>P > 0,05</u>
	<u>P < 0,001</u>			
	7.09.1984г.			
60	II 39,02 \pm 0,65	+2,3	11,2 < 12,9 < 15,2	1,0
63	III 39,9 \pm 0,65		11,2 < 12,9 < 15,2	<u>P > 0,05</u>
	<u>P > 0,05</u>			
	25.10.1984г.			
62	II 36,7 \pm 0,51	+18,1	9,5 < 10,9 < 12,8	1,9
61	III 44,7 \pm 0,71		10,7 < 12,3 < 14,5	<u>P < 0,01</u>
	<u>P < 0,001</u>			

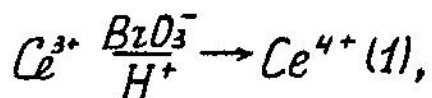
Примечание. К - контрольные опыты; II - опыты при воздействии на реакцию MI; III - в реакционную смесь добавлялся гидрохинон, III - в реакционную смесь, находящуюся в MI, добавляли гидрохинон. Остальные обозначения - как в табл. 3.5.

объяснение. При окислении малоновой кислоты церием Ce^{4+} образуются активные радикалы малоновой кислоты, которые при взаимодействии с хиноном образуют малоактивные радикалы семихинона и в результате происходит ингибирование окисления малоновой кислоты церием [240]. В дальнейшем это предположение было подтверждено. При добавлении в реакционную смесь η -бензохинона в датчике спектрометра ЯМР были обнаружены ХЯ протонов группы CH_2 малоновой кислоты и протонов фенильного кольца бензохинона или какого-то продукта его превращения [241]. Эти наблюдения доказали, что в промежуточных стадиях автоколебательной реакции принимают участие пары радикалов или радикалионов.

Косвенные методы не позволяют сделать вывод о влиянии МП на свободнорадикальные стадии процесса, однако такое влияние вероятно, поскольку действие гидрохинона, как правило, не проявлялось закономерно, если реакционная смесь находилась в МП.

Еще одним косвенным подтверждением участия свободных радикалов в механизме действия слабых МП могут служить опыты по влиянию МП на реакцию окисления трехвалентного церия броматом, которая идет с участием радикалов BzO_2^{\cdot} .

Как известно, в ходе автоколебательной реакции Белоусова-Жаботинского наблюдается периодическое изменение оптической плотности раствора вследствие колебания концентрации Ce^{4+} . Колебания концентрации Ce^{4+} представляют собой релаксационные колебания, период которых делится на фазу нарастания и фазу падения Ce^{4+} . В фазу нарастания происходит окисление трехвалентного церия



в фазу падения происходит восстановление церия $Ce^{4+} \xrightarrow{MK} Ce^{3+}$

Простейшая схема колебательной реакции, предложенная R. M. Noyes et al. [243, 245] и дополненная в дальнейшем [244], включает следующие реакции:

1.
$$\text{HBrO}_2 + \text{HBrO}_3 \rightleftharpoons 2\text{BrO}_2^\cdot + \text{H}_2\text{O},$$

$$K_1 \sim 100 \text{ M}^{-1} \text{ c}^{-1}, \quad K_{-1} \sim 10^5 \text{ M}^{-1} \text{ c}^{-1}$$
2.
$$\text{BrO}_2^\cdot + \text{Ce}^{3+} + \text{H}^+ \rightleftharpoons \text{Ce}^{4+} + \text{HBrO}_2,$$

$$K_2 \sim 10^3 \text{ M}^{-1} \text{ c}^{-1}, \quad K_{-2} \sim 5 \cdot 10^4 \text{ M}^{-1} \text{ c}^{-1}$$
3.
$$\text{HBrO}_2 + \text{H}^+ + \text{Br}^- \rightarrow 2\text{HBrO},$$

$$K_3 \sim 10^7 \text{ M}^{-2} \text{ c}^{-1}$$
4.
$$\text{HBrO}_3 + \text{H}^+ + \text{Br}^- \rightarrow \text{HBrO}_2 + \text{HOBr},$$

$$K_4 \sim 10 \text{ M c}^{-1}$$
5.
$$2\text{HBrO}_2 \rightarrow \text{HOBr} + \text{HBrO}_3$$

$$K_5 \sim 10^4 \text{ M c}^{-1}$$
6.
$$\text{Ce}^{4+} + \text{CHBr}_2(\text{COOH})_2 \rightarrow \text{Ce}^{3+} + \text{H}^+ + \text{CBr}_2(\text{COOH})_2^\cdot$$

$$K_6 \sim 1 \text{ M c}^{-1}$$
7.
$$\text{H}_2\text{O} + \text{CBr}_2(\text{COOH})_2^\cdot \rightarrow \text{H}^+ + \text{Br}^- + \text{COH}(\text{COOH})_2^\cdot$$

$$K_7 \gg K_6$$

Первая фаза реакции (фаза нарастания Ce^{4+}) включает реакции 1, 2, 4, 5.

Нами была проведена серия опытов по влиянию МП (40 А/м, 0,03 Гц) на первую фазу – реакцию окисления трехвалентного церия броматом. Результаты этих опытов приведены в табл. 3.10, типичные кинетические кривые на рис. 3.34. Опыты, проведенные в течение шести дней, показали, что скорость этой фазы реакции при действии МП увеличивается в среднем на 12,5%. Изменения небольшие, но увеличение скорости относительно контроля наблюдалось в каждый

Влияние магнитного поля ($H = 40$ А/м, $f = 0,03$ Гц) на скорость реакции окисления $[Ce^{3+}]$ броматом

Дата	tgd	
	Контроль	Опыты с МП
10.1.1985	2,475 2,904 2,605 2,475	2,475 2,904 3,271 2,475
11.1.1985	2,356 2,356 2,605 2,605 2,605 2,356 2,356 2,356	2,475 2,475 2,475 2,904 2,904 2,356 2,475 2,904
15.1.1985	2,605 2,747 2,747 2,747	2,605 2,904 2,904 2,904
16.1.1985	2,747 2,475 2,356 2,475 2,747 2,747	2,475 2,605 4,011 3,487 3,732 3,271
18.1.1985	3,271 2,904 2,356 2,356	3,271 3,271 3,487 2,747
15.4.1985	3,271 2,605 2,904 2,050	3,271 3,271 3,078 2,605
tgd	$n = 30$ 2,652±0,049	$n = 30$ 2,985±0,08
σ^2	0,076	0,185
$v, \%$	8,1 < 10,2 < 13,8	11,4 < 14,4 < 19,6
$td = 3,58; P < 0,01$		$F_0 = 2,43; P < 0,01$

Примечание. tgd - среднее значение тангенса угла наклона кривых, характеризующих изменение оптической плотности раствора, в котором протекает реакция (рис. 3.34), в течение времени td - коэффициент Стьюдента (см. гл. 2, § 2.3); остальные обозначения - как в табл. 3.5.

