

ЎЗБЕКИСТОН РЕСПУБЛИКАСИ ОЛИЙ ВА ЎРТА МАХСУС ТАЪЛИМ  
ВАЗИРЛИГИ  
М.УЛУҒБЕК НОМИДАГИ ЎЗБЕКИСТОН МИЛЛИЙ УНИВЕРСИТЕТИ  
П.Б.Азизов номидаги БИОЛОГИЯ-ТУПРОҚШУНОСЛИК  
ФАКУЛЬТЕТИ  
БИОФИЗИКА КАФЕДРАСИ

**Мирзаева Камола Хурсандбоевна**

**ЭЛЕКТРОМАГНИТ МАЙДОН ТАЪСИРИДА БИОЛОГИК  
ЖАРАЁНЛАРНИНГ БОШҚАРИЛИШИ**

(5420100 – «Биология»)

**МАЛАКАВИЙ БИТИРУВ ИШИ**

Илмий рахбар:  
Б.ф.н. Раджабова Г.

Диссертация иши кафедра  
мажлисида кўриб  
чиқилди ва ҳимояга рухсат этилди  
Биофизика кафедраси мудирини,  
б.ф.н. Ю.В.Левицкая

« \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2012 й.

**Ташкент – 2012**

## МУНДАРИЖА

КИРИШ.....	3
I Боб. АДАБИЁТЛАР ШАРҲИ.....	4
1.1. ЭММ нинг тирик организмларга таъсири.....	4
1.2. Суъний паст частотали электромагнит майдоннинг ўсимликларга таъсири.....	14
1.3. Майнит бўронининг ўсимликларга таъсири.....	18
II Боб. ТАДҚИҚОТ МАТЕРИАЛЛАРИ ВА УСУЛЛАРИ.....	20
2.1. Буғдой майсаси протопластларида $Ca^{2+}$ ионлари ҳолатини флуоресцент зонд ёрдамида ўрганиш.....	20
2.2. Протопластларни электромагнит майдон билан ишлов бериш.....	21
III Боб. ОЛИНГАН НАТИЖАЛАР ВА УЛАРНИНГ ТАҲЛИЛИ.....	22
3.1. Турли хил частотадаги электромагнит майдоннинг хужайра ички $Ca^{2+}$ концентрациясига таъсирини ўрганиш.....	22
ХУЛОСАЛАР.....	29
Фойдаланилган адабиётлар рўйхати.....	30

### Фойдаланилган қисқартма сўзлар рўйхати

ГММ – геомагнит майдон  
ГТР – гравитропик реакция  
УҚН – узокликдаги қизил нурланиш  
ИСК – индолсирка кислота  
I<sub>3</sub>P – инозид-3-фосфат  
ПЧ – паст частота  
ҚН – қизил нурланиш  
ДММ – доимий магнит майдон  
Ф<sub>қ</sub> – қизил фитохром  
Ф<sub>уқ</sub> – узокликдаги қизил фитохром  
ЭММ – электромагнит майдон

## КИРИШ

Ҳозирги кунда магнит бўронлари ва паст частотали суъний электромагнит майдоннинг тирик организмларга таъсирга эга эканлиги ҳеч кимда шубҳа ўйғотмайди.

Бунда магнит майдонининг тирик организмларга таъсир механизмларни тушинтириб беришда бир қатор гипотезалар илгари сурилган бўлиб, улардан энг кенг тарқалганларидан бири – «резонанс» таъсир механизми ҳисобланади. Бу гипотезанинг моҳияти шундан иборатки, яъни тирик организмларда мавжуд бўлган барча биологик жиҳатдан муҳим аҳамиятга эга ҳисобланган ионлар, жумладан  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Na}^{+}$  ва бошқа бир қатор ионлар, шунингдек биологик фаол моддалар ва бошқа моддаларнинг ионлари доимий магнит майдонда узлуксиз ҳаракатланиш хусусиятини намоён қилади. Шу сабабли Ерда циклотрон частотали тебранишлар кузатилади. Ушбу тебранишлар амалга ошиши натижасида эса ион каналларининг фаоллашган марказлари таъсирида ион канали орқали ионларнинг жадал тарзда ўтиши ёки турли хил рецепторлар ва ферментларнинг фаол марказлари фаоллашиши кузатилади.

Ушбу кўринишда,  $\text{Ca}^{2+}$  ионлари хужайраларда кўп миқдордаги ферментларни фаоллаштириш жараёнида ҳал қилувчи ўринни эгаллаб, ўз навбатида эса хужайра ичида амалга ошувчи жараёнларга бевосита таъсир кўрсатиш хусусиятига эга ҳисобланади, шу кўринишда паст частотали электромагнит майдоннинг тирик организмларга таъсири давомида  $\text{Ca}^{2+}$  ионларининг циклотрон тебранишлари асосий ўрин тутади деган гипотеза юзага келган.