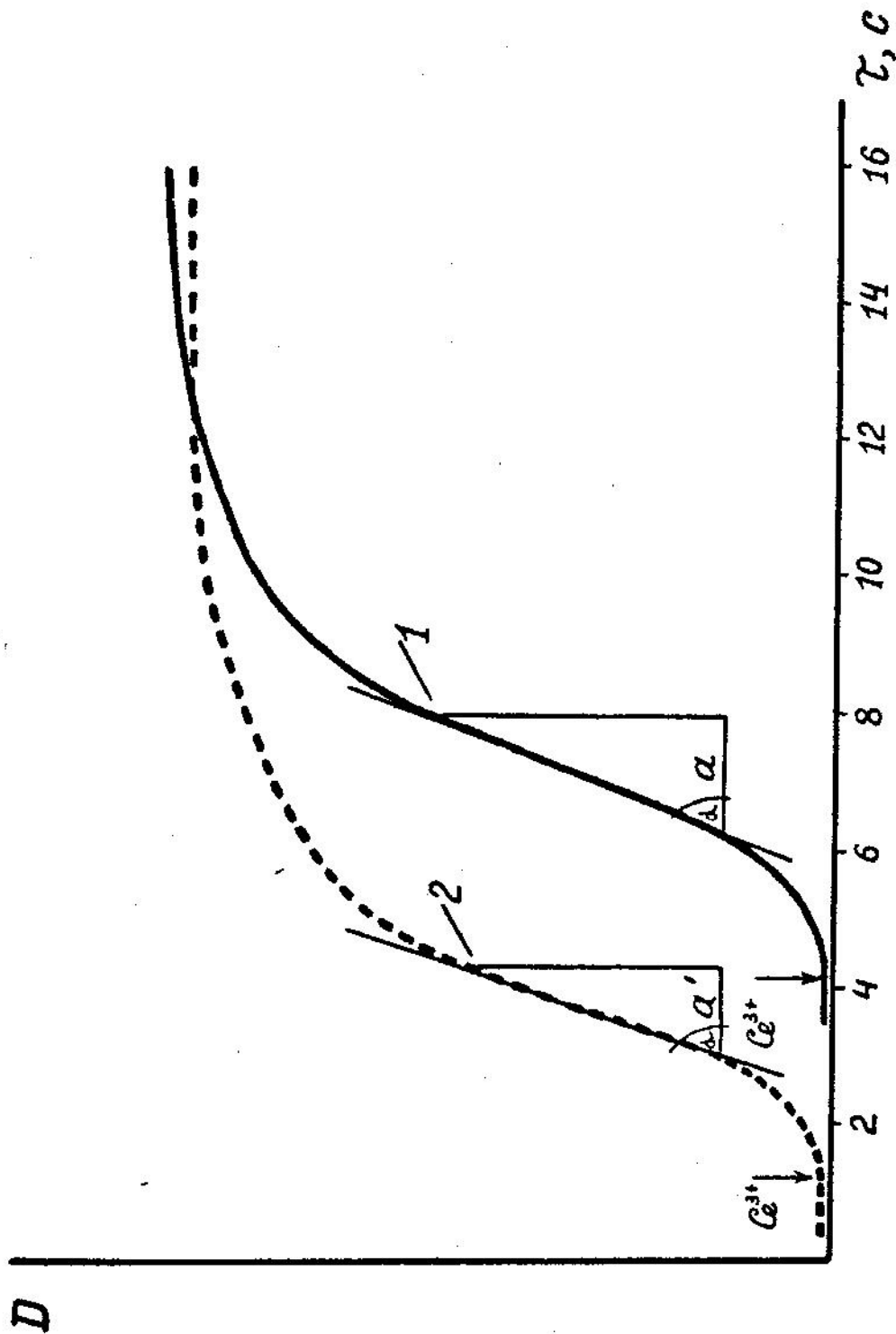


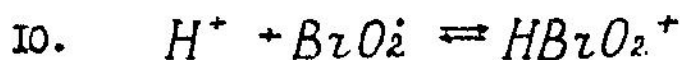
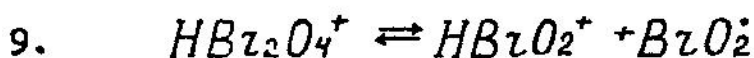
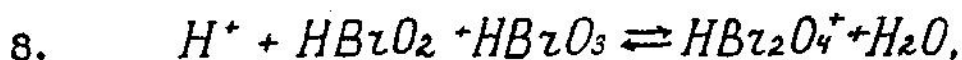
Рис. 3.34. Кинетика реакции окисления $[Ce^{3+}]$ броматом

D - оптическая плотность; 1 - опит с воздействием МП
 ($H = 40 \text{ A/м, } f = 0,03 \text{ Гц}$); α, α' - длительность острой стадии реакции;
 α - угол наклона кинетических кривых

из шести дней исследования. Отличия от контроля статистически значимы ($P < 0,01$). Флуктуации значений скоростей в опытах с МП были больше (14,4 %), чем в контроле (10,2 %).

Первую фазу реакции делят на три основные части: индукционный период, быстрый и медленный стадии. В ходе быстрой стадии реакциями с участием Bz^- , а также большей частью обратимых реакций можно пренебречь [244].

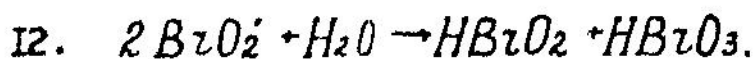
Схема быстрой стадии по [244] включает следующие реакции:



Для опытов с воздействием МП ($H = 40$ А/м, $f = 0,03$ Гц) на реакцию окисления Ce^{3+} броматом характерна укороченная ($1,3 \pm 0,06$ с) по сравнению с контролем ($2,3 \pm 0,06$ с) быстрая стадия (рис.3.34).

Возможно, что при действии на реакцию МП ускоряется реакция (10), идущая с участием радикала BzO_2^{\cdot} с образованием $HBzO_2^+$ который на следующем этапе, реагируя с Ce^{3+} , ведет к образованию Ce^{4+} и $HBzO_2$.

В работе [244] резкое замедление быстрой стадии задолго до достижения равновесия и переход к медленной стадии объясняется вкладом реакций диспропорционирования и обратных реакций (-8, -9, -10) в результате увеличения концентрации Ce^{4+} , $HOBz$, $HBzO_2$ и радикалов. К концу быстрой стадии становятся существенными реакции (5) и



ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В настоящее время проблема влияния на биосферу факторов, связанных с изменением солнечной активности, не имеет еще теоретической основы. Эта область науки находится в стадии накопления и систематизации фактического материала, проверки гипотез.

Существует три основных подхода к решению проблемы:

- разносторонне изучаются связи между процессами в биосфере и космофизической среде;
- выявляются факторы-посредники, осуществляющие наблюдаемые связи;
- ведется поиск биохимических, биофизических и физиологических механизмов действия предполагаемых факторов.

В основу экспериментов, результаты которых изложены в диссертации, положена гипотеза о ведущей роли вариаций электромагнитного поля Земли в реализации связей между космогелиогеофизической средой и биосферой.

Целью работы являлась проверка этой гипотезы в опытах с воздействием на исследуемые системы искусственных МП, сопоставимых по частоте и амплитуде с естественными, а также поиск возможных механизмов влияния слабых МП.

Исследования проводились на двух модельных системах - реакции агглютинации брешнотифозных бактерий *in vitro* и автоколебательной химической реакции Белоусова-Жаботинского. Результаты опытов показали, что при выбранных концентрациях реагентов и условиях проведения опытов, обе реакции чувствительны к изменениям космогелиогеофизических факторов и воздействию слабых искусственных МП.

Результаты, полученные нами при изучении влияния МП различ-

ных частот и напряженностей на модельных системах, оказались аналогичными результатам, отмеченным некоторыми авторами при работе с живыми организмами: это чувствительность систем к воздействию факторов малой величины; резкие нелинейные изменения измеряемых характеристик при изменении параметров МП; кооперативность систем; амплитудные и частотные "окна"; длительное восстановление, отсутствие восстановления или неполное восстановление исходного состояния после возмущающего действия; память на возмущение, значительная величина флуктуаций измеряемых параметров.

Как отмечалось в гл. I все эти черты характерны и универсальны для систем различной физической природы, находящихся вблизи особых точек или совершающих переходы (фазовые, бифуркационные). Решающую роль в таких явлениях играет взаимодействие (корреляция) аномально растущих флуктуаций физических величин, то есть характер явления определяют кооперативные эффекты.

Ф. Кайзер [246] предложил модель с несколькими предельными циклами для качественного объяснения наличия амплитудных и частотных "окон" в результатах опытов по влиянию на нервную систему электрических и магнитных полей [82].

Предполагается [142], что высокая чувствительность мозга к слабым (10-100 В/м) электрическим полям основана на кооперативном механизме работы мозга. При этом подчеркивается важная роль связывания и высвобождения ионов кальция макромолекулами поверхности мембран как необходимого звена взаимодействия нервных элементов с полями.

В системах с несколькими предельными циклами устойчивые предельные циклы отделены, как правило, друг от друга неустойчивыми предельными циклами. Неустойчивый цикл делит пространство переменных на колебания с малой амплитудой (или нулевой) и на

колебания с большой амплитудой. Для перевода системы из одного состояния в другое, системе нужно преодолеть порог. При различных значениях частоты и амплитуды внешнего стимула происходит подавление колебаний то малой, то большой амплитуды, в результате наблюдаются "окна".

Для исследователей, занимающихся проблемой "Солнце - биосфера", чрезвычайно привлекательной является гипотеза о синхронизации биологических ритмов организмов внешними факторами, которая усиленно разрабатывается в последнее время. Одним из основных аргументов в пользу синхронизации является совпадение периодов биоритмов с гармониками солнечной активности и магнитной возмущенности. Однако совпадение может наблюдаться и для неколебательных систем, которые реагируют по типу: изменения во внешней среде - реакция.

В модельных экспериментах с воздействием на автоколебательную химическую реакцию слабых (4, 8, 40 А/м) МП с частотами близкими или кратными собственной частоте автоколебаний не удалось наблюдать ни захвата частоты, ни синхронизации, ни резонанса. Отмечалось изменение характера переходов от одной частоты к другой (переходы происходят в непроточной системе по мере уменьшения концентраций реагентов). Как показано в работе [247], действие на эту реакцию прямоугольными импульсами ультрафиолета (более сильного, по сравнению с используемым нами МП, воздействия), имевшими частоту следования близкую к частоте автоколебаний, вызывало синхронизацию автоколебаний. Вблизи границ полосы захвата наблюдались биения. То есть при сильном воздействии химическая автоколебательная система реагирует в соответствии с закономерностями, установленными для механических и электрических колебательных систем.

Задача понимания природы физических и химических процессов, вызывающих биологические эффекты естественных ЭМП, в настоящее время еще не решена. Сравнительно хорошо разработана теория, подтвержденная экспериментом, о механизме влияния ЭМП порядка десятков и сотен эрстед только на некоторые реакции, протекающие с участием свободных радикалов.

На основании полученных нами данных, мы предполагаем, что магнитные поля гораздо меньшей величины (порядка долей эрстеда) могут изменять при определенных условиях скорости реакций, протекающих с участием свободных радикалов. Таким условием, по-видимому, является кооперативность систем, поскольку за счет кооперативности может увеличиться время жизни радикальных пар в реакционноспособном состоянии.

Чувствительность водных систем к энергетически слабым воздействиям, согласно наиболее обнадеживающей в настоящее время гипотезе, обеспечивается их кооперативностью, возможностью существования в воде метастабильных (неравновесных, но сравнительно долго живущих) структур [26, 27].

В водных средах благодаря кооперативности постоянно возникают и разрушаются системы водородных связей. Образуются ассоциаты разных размеров - метастабильные структуры. Размеры этих ассоциатов очень чувствительны к слабым физическим воздействиям, метастабильные структуры характеризуются возможностью перехода на более низкие, в предельном случае равновесные, уровни после преодоления активационного барьера. Преодоление активационного барьера сопровождается перестройкой электронных конфигураций. Время, необходимое для осуществления перестройки электронных конфигураций, порядка 10^{-6} - 10^{-8} с. Оно может быть увеличено при изоляции метастабильной структуры в оболочке определенной геометрии (например,

двенадцатиграннике) какого-нибудь химически с водой не связанного комплекса подходящего размера. Чем больше соответствует размеры полости и заключенной в ней частицы, тем устойчивей каркас. Время жизни метастабильной структуры иногда может быть продлено до нескольких часов. При распаде этих структур в некоторых случаях образуются свободные радикалы.

Источниками образования метастабильных структур может быть наличие в воде газов, радикалов, молекулярных комплексов подходящего размера, перенасыщенность или недонасыщенность раствора солями, малые концентрации электролитов, существование поверхностей раздела фаз, влияние на водные растворы температуры, давления, электромагнитных полей, ультрафиолета и т.д.

Таким образом, полученные нами данные являются еще одним подтверждением гипотезы об участии вариаций естественного ЗМП Земли в реализации связей между космогелиогеофизической средой и биосферой.

ВЫВОДЫ

1. Установлено, что слабые МП изменяют интенсивность агглютинации бактерий и флуктуаций интенсивности:

- выяснено, что зависимость эффектов от частоты и напряженности МП имеет полиэкстремальный характер;
- величина и знак эффектов зависят от температуры, концентрации реагентов, рН;
- показано, что эффекты МП можно наблюдать не только при действии поля в ходе реакции, но и при предварительной обработке МП исходных компонентов реакционной смеси.

2. Установлено влияние магнитного поля на автоколебательную реакцию Белоусова-Жаботинского:

- выяснено, что под влиянием слабых (сопоставимых с естественными) МП изменяются амплитуда колебаний и флуктуации амплитуды;
- показано, что существенной особенностью наблюдаемых эффектов является полиэкстремальный характер зависимостей от частоты и напряженности МП;
- эффекты МП зависят от температуры реакционной смеси и концентрации реагентов.

3. Установлено влияние МП на ^{амплитудно-частотные спектры} автоколебательной реакции ~~частоту~~

- выяснено, что амплитудно-частотные спектры в непроточной системе имеют сложную структуру;
- влияние постоянного и переменного МП, с частотами близкими или кратными частоте автоколебаний, выражается в изменении характера переходных процессов от одной частоты к другой, в увеличении амплитуды гармоник в области частот $\sim 0,017-0,019$ Гц и в изменении средней спектральной мощности.

4. На примере автоколебательной реакции показано, что восприимчивость неравновесных систем к слабым полям зависит от их

устойчивости, критерием которой могут служить флуктуации измеряемых параметров.

5. Выявлена достоверная корреляционная связь между флуктуациями значений амплитуды в контрольных опытах и космогелио-геофизическими факторами.

6. На основании опытов по изучению влияния на автоколебательную реакцию гидрохинона, а также опытов по влиянию Mn^{II} на реакцию окисления трёхвалентного церия броматом предполагается, что слабые Mn^{II} влияют на стадии реакции, протекающие с участием радикалов BrO_2^{\cdot}

7. Флуктуации интенсивности агглютинации и амплитуды автоколебаний при действии на реакции Mn^{II} изменяются более существенно, чем средние значения этих величин.

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. Чижевский А.Л., Шлишина Ю.Г. В ритме Солнца. - М.: Наука, 1969. - 112 с.
2. Вернадский В.И. Биосфера: Очерки первый и второй. - Л.: Научн.-техн.изд-во, 1926. - 142 с.
3. Вернадский В.И. Живое вещество. - М.: Наука, 1978. - 358 с.
4. Пресман А.С. Электромагнитные поля и живая природа. М.: Наука, 1968. - 288 с.
5. Щербиновский Н.С. Пустынная саранча - шистоцерка: Проблемы защиты южных территорий СССР от вторжения шистоцерки. - М.: Сельхозгиз, 1952. - 416 с.
6. Дубров А.П. Геомагнитное поле и жизнь. - Л.: Гидрометеиздат, 1974. - 176 с.
7. Шульц Н.А. Влияние колебаний солнечной активности на численность белых кровяных телец. - В кн.: Земля во Вселенной. М.: Мысль, 1964, с.382-399.
8. Ассман Д. Чувствительность человека к погоде. - Л.: Гидрометеиздат, 1966. - 245 с.
9. Reiter R. Meteorobiologie und elektrizität der Atmosphäre.- Leipzig/: Akad. Verl., 1960. - 383 s.
10. Reiter R. Beziehung zwischen Sonneneruptionen, Wetterblauf und Reaktionen des Menschen, dargestellt am Verlauf der Infra- Langwellenströmungen, der Getunziffer und der Verkehrsunfallziffer, Angewandte Meteorologie, 1953, I, s. 289.
11. Пиккарди Дж. Солнечная активность и химические тесты.-В кн.: Влияние солнечной активности на атмосферу и биосферу Земли. - М.: Наука, 1971, с.144-147.
12. Пиккарди Дж. Химические основы медицинской климатологии. - Л.: Гидрометеиздат, 1967. - 96 с.
13. Piccardi G. Über einen Zusammenhang zwischen atmosphärischen und kosmischen Phänomenen und physikalischchemischen Proces-

sen.-Arch. Meteorol., Geoph. und Bioklimat., 1955, s.48-49.

14. Becker U. Relation between bismuth oxichloride precipitations (Piccardi's inorganic test) and solaractivity.- Arch. Meteor. Geophys. Bioklim.;, 1955, Bd.6, s.511.
15. Burkard O. Some statistical research on Piccardi's reaction of precipitation.-Arch. Meteor. Geophys.Bioklim., 1955, Bd.6, s.506.
16. Новикова К.Ф., Гневншев М.Н., Токарева Н.В., Оль А.И., Панов Т.Н. Влияние солнечной активности на заболеваемость и смертность от инфаркта миокарда. - Кардиология, 1968, № 4, с.109-112.
17. Новикова К.Ф., Бяков В.М., Михеев Ю.П., Поволоцкая Н.П., Толкачева Г.П., Плято Л.И. Вопросы адаптации и солнечная активность. - В кн.: Проблемы космической биологии. М.: Наука, 1982, т.43, с.9-47.
18. Владимирский Б.М. О возможных факторах солнечной активности, влияющих на процессы в биосфере. - В кн.: Влияние солнечной активности на атмосферу и биосферу Земли. М.: Наука, 1971, с. 128-141.
19. Владимирский Б.М. Активные процессы на солнце и биосфера. Известия АН СССР. Серия физическая, 1977, № 2, с.403-411.
20. Владимирский Б.М. Биологические ритмы и солнечная активность. В кн.: Проблемы космической биологии. М.: Наука, 1980, т.41, с. 289-312.
21. Владимирский Б.М. Солнечно-земные связи в биологии и явление захвата частоты. В кн.: Проблемы космической биологии. М.: Наука, 1982, т.43, с.166-173.
22. Опалинская А.М., Плеханов Г.Ф. Изменение характера связи между реакцией Пиккарди и геомагнитным полем в зависимости от фазы солнечной активности, сезона и времени суток. - В кн.: Влияние естественных и слабых искусственных магнитных полей на биологические объекты. Материалы второго Всес.симп. 18-20 сентября, Белгород, 1973, с.18-20.

23. Плеханов Г.Ф., Опалинская А.М. Влияние экранирования от геомагнитного поля и искусственного магнитного поля на флуктуации реакции Пиккарди. - В кн.: Влияние естественных и слабых искусственных магнитных полей на биологические объекты. Материалы второго Всесоюзного симпозиума 18-20 сентября 1973 г., Белгород, 1973, с.21-23.
24. Ягодинский В.Н., Александров Ю.В. О цикличности эпидемического процесса при гриппе в связи с периодичностью солнечной деятельности. - ЖМЭИ, 1966, № 10, с.125-129.
25. Ягодинский В.Н. Некоторые проблемы эпидемиологического прогноза. - В кн.: Физико-математические проблемы действия электромагнитных полей и ионизации воздуха. Материалы Всесоюзного научно-технического симпозиума. М.: Наука, 1975, т.1, с.84-90.
26. Кисловский Л.Д. О возможном молекулярном механизме влияния солнечной активности на процессы в биосфере. - В кн.: Влияние солнечной активности на атмосферу и биосферу Земли. М.: Наука, 1971, с.147-164.
27. Кисловский Л.Д. Реакции биологической системы на адекватные ей слабые низкочастотные магнитные поля. - В кн.: Проблемы космической биологии. М.: Наука, 1982, т.43, с.148-166.
28. Brown F.A. Response animals to pervasive geophysical factors and the biological clock problem. - Cold Spring Harbor Symp. on Quant. Biol., 1960, v.25, p.57.
29. Brown F.A., Jr., Webb H.M., Bennett M.F., Sandeen M.J. Evidence for an exogenous contribution to persistent diurnal and lunar rhythmicity under so-called constant conditions. - In: Biol. Bull., 1955, v.109, p.238-254.
30. Gavalas R.J., Walter D.O., Hamer J., Adey W.R. Effect of low-level, low-frequency electric fields on EEL and behaviour in *Musca nemestrina*. - Brain Res., 1970, N 18, p.491-502.
31. Ачкасова Ю.Н., Владимирский Б.М., Смирнов А.И. О влиянии МП с частотой КПК Рс I на микроорганизмы. - В кн.: Реакция биологических систем на слабые магнитные поля. Материалы Всесоюзного симпозиума 21-23 сентября, М.: Наука, 1971, с.97-101.

32. Ачкасова Ю.Н., Владимирский Б.М. Реакция микроорганизмов на воздействие магнитного поля с частотой в диапазоне КЧК типа Рс 2. - В кн.: Влияние естественных и слабых искусственных магнитных полей на биологические объекты. Материалы 2-го Всесоюзного симпозиума, Белгород, 1973, с.127-128.
33. Ачкасова Ю.Н., Брызгунова Н.И., Клименко Л.И., Новгородов Н.П. Биологическое действие неионизирующей радиации и проблема влияния солнечной активности на организмы. - В кн.: Проблемы космической биологии. М.: Наука, 1982, т.43, с.109-116.
34. Волинский А.М. Изменение сердечной и нервной деятельности у животных различного возраста при воздействии электромагнитными полями низкой частоты и малой напряженности. - В кн.: Влияние электромагнитных полей на биологические объекты. Харьков, 1973, с.7.
35. Волинский А.М. Изменение нервной и сердечной деятельности у животных различного возраста при воздействии электромагнитными полями низкой частоты и малой напряженности. - В кн.: Проблемы космической биологии. М.: Наука, 1982, т.43, с. 98-108.
36. Владимирский Б.М., Волинский А.М. Воздействие электромагнитных полей с напряженностью близкой к естественной на физико-химические и биологические системы. - В кн.: Физико-математические и биологические проблемы действия электромагнитных полей и ионизации воздуха. Материалы Всесоюзного научно-техн. симпозиума. М.: Наука, 1975, т.1, с.126-150.
37. Владимирский Б.М., Кисловский Л.Д. Солнечная активность и биосфера. М.: Знание, 1982. - 64 с.
38. Persinger K.A., Ludwig H.W., Ossenkopp K.P. Psychophysiological effects of extremely low frequency electromagnetic fields. - Percept. and Mot. Skills, 1973, v.36, suppl. 3, p.1131-1159.
39. Музалевская Н.И. Физиологические проявления действия магнитного поля малой напряженности в диапазоне сверхнизких частот: Автореф. Дисс. ... канд.биол.наук. - Л.: 1978. - 23 с.
40. Музалевская Н.И. Магнитное поле сверхнизких частот малых напряженностей и состояние адаптивного резерва у подопытных

животных. - В кн.: Проблемы космической биологии. М.: Наука, 1982, т.43, с.82-98.

41. Макеев В.Б., Темурьянц Н.А. Исследование частотной зависимости биологической эффективности магнитного поля в диапазоне микропульсаций геомагнитного поля (0.01-100 Гц). - В кн.: Проблемы космической биологии. М.: Наука, 1982, т.43, с.116-128.
42. Темурьянц Н.А. О биологическом действии слабого электромагнитного поля инфранизкой частоты. - В кн.: Проблемы космической биологии. М.: Наука, 1982, с.128-139.
43. Артищенко В.А., Виноградов С.А., Волынский А.М., Передерий В. Патологоанатомическая характеристика экспериментального инфаркта миокарда в условиях воздействия электромагнитных полей низкой частоты и малой напряженности. - В кн.: Проблемы космической биологии. М.: Наука, 1982, т.43, с.139-147.
44. Холодов Ю.А. Реакции нервной системы на электромагнитные поля. М.: Наука, 1975- 207 с.
45. Гаркази Л.Х., Квакина Е.Б., Уколова М.А. Адаптационные реакции и резистентность организма. Изд-во Ростовского ун-та, 1977. - 120 с.
46. Соколовский В.В. О биохимическом механизме реакции живых организмов на изменения солнечной активности. - В кн.: Проблемы космической биологии. М.: Наука, 1982, т.43, с.180-193.
47. Соколовский В.В. Ускорение окисления тиоловых соединений при возрастании солнечной активности. - В кн.: Проблемы космической биологии. М.: Наука, 1982, т.43, с.194-197.
48. Шноль С.Э. Влияние света и свойств внешней среды на амплитуду конформационных колебаний актомиозина. - Биофизика, 1968, т.13, вып.5, с.853-858.
49. Перевертун Т.В., Удальцова Н.В., Коломбет В.А., Иванова Н.П., Брицина Г.Я., Шноль С.Э. Макроскопические флуктуации в водных растворах белков и других веществ как возможное следствие космофизических факторов. - Биофизика, 1981, т.26, вып.4, с. 604-614.
50. Удальцова Н.В., Агулова Л.П., Шноль С.Э. Корреляция амплитуды макроскопических флуктуаций различных свойств водных раство-

ров белков и других веществ с некоторыми космофизическими факторами. - В кн.: Физико-химические основы функционирования клеток. Пушино, 1983, с.21-23.

51. Владимирский Б.М. Атмосферный инфразвук как возможный фактор, передающий влияние солнечной активности на биосферу. - В кн. Проблемы космической биологии. М.: Наука, 1982, с.174-179.
52. Шемьи-Заде А.Э. Увеличение естественной радиоактивности атмосферы при геомагнитных бурях и возможный биологический эффект этого явления. - В кн.: Физико-математические и биологические проблемы действия электромагнитных полей и ионизации воздуха. Материалы Всесоюзного научно-технического симпозиума. М.: Наука, 1975, т.2, с.198-202.
53. Александров М.С. Флуктуация электромагнитного поля у поверхности Земли на резонансных частотах земного шара. - В кн.: Флуктуации электромагнитного поля Земли в диапазоне СНЧ. М.: Наука, 1972, с.25-44.
54. Александров М.С. Микропульсации магнитного поля Земли. - В кн.: Флуктуации электромагнитного поля Земли в диапазоне СНЧ. М.: Наука, 1972, с.5-24.
55. Гульельми А.В., Троицкая В.А. Геомагнитные пульсации и диагностика магнитосферы. М.: Наука, 1973.-208с.
56. Пудовкин М.И., Распопов О.М., Клейменова Н.Г. Возмущения электромагнитного поля Земли. - Л.: Изд-во Ленинград.ун-та, 1976. - 271 с.
57. Гульельми А.В. Новый взгляд на происхождение геомагнитных пульсаций. - Природа, 1985, № 4, с.44-51.
58. Четаев Д.Н., Моргунов В.А., Чантладзе И.К., Шаманин С.В., Алексеев Б.М., Папушина Л.Б. Вариации электрического поля магнитосферного происхождения. - В кн.: Физико-математические и биологические проблемы действия электромагнитных полей и ионизации воздуха. Материалы Всесоюзного научно-технического симпозиума. М.: Наука, 1975, с.56-61.
59. Красногорская Н.В., Соловьев С.П. Электромагнитное поле атмосферы Земли инфранизкочастотного диапазона. - В кн.: Электромагнитные поля в биосфере. М.: Наука, 1984, т.1, с.66-72.

60. Гульельми А.В., Владимирский Б.М., Репин В.Н. К вопросу о геоэффективности колебаний поверхности Солнца. - Геомагнетизм и аэрономия. 1977, 17, с.930.
61. Реакция биологических систем на слабые магнитные поля. Материалы Всесоюзного симпозиума 21-23 сентября 1971 г. М.: 1971. - 188 с.
62. Влияние солнечной активности на атмосферу и биосферу Земли. М.: Наука, 1971. - 259 с.
63. Солнце, электричество, жизнь. Материалы чтений секции физики МОИП, посвященных памяти профессора А.Л.Чижевского 7 февраля 1968 г. М., Изд-во МГУ, 1969. - 103 с.
64. Солнце, электричество, жизнь. МОИП, секция физики. М.: Изд-во МГУ, 1972. - 123 с.
65. Влияние естественных и слабых искусственных магнитных полей на биологические объекты. Материалы второго Всесоюзного симпозиума 18-20 сентября 1973 г., Белгород, 1973. - 173 с.
66. Физико-математические и биологические проблемы действия электромагнитных полей и ионизации воздуха. Материалы Всесоюзного научно-технического симпозиума. М.: Наука, 1975, т.1.-339с., т.2.-207с.
67. Материалы третьего Всесоюзного симпозиума "Влияние магнитных полей на биологические объекты", 17-19 июня 1975 г. Калининград, 1975. - 240 с.
68. Живые системы в электромагнитных полях. Томск, Изд-во Томского университета, 1978, 1979, 1981г.г., вып. 1-3.
69. Холодов Ю.А. Шестой незримый океан. М.: Знание, 1978. - 110 с.
70. Влияние солнечной активности на биосферу. Проблемы космической биологии. М.: Наука, т.43. - 233 с.
71. Электромагнитные поля в биосфере. Электромагнитные поля в атмосфере Земли и их биологическое значение. М.: Наука, 1984, т.1. - 375 с.
72. Электромагнитные поля в биосфере. Биологическое действие электромагнитных полей. М.: Наука, 1984, т.2. - 325 с.
73. Сидякин В.Г., Темурьянц Н.А., Макеев В.Б., Владимирский Б.М. Космическая экология. Киев: Наукова Думка, 1985. - 176 с.

74. Чернух Н.М., Виноградова Л.И., Гехт Б.М., Гневывшев М.П., Новикова К.Ф. Влияние солнечной активности на больных с нарушениями деятельности гипоталамических структур мозга. - В кн.: Физико-математические и биологические проблемы действия электромагнитных полей и ионизации воздуха. Материалы Всесоюзного научно-технического симпозиума. М.: Наука, 1975, т.2, с.57-59.
75. Ганелина И.Е., Чурина С.К., Янушкевич Т.С. Инфаркт миокарда и электромагнитное поле Земли. - В кн.: Управление деятельностью висцеральных систем. Л.: 1983, с.12-23.
76. Виноградова Л.И., Кордюков Э.В., Мансуров С.М., Мансурова Л.Г. Полярность секторов магнитного поля и частота возникновения вегетативно-сосудистых пароксизмов при нарушении деятельности гипоталамических структур мозга. - В кн.: Физико-математические и биологические проблемы действия электромагнитных полей и ионизации воздуха. Материалы Всесоюзного научно-технического симпозиума. М.: Наука, 1975, т. II, с.59-67.
77. Сужков Ф.В. Однозначность некоторых реакций клеток тканевых культур на повышение и ослабление напряженности магнитного поля. - В кн.: Физико-математические и биологические проблемы действия электромагнитных полей и ионизации воздуха. Материалы Всесоюзного научно-технического симпозиума. М.: Наука, 1975, т.2, с.112-113.
78. Halpern M.H., Van Dyke J.H. Very low magnetic fields: biological effects and their implications for space exploration. - IN: Proceedings of the 37-th Ann. Meeting of the Aerospace Med. Assoc., Los Vegas, 1966, v.37, N 3, p.281-288.
79. Гаркави Л.Х., Квакуина Е.Б., Уколова М.А. Магнитные поля, адаптационные реакции и резистентность организма. - В кн.: Реакции биологических систем на магнитные поля. М.: Наука, 1978, с.131-148.
80. Стасюк Г.А. К обоснованию клинического применения постоянного магнитного поля. - В кн.: Материалы Всесоюзного симпозиума "Влияние искусственных магнитных полей на живые организмы". Баку, 1972, с.133.

81. Стасюк Г.А. Динамика некоторых морфологических и цитохимических показателей лейкоцитов крови человека при частичном смагничивании организма. - В кн.: Влияние магнитных полей на биологические объекты. Материалы третьего Всесоюзного симпозиума. Калининград, 1975, с.164.
82. Эйди В.Р. Модели мембран мозговых клеток как субстрата для хранения информации. Физиология человека, 1977, т.3, № 5, с. 774-788.
83. Дубров А.П. Современная гелиобиология. - Наука и Жизнь, 1970, № 9, с.97.
84. Dubrov A.P. The effects of natural magnetic and electrical fields on biological rhythms.-In:Abstracts of Papers of the IX-th International Congress of Anatomists.Leningrad, 1970, p.197.
85. Дубров А.П. Влияние геомагнитного поля на физиологические процессы у растений. - Физиология растений, 1970, т.17, № 4, с.836.
86. Dubrov A.P. Heliobiology.- Soviet Life, 1972, N I, p.14.
87. Дубров А.П. О глобальной невозпроизводимости биологических и физико-химических реакций. - В кн.: Солнце, электричество, жизнь. М.; Изд-во МГУ, 1972, с.48.
88. Дубров А.П. Влияние гелиогеофизических факторов на ритмичность выделения органических веществ корнями растений. - В кн.: Солнце, электричество, жизнь. М.: Изд-во МГУ, 1972,с.76.
89. Дубров А.П., Платонова А.Т., Неэме Т.Г., Мамаев С.А., Чуваев П.П. Одновременное исследование экскреторной ритмики в различных географических точках. - В кн.: Всес.совещание по изучению взаимоотношений растений в фитоценозах. Тезисы. Минск, 1969, с.14.
90. Ковальчук А.В. К вопросу о роли геомагнитного поля как фактора изменений реактивности организма. - В кн.: Материалы Всес. симпозиума "Влияние искусственных магнитных полей на живые организмы". Баку, 1972, с.61-64.

91. Bortels H. Synchronbeobachtungen über Beziehungen physikalischer, chemischer und mikrobiologischer Reaktionen zu Luftdruckänderungen in und bei Braunschweig.- Arch.Meteorol.Geophysik und Bioklim.,1959, Serie B, H.9, s.464-486.
92. Bawin S.M., Adey W.R. Sensitivity of Calcium binding in Cerebral Tissue to weak environmental Electric Fields oscillating at low Frequencies. Proc. National Acad. Sci. USA, 1976, vol.3, p.1999-2003.
93. Лазарев А.В., Кшуташвили Т.Ш., Ульянов И.Н., Кузнецов А.Н. Воздействие низкочастотного магнитного поля на натриевый ток миокардиальных клеток. - ДАН СССР, 1984, т.274, № 4, с. 952-955.
94. Карташев А.Г. Влияние магнитных полей на интенсивность брожения дрожжей: Автореф.дисс... канд.биол.наук. - Томск: 1980. - 22 с.
95. Музалевская Н.И., Шушков Г.Д. Исследование биотропности параметров слабого магнитного поля диапазона сверхнизких частот. - В кн.: Реакции биологических систем на магнитные поля. М.: Наука, 1978, с. 178-198.
96. Ахутин В.М., Музалевская Н.И. Влияние слабого ПемТ инфранизкого диапазона частот на РОЭ в опытах *in vivo* и *in vitro* В кн.: Влияние естественных и слабых искусственных магнитных полей на биологические объекты. Материалы второго Всесоюзного симпозиума 18-20 сентября. Белгород, 1973, с.57-58.
97. Горшенина Т.И., Казионова Л.Ф., Гурченко А.П., Чернова В.А. Влияние переменного магнитного поля (50 Гц) на кислородный режим некоторых паренхиматозных органов. - В кн.: Влияние естественных и слабых искусственных магнитных полей на биологические объекты. Материалы второго Всесоюзного симпозиума 18-20 сентября. Белгород, 1973, с.55-57.
98. Adey W.R.; Bawin S.M. Binding and release of brain calcium by low-level electromagnetic fields: a review.-Radio Sci., 1982, 17, N 5, p.149-157.

99. Кулин Е.Т., Бояринова С.И., Егорова Т.Д., Кормилицин Л.М. Избирательная реакция членистоногих на ЭМ воздействие в диапазоне $f = 10^2 - 8 \times 10^8$ Гц. - Изв. АН СССР, сер.биол., 1977, № 3, с.357.
100. Aarholt E., Flinn E.A., Smith C.W. Effects of low frequency magnetic fields on bacterial growth rate.- Phys. Med. and Biol., 1981, 26, N 4, p.613-621.
101. Сперанский А.П., Артемкин В.Ф., Полторанов В.В., Зотина М.М. Святенко Е.С., Матюшкин В.А., Никифорова Л.Н. Действие магнитного поля относительно небольшой напряженности на центральную нервную систему по данным нейроиммунных реакций.- Научные труды Центр. ин-та усов.врачей. 1976, т.200, с.56-57.
102. Dimitriu G., Artenie Vlad. Influence du champ electromagnetique sur la cholesterolimie.- Rev.roum. biol. Ser.biol. anim., 1977, 22, N 2, s.173-175.
103. Травкин М.П. Влияние магнитных полей на природные популяции. - В кн.: Реакции биологических систем на магнитные поля. М.: Наука, 1978, с.178-198.
104. Холодов Ю.А. Физиологические механизмы действия магнитных полей на нервную систему. - В кн.: Биологические механизмы и феномены действия низкочастотных и статических электромагнитных полей на живые системы. Томск: Изд-во Томск. ун-та, 1984, с.9-11.
105. Сидякин В.Г., Янова Н.П., Князева Т.И., Баранов В.В. Сравнительный анализ биологического действия переменного электромагнитного поля частотой 1,0 и 5,0 Гц на условно-рефлекторную деятельность птиц. - В кн.: Биологические механизмы и феномены действия низкочастотных и статических электромагнитных полей на живые системы. Томск: Изд-во Томск. ун-та, 1984, с.92-93.
106. Павлова Р.Н. Биохимические изменения в органах и тканях животных при действии слабого низкочастотного электромагнитного поля: Автореф. дис....канд.биол.наук. Л.: 1975. - 19 с.
107. Соколовский В.В., Музалевская Н.И., Павлова Р.Н. Структурные изменения мембраны эритроцитов и белков крови при действии

слабого переменного электромагнитного поля. - В кн.: Влияние магнитных полей на биологические объекты. Материалы третьего Всесоюзного симпозиума. Калининград, 1975, с.74-75.

108. Iwasaki T., Ohara H., Matsumoto S., Matsudaira H. Test of Magnetic Sensitivity in Three Different Biological Systems. J. Radiat. Res., 1978, v.19, p.287-294.

109. Соколовский В.В., Музалевская Н.И., Павлова Р.Н. О возможных причинах неоднозначности реакций биологических систем на действие слабых ПЭМП. - В кн.: Клиническое применение магнитных полей. Тезисы докладов республиканской научно-практической конференции. Ижевск, 1977, с.12.

110. Новицкий Ю.И. Параметрические аспекты реакции растительных тест-объектов на постоянное магнитное поле (ПМП). - В кн.: Биологические механизмы и феномены действия низкочастотных и статических электромагнитных полей на живые системы. Томск: Изд-во Томск. ун-та, 1984, с.13-18.

111. Goodman E.K., Greenebaum B., Marron M.T. Bioeffects of extremely low frequency electromagnetic fields variations with intensity wave form and individual or combined electric and magnetic fields: Radiation Res., 1979, v.78, N 3, p.485-501.

112. Лайзан Л.К., Агафонов Н.В., Радыгина Л.Г., Цукерман О.М. О влиянии слабого магнитного поля на резистентность эритроцитов человека и роль адсорбционных процессов в его механизме. - В кн.: Актуальные вопросы магнитобиологии и магнитотерапии. Ижевск: Удмуртия, 1981, с.42-43.

113. Опалинская А.М., Плеханов Г.Ф. Влияние слабого инфранизкочастотного магнитного поля на реакцию агглютинации. - В кн.: Влияние магнитных полей на биологические объекты. Материалы третьего Всесоюзного симпозиума. Калининград, 1975, с.75-76.

114. Опалинская А.М., Агулова Л.П. Влияние космогелиогеофизических факторов и слабых искусственных электромагнитных полей на физико-химические и биологические системы. - Томск: Изд-во Томского ун-та. 1984. - 190 с.

- II5. Bortels H. Zwei einfache Modelle meteorobiologischer Reaktionen in ihren Beziehungen zu Luftdruckänderungen und zur Solaraktivität.- Archiv Meteorol. Geoph., 1954, Bd.58, s.234-257.
- II6. Плеханов Г.Ф., Опалинская А.М. Изменение скорости осаждения оксихлорида висмута в магнитном поле различной частоты. - В кн.: Реакция биологических систем на слабые магнитные поля. Материалы Всесоюзного симпозиума 21-23 сентября 1971 г. М.: 1971, с.33-35.
- II7. Стецкая С.А. Исследование вопросов физической активации водных систем и ее применение при флотации руд. - Дисс. канд.техн.наук. - М., 1979. - 28 с.
- II8. Зайцева Н.К. Влияние магнитной обработки воды на полимеризацию акрилонитрила. - В кн.: Живые системы в электромагнитных полях. Томск, 1979, вып.2, с.104-107.
- II9. Павлова Р.Н., Зайцева Н.К. Сопоставление показаний унитиолового и акрилонитрилового тестов со спонтанными изменениями ферментативной активности нервной ткани. - В кн.: Электромагнитные поля в атмосфере Земли и их биологическое значение. М.: Наука, 1984, с.215-220.
- I20. Кукоз Ф.И., Скалозубов М.Ф., Чернов Г.К. - В кн.: Акустическая и магнитная обработка веществ. Сборник Новочеркасского политехнического ин-та, 196. № 9, с.29-30 (цит.по: I25)
- I21. Денисов П.В., Репринцева С.Л. - В кн.: Некоторые вопросы химии и методики ее преподавания. - Краснодар: Изд-во Краснодарского пединститута, 1969, с.68-73 (цит.по: I25)
- I22. Беляев Л.М., Добржанский Г.Ф., Крейнин О.Л., Шпилько И.А. Влияние ПМП и ЗМ - воздействия на кристаллизацию из водных растворов.-4-е Всесоюзное совещание по росту кристаллов. Ереван, 1972, с.157-160.
- I23. Усатенко С.Т., Морозов В.И., Классен В.И. - Коллоидный журнал, 1977, т.39, № 5, с.1018-1020 (цит. по: I25)
- I24. Зеленков В.Е., Чернов Ю.К. Очистка сточных и оборотных вод.- Сборник ин-та Казмеханприбор. М.: Металлургия, 1971,

- I25. Классен В.И. Омагничивание водных систем. - М.: Химия, 1982. - 296 с.
- I26. Кишкин С.Т., Клынин А.А. Эффекты электрического и магнитного воздействия на ползучесть металлов и сплавов. - ДАН, 1973, т.211, № 2, с.325.
- I27. Еноль С.Э., Намиот В.А., Жвирблис В.Е., Морозов В.Н., Темнов А.В., Морозова Т.Я. Возможная общность макроскопических флуктуаций скоростей биохимических и химических реакций, электрофоретической подвижности клеток и флуктуаций при измерениях радиоактивности, оптической активности и фликкерных шумов. - Биофизика, 1983, т.28, вып.1, с.153-156.
- I28. Кондрашева М.Н., Евтодиенко Ю.В., Миронова Г.Д., Каминский Ю.Г. Норма и патология с позиций энергетики митохондрий. - В кн.: Биофизика сложных систем и радиационных нарушений. М.: Наука, с.249-271.
- I29. Стенли Г. Фазовые переходы и критические явления. М.: Мир, 1973. - 419 с.
- I30. Паташинский В.И., Покровский В.Л. Флуктуационная теория фазовых переходов. М.: Наука, 1975.-255 с.
- I31. Анисимов М.А. Исследования критических явлений в жидкостях. - УФН, 1974, т.114, вып.2, с.250-294.
- I32. Микулинский М.А. Влияние малых возмущений на поведение термодинамических величин вблизи точки фазового перехода второго рода. - УФН, 1973, т.110, вып.2, с.213-251.
- I33. Рабинович М.И., Трубецков Д.И. Введение в теорию колебаний и волн. - М.: Наука, 1984. - 432 с.
- I34. Фейгенбаум М. Универсальность в поведении нелинейных систем. - УФН, 1983, т.141, в.2, с.342-374.
- I35. Николис Г., Пригожин И. Самоорганизация в неравновесных системах. От диссипативных структур к упорядоченности через флуктуации. - М.: Мир, 1979. - 512 с.
- I36. Гапонов-Грехов А.В., Рабинович М.И. Стохастические автоколебания в радиофизике и гидродинамике. Вестник АН СССР, 1980, № 10, с.15-24.

138. Шноль С.Э., Христова М.Л., Калиниченко Л.П. Влияние алифатических спиртов на амплитуду "конформационных колебаний" актомиозина и на скорость поглощения кислорода митохондриями. - В кн.: Свойства и функции макромолекул и макромолекулярных систем. М.: Наука, 1969, с.104-105.
139. Шноль С.Э. Спонтанные обратимые изменения ("конформационные колебания") препаратов мышечных белков - Автореферат дисс. докт.биол.наук. - Пушкино, 1970. - 33 с.
140. Эшби У.Р. Конструкция мозга. Происхождение адаптивного поведения. - М.: Мир, 1964. - 411 с.
141. Эдди В.Р. Организация мозга: мозг как шумящий компьютер. - В кн.: Основные проблемы электрофизиологии головного мозга. М.: Наука, 1974, с.350-366.
142. Эдди В.Р. Кооперативные механизмы восприимчивости мозговой ткани к внешним и внутренним электрическим полям. - Физиология человека, 1975, т.1, № 1, с.23-26.
143. Волков Е.И., Мустафин А.Т. О механизме флуктуаций клеточного цикла. - Биофизика, 1982, т.27, вып.2, с.304-308.
144. Устинов В.Н. Стохастические параметры спайковой активности гастродуоденальной зоны. - Биофизика, 1978, т.23, вып.4, с.687-693.
145. Безруков С.М., Драбкин Г.М., Ирхин А.И., Мельник Е.И., Сибилев А.И., Фомина Л.А. Эксперименты по $1/f$ шуму в бислойных липидных мембранах. - В кн.: I Всесоюзный биофизический съезд. Тезисы докладов стендовых сообщений. М., 1982, т.1, с.198-199.
146. Сбитнев В.И. Паттерны стохастической активности в модельных задачах нейродинамики. - В кн.: I Всесоюзный биофизический съезд. Тезисы докладов стендовых сообщений. М., 1982, т.3, с. 24-25.
147. Кириллов А.Б., Крюков В.И. Математическая модель кратковременной нейронной памяти. В кн.: I Всесоюзный биофизический съезд. Тезисы докладов стендовых сообщений. М.: 1982, т.3, с.32.
148. Георгиев Г.П. Подвижные гены. - Химия и жизнь. 1984, № 12, с. 20-25

149. Михайлов А.С. Индуцированный шумом фазовый переход в биологическом сообществе. - В кн.: I Всесоюзный биофизический съезд. Тезисы докладов стендовых сообщений. М.: 1982, т. 4, с.67.
150. Сбитнев В.И. Стохастические колебания в динамической системе, моделирующие макроскопическую активность нервных тканей. - Биофизика, 1982, т.27, вып.3, с.515.
151. Эвирблис В.Е. О причине дрейфа нулевой точки визуального поляриметра. - Биофизика, 1982, т.27, в.4, с.744-747.
152. Эвирблис В.Е. О возможном механизме связей солнце - биосфера. - В кн.: Проблемы космической биологии. М.: Наука, 1982, т.43, с.197-211.
153. Иванова Т.О., Лившиц В.А., Кузнецов А.Н. Исследование влияния магнитного поля на ферментативную активность и транспорт ионов кальция Ca^{2+} -зависимой АТФ-азой саркоплазматического ретикулула. - Биофизика, 1984, т.29, вып.4, с.697.
154. Бэгар В.А., Лившиц В.А., Кузнецов А.Н. Об отсутствии влияния низкочастотных магнитных полей на реакцию Белоусова-Жаботинского. - Биофизика, 1983, т.28, вып.5, с.893.
155. Назарова Н.М., Лившиц В.А., Анзин В.Б., Веселаго В.Г., Кузнецов А.Н. Гидролиз глобулярных белков трипсином в сильном магнитном поле. - Биофизика, 1982, т.27, вып.4, с.720-721.
156. Таран Ю.П., Рабинович Э.З., Ушакова Т.В., Кузнецов А.Н. Движение кислорода, растворенного в жидкости, в постоянном магнитном поле. - Биофизика, 1983, т.28, вып.1, с.186-187.
157. Пирузян Л.А., Клуцашвили Т.Ш., Накипова О.В., Лазарев А.В., Кузнецов А.Н. Действие низкочастотного магнитного поля на сократимость миокарда. - ДАН СССР, 1983, т.270, № 6, с.1406-1489.
158. Симонов А.Н., Вышенская Т.В., Лившиц В.А., Кузнецов А.Н. Влияние постоянного магнитного поля на электрическую емкость бислойных липидных мембран. - Биофизика, 1984, т.29, вып.4, с.610-614.

- I59. Рабинович М.И. Стохастические автоколебания и турбулентность. - УФН, 1978, т.125, вып.1, с.123-168.
- I60. Гапонов А.В., Рабинович М.И., Шапиро М.Ф. Возможный механизм стохастизации интенсивности ОКГ. - Вестник Моск.ун-та: Физика, Астрономия, 1978, т.19, № 4, с.125.
- I61. Pikovsky A.S., Rabinovich M.J.- Phys. Reports, 1980, v. 53, № 6: Кияшко С.В., Пиковский А.С., Рабинович М.И. - Радиотехника и электроника, 1980, т.25, № 2, с.336-343 (цит. по: I36)
- I62. Schmitz R.A., Graziani K.R., Hudson J.L. Journ. Chem. Phys., 1977, 67, 3040 (цит. по: I37).
- I63. Ganapathisubramanian N., Noyes R.M. A discrepancy between experimental and computational evidence for chemical chaos.- J. Chem. Phys., 1982, vol. 76, N 14, P.1770-1774.
- I64. Hudson J.L., Hart M., Marinko D. An experimental study of multiple peak periodic and nonperiodic oscillations in the Belousov-Zhabotinskii reaction.-J.Chem. Phys.,1979, V;71, N4, p.1601.
- I65. Creveling H.F., De Pas J.F., Balad J.V., Schoenhals R.J.- Journ. Fl. Mech., 1975, vol.67, p.65 (цит. по: I36).
- I66. Любимов Д.В., Путин Г.Ф., Чернатыйнский В.И., ДАН СССР, 1977, 235, с.534 (цит. по: I60)
- I67. May R.M. Nature, 1976, v.261, p.459 (цит. по: I37).
- I68. Rössler O.E. Bull. of Math. biol., 1977, v.39, p.275 275 (цит. по I36, I60)
- I69. Jacobs J.A., Phys. Reports, 1976, v.26, p.183. (цит.по: I37)
- I70. Герасимова Т.И. Мутантные переходы нестабильных аллелей в локусе *cut* у *Drosophila Melanogaster* - ДАН СССР, 1982, т.266, № 3, с.722-725.
- I71. Mosetti F. Periodizitätsanalyse der Beobachtungs reihen der Biscandilischen Fällungsreaktion. Arch.Met. Geoph. Biokl.

172. Бучаченко А.Д. Магнитные взаимодействия в химических реакциях. - В кн.: Физическая химия. Современные проблемы. - М.: Химия, 1980, с.7-48.

173. Загускин Ю.С., Иванов В.Н. Исследование связи солнечной активности и тяжести дорожно-транспортных происшествий в Москве. - В кн.: Проблемы космической биологии. М.: Наука, 1982, т.43, с.51-59.

174. Николаев Ю.С., Рудаков Я.Я., Мансуров С.М., Мансурова Л.Г. Секторная структура межпланетного магнитного поля и нарушения деятельности центральной нервной системы. - В кн.: Проблемы космической биологии. М.: Наука, 1982, т.43, с.47-51.

175. Данилов Ю.Е., Александрова М.Б., Овчарова В.Ф. - Ж.Вопр. курортол., физиотер. и ЛФК, 1972, 2 (цит. по: Сперанский А.П., Полторанов В.В. Роль адаптационно-трофических процессов в механизмах действия магнитных полей. - В кн.: Физико-математические и биологические проблемы действия электромагнитных полей и ионизации воздуха. Материалы Всесоюзного научно-технического симпозиума. М.: Наука, 1975, т.2, с.8-16).

176. Мустель Э.Р. Солнечная активность и тропосфера. - В кн.: Влияние солнечной активности на атмосферу и биосферу Земли. М.: Наука, 1971, с.32-57.

177. Витинский Ю.И., Оль А.И., Сазонов Б.И. Солнце и атмосфера Земли. Л.: Гидрометеиздат, 1976. - 351 с.

178. Дьяков А.В. Использование информации об активности Солнца в гидрометеорологическом прогнозировании на длительные сроки (1940-1972 г.г.) Труды I-го Всесоюзного совещания "Солнечно-атмосферные связи в теории климата и прогноза погоды". - Л.: Гидрометеиздат, 1974, с.307-313.

179. Воробьев А.А., Ремизов В.П. Изменение электрического поля атмосферы как возможный предвестник землетрясений. - В кн.: Электромагнитные поля в биосфере. М.: Наука, 1984, т.1, с. 311-315.

180. Тушков Б.П., Лукова М.М., Тушкова Г.И. Влияние экранирования магнитного поля Земли на микроорганизмы. - В кн.: I Всесоюзный биофизический съезд. Тезисы докладов стендовых сообщений. М.: 1982, т.2, с.280.

181. Копанев В.И., Ефименко Г.Д., Шакула А.В. О биологическом действии на организм гипогеомагнитной среды. - Изв. АН СССР. Сер.биол., 1979, № 3, с.342-353.
182. Травкин М.П., Антипова Н.М. К вопросу о влиянии ослабленного МП на плодовитость дрозофилы. - В сб.: Влияние естественного и слабых искусственных МП на биообъекты. 1973, с.82.
183. Giordano A., Trenta A. The differential clotting.-La Settimana Medica, 1959, v.47, p.449.
184. Адамчик А.С. Влияние солнечной активности на систему крови. - В кн.: Тезисы докладов научн.конф. молодых ученых и специалистов н.-и. ин-та мед.радиологии. Обнинск, 1972, с.3.
185. Giordano A. The differential erythrocyte sedimentation.-Minerva Medica, 1958, v.49, p.III8.
186. Mazza L. The differential erythrocyte sedimentation behaviour of the washed redcorper.- La Settimana Medica, 1959, 47, p.84.
187. Moriyama H. Effect of X-agent on Erythrocyte-Sedimentation Rate.- Japan J. Microb., 1961, v.5, p.261-275.
188. Сосунов А.В., Петрова О.А., Борисов Ф.О., Чернов А.А. Изучение клинико-лабораторной значимости РОЭ здорового и больного организма в экранированных пространствах. - В кн.: Реакция биологических систем на слабые МП. М.: 1971, с.153-156.
189. Сосунов А.В., Паркулаб Л.В. О клинико-лабораторной значимости изучения РОЭ у инфекционных больных в частично экранированном пространстве. - В кн.: Влияние естественных и слабых искусственных МП на биообъекты, 1971, с.75-76.
190. Conley C.C. Effect of near-zero magnetic field upon biological systems.-In.: Biol. Effects of Magnetic Fields (Ed. M. Barnothy), N.Y., Plenum Press, 1969, v.2, p.24.
191. Lang S. Stoffwechselphysiologieaus-wirkungen der Faraday-schen Abschirmung und eines Künstlichen luftelektrischen Feldes der Erde. - Z. Naturforsch., 1954, v.9, p.111-112.

2. Becker R.O. Relationship of geomagnetic environment to human biology.- N.Y. States, J. Med., 1963, v.63, p.2215-2219.
3. Казымов П.П. О ритме движения листьев фасоли в условиях экранирования естественных ЭМП. Колебательные процессы в биологических и химических системах. - М.: Наука, 1971, т.2, с. 178-181.
4. Паркулаб Л.В. Влияние экстремальных факторов (магнитные поля и экранированные пространства) на некоторые компоненты инфекционного процесса: Автореф.дис. канд.мед.наук. - Кишинев, 1970. - 20 с.
Сосунов А.В., Паркулаб Л.В. О биологических процессах в экранированном пространстве в аспекте учения А.Л.Чижевского. - В кн.: Солнце, электричество, жизнь. М.: 1969, с.35-37.
5. Чернилевский В.Е. Влияние постоянных магнитных полей на продолжительность жизни организмов. - В кн.: Физико-математические и биологические проблемы действия электромагнитных полей и ионизации воздуха. Материалы Всесоюзного научно-технического симпозиума. М.: Наука, 1975, т.2, с.39-46.
6. Чернявская Г.А., Куликова М.Л., Тютюнова А.М., Чирвина Е.Д., Холодный М.Д. Некоторые аспекты действия на организм слабых низкочастотных магнитных полей. - В кн.: Биологические механизмы и феномены действия низкочастотных и статических электромагнитных полей на живые системы. Томск, изд-во Томск. ун-та, 1984, с.126-127.
7. Wever R. Über die Einflusung der circadianen Periodic des Menschen durch schwache electromagnetische Felder.-Ztschr. vergl. Physiol., 1967, 56, s.III-128.
8. Brown F.A. Jr. Biological clocks: endogenous cycles synchronized by subtle geophysical rhythms.-Biosystems, 1976,v.8, p.67-81.
9. Persinger M.A. Possible cardiac driving by an external note

200. Wever R. Human circadian rhythms under the influence of weak electric fields and the different aspects of these studies.-
Int. J. Biometeorol., 1973, v.17, N 3, p.227-232.
201. Арсланова Р.М., Беневоленский В.Н., Птицына Н.Г., Труханов К.А. Синхронизация частоты сердечно-сосудистых катастроф физическими датчиками времени. - Космическая биология и авиакосмическая медицина, 1982, № 3, с.32-34.
202. Ишанов П.А., Иванов Е.И. Влияние возмущений геомагнитного поля на суточный ритм двигательной активности крыс. (I Моск. мед.ин-т, М. 1983, Деп. в ВИНТИ № 6457-83 Деп.
203. Войтинский Е.Я., Гендельс Б.С., Гольцман Б.И., Музалевская Н.И., Лившиц М.Е. О влиянии слабого магнитного поля на электрическую активность мозга. - В кн.: Магнитное поле в медицине. Фрунзе, 1974, с.21.
204. Aschoff J., Klotter K., Wever R. Circadian vocabulary.- In.: Circadian clock (Ed. J.Aschoff), 1965, p.10-19.
205. Чернышев В.Б. Суточные ритмы. - В кн.: Проблемы космической биологии. - М.: Наука, 1980, т.41, с.186-229.
206. Halberg F. Physiological 24-Hour periodicity: general and procedural considerations with reference to the adrenal cycle.-Ztschr. Vitamin-Hormon- und Fermentforsch, 1959, 10, p.225-296.
207. Bliss V.H., Neppner F.H. Circadian activity rhythm influenced by near zero magnetic field.-Nature, 1976, v.261, N 5559, p.411-412.
208. Волькештейн М.В. Общая биофизика. - М.: Наука, 1978. - 590 с.
209. Хургин Ю.И. Гидратация глобулярных белков. - Журнал Всесоюзного химического общества им. Д.И.Менделеева, 1976, т.21, № 6, с.684-696.

В кн.: I Всесоюзный биофизический съезд. Тезисы докладов стендовых сообщений, М.: 1982, т.2, с.278-279.

211. Евдокимов Е.В. О макроскопических флуктуациях в алкоголь-дегидрогенозной реакции. Биопфизика, 1984, т.29, вып.5, с.752-756.
212. Вавилин В.А., Жаботинский А.М., Заикин А.Н. Исследование автоколебательной химической реакции. - В кн.: Математические модели биологических систем. - М.: Наука, 1971, с.25-40.
213. Жаботинский А.М. Концентрационные автоколебания. - М.: Наука, 1974. - 176 с.
214. Дженкинс Г., Ваттс . Спектральный анализ и его приложения.- М.: Мир, 1971. - 316 с.
215. Урбах В.Ю. Биометрические методы. - М.: Наука, 1964. - 280 с.
216. Гмурман В.Е. Руководство к решению задач по теории вероятности и математической статистике. - М.: Высшая школа, 1975. - 333 с.
217. Лакин Г.Ф. Биометрия. - М.: Высшая школа, 1978. - 290 с.
218. Хальд А. Математическая статистика с техническими приложениями. - М.: ИЛ, 1956. - 664 с.
219. Закс Л. Статистическое оценивание. - М.: Статистика, 1976. - 598 с.
220. Гублер Е.В., Генкин А.А. Применение непараметрических критериев статистики в медико-биологических исследованиях. - Л.: Медицина, 1973. - 141 с.
221. Сквэйрс Дж. Практическая физика. - М.: Мир, 1971. - 245 с.
222. Космические данные. - М.: Наука, 1980, с.3.
223. Бойд В. Основы иммунологии. - М.: Мир, 1964. - 590 с.
224. Иммунология. Справочник: Перевод с немецкого /Под ред. Г.Бундушу, Б.Шнеевайса. - Киев: Наукова думка, 1981. - 480 с.
225. Балезин С.А., Ерофеев Н.В., Подобаев Н.И. Основы физической и коллоидной химии. - М.: Просвещение, 1975. - 398 с.
226. Зильбер Л.А. Основы иммунитета. - М.: Медгиз, 1948. - 495 с.

228. Классен В.И. Омагничивание водных систем. - М.: Химия, 1982. - 295 с.
229. Гауровиц Ф. Иммунология и биосинтез антител. - М.: Мир, 1969. - 416 с.
230. Бернал Дж., Фаулер Р. Структура воды и ионных растворов. - УФН, 1934, т.14, вып.5, с.586.
231. Капустинский А.Ф., Самойлов О.Я. Структура водных растворов электролитов и гидратация ионов. - Журн.физ.химии, 1952, т.26, вып.6, с.918-927.
232. Самойлов О.Я. Структура водных растворов электролитов и гидратация ионов. - М.: Изд-во АН СССР, 1957. - 182 с.
233. Духанин В.С., Ключников Н.Г. Исследование влияния магнитной обработки водных растворов некоторых хлоридов на степень ионной гидратации. - В кн.: Вопросы теории и практики магнитной обработки воды и водных систем.-Новочеркасск, 1975, с.70-73.
234. Авилова Л.И., Высотина С.С., Ефанов Л.Н., Курочкина Н.А., Михайлов А.А. Влияние омагничивания воды на растворимость неэлектролитов. - В кн.: Вопросы теории и практики магнитной обработки воды и водных систем.-Новочеркасск, 1975, с.146-150.
235. Вавилин В.А., Жаботинский А.М., Ягужинский Л.С. Исследование зависимости поведения колебательной химической реакции от концентраций исходных реагентов. Реакция окисления малоновой кислоты. - В кн.: Колебательные процессы в биологических и химических системах. Труды Всесоюзного симпозиума по колебательным процессам в биологических и химических системах. - М.: Наука, 1967, с.181-198.
236. Иваницкий Г.Р., Кринский В.И., Сельков Е.Е., Математическая биофизика клетки.-М.: Наука, 1978. - 310 с.
237. Бендат Дж., Пирсол А. Применение корреляционного и спектрального анализа.-М.: Мир, 1983. - 312 с.
238. Васильев Д.В., Витоль М.Р., Горшенков Ю.М., Самойло К.А., Федосова Т.С., Черниговская Э.М. Радиотехнические цепи и сигналы.-М.: Радио и связь, 1982. - 528 с.

239. Сагдеев Р.З., Салихов К.М., Молин Ю.Н. Влияние магнитного поля на процессы с участием радикалов и триплетных молекул в растворах. - Успехи химии, 1977, т.46, вып.4, с.569-601.
240. Бучаченко А.Л. Магнитные взаимодействия в химических реакциях. - В кн.: Физическая химия. Современные проблемы. М.: Химия, 1980, с.7-48.
241. Яцимирский К.Б., Грагеров И.П., Тихонова Л.П., Киприанова Л.А., Закревская Л.Н., Левит А.Ф. Колебания знака химической поляризации ядер в реакции Белоусова-Жаботинского в присутствии η -бензохинона. - ДАН СССР, 1976, т.226, № 5, с.1133-1135.
242. Яцимирский К.Б., Тихонова Л.П., Закревская Л.Н. О химическом регулировании колебательной химической реакции (с III, IV) - $\text{BrO}_3^- - \text{CH}_2(\text{COOH})_2$ - ДАН СССР, 1976, т.226, № 6, с.1378-1381.
243. Noyes R.M., Field R.J., Thompson R.G. Mechanism of reaction of bromine (V) with weak one-electron reducing agents.-J. Amer. Chem. Soc., 1971, v.93, N 26, p.7314-7315.
244. Ровинский А.Б., Жаботинский А.М. О механизме автокаталитической реакции окисления Ce^{3+} броматом. - Теоретическая и экспериментальная химия, 1978, т.14, № 2, с.183-192.
245. Field R.J., Körös E., Noyes R.M. Oscillations in chemical systems. II. Thorough analysis of temporal oscillation in the bromate-cerium-malonic acid system.-J. Amer. Chem. Soc., 1972, v.94, N 25, p.8649-8664.
246. Кайзер Ф. Нелинейные колебания (предельные циклы) в физических и биологических системах. - В кн.: Нелинейные электромагнитные волны. М.: Мир, 1983, с.250-285.
247. Вавилин В.А., Жаботинский А.М., Заикин А.Н. Действие ультрафиолетового излучения на автоколебательную реакцию окисления производных малоновой кислоты. - Журн. физ. химии, 1968, т.12, вып.12, с.3091-3094.