Албатта, бу кўринишдаги «циклотрон резонанс» таъсир ҳақидаги гипотезани тасдиқлаш ёки инкор қилиш устида кўплаб тажрибаларни амалга ошириш талаб қилинади.

Шу нуқтаи назардан, ушбу малакавий битирув ишининг мақсади – турли хил частота қийматларига эга бўлган, паст частотали электромагнит майдоннинг хужайра ичидаги  $\text{Ca}^{2+}$  ионлари концентрацияси ўзгаришларига таъсирини Индо-1АМ ёки Фура-АМ флуоресцент зондлари ёрдамида ўрганиш ҳисобланади.

Бунда тадқиқот объекти сифатида буғдой майсаси баргидан олинган протопластлардан фойдаланилди, бунда қайд қилиб ўтиш керакки, ушбу объектни олиш етарлича қулай ва осон амалга оширилади.

## **I Боб. АДАБИЁТЛАР ШАРҲИ**

### **1.1. ЭММ нинг тирик организмларга таъсири**

Ҳозирги кунда кучсиз даражадаги паст частотали ЭММнинг биологик объектларга таъсири ҳақида етарлича даражадаги кенг кўламдаги маълумотлар тўпланган бўлсада, яъни ҳозирда бу йўналишда амалга оширилган тадқиқотлар натижалари бўйича 30000 дан ортиқ мақолалар нашр қилинганлигига қарамасдан, ЭММнинг бирламчи таъсир механизмларини батафсил ҳолатда ойдинлаштириб берувчи, қониқарли даражадаги фикрлар мавжуд эмас [Бинги, Савин, 2003].

Юқори чегаравий кучсиз даражадаги ЭММнинг тирик организмларга таъсирида иккита жиҳат эътиборга олинандиган бўлса, у ҳолатда ЭММнинг биологик таъсир эффектида қуйидаги ҳолатлар бўйича ишончлилиқ даражаси пасайиши кузатилади – яъни,  $kT$  деб номланувчи масала ва кучсиз даражадаги ЭММнинг биологик жиҳатдан паст қийматлардаги самарадорлиги (тахминан 70% атрофида).

Эслатиб ўтилган  $kT$  масаласининг моҳияти шундаки, 1 мкТл атрофидаги магнит индукцияси қийматига эга бўлган ЭММ квант энергияси молекуланинг бирор шаклдаги кимёвий ўзгаришларини юзага келтириши мумкин бўлган молекулаларнинг иссиқлик ҳаракати энергиясидан ( $kT$ )

тахминан 10 мартаба паст ҳисобланди [Бинги ва бошқалар, 2006]. Ушбу асосда кучсиз даражадаги ЭММнинг биологик тизимларга таъсири айрим ҳолатларда тўлиқ ҳолатда инкор қилинади.

Кучсиз даражадаги ЭММнинг биологик реакцияларни юзага келтириши қуйидаги ҳолатларда тасдиқланган. Биокимёда кўпгина реакциялар ва жараёнлар иссиқлик таъсирида фаоллашмайди, бунда фаоллашиш жараёни ферментлар, рецепторлар лигандлари ва рецептор – каналлар комплекслари орқали, шунингдек мембрана потенциали қиймати ўзгаришлари, фотосезгир молекулаларнинг ёруғлик нури квантини ютиши ва шу кабилар орқали амалга ошиши кузатилади, бунда кучсиз даражадаги энергетик таъсирлар ҳам бир неча мартаба юқори ҳолатда юзага келувчи таъсир эффектларига олиб келиши мумкин. Шу билан бир қаторда тирик тизимларда мувозанатдаги термодинамика қонуниятлари асосидаги айрим ҳолатлар, жумладан  $kT$  масштаблардаги иссиқлик ҳолатлари қабул қилинмаган. Тирик организмларда кўпгина жараёнлар сезиларли даражада мувозанатлашмаган ҳолатда амалга ошади, бунда хоҳлаган турдаги ташқи кучсиз даражадаги таъсирлар берилиши натижасида ушбу жараёнлар хоҳлаган йўналишларда ўзгариши мумкин. Бу кўринишдаги ҳолатларда ферментатив реакциялар мувозанат ҳолатига яқин шароитларда тўғри ёки тесқари реакция йўналишида таъсир эффектига эга бўлиши мумкинлиги таъкидланган. Бунда автотебранмали жараёнлар, жумладан юракнинг синус тугуни пейсмеркер ҳужайралари мембрана потенциали қийматларидаги автотебранмали ҳолатлар патологик ҳолатлар юзага келганда ташқи жуда кучсиз даражадаги таъсирларга, масалан магнит бўронлари ёки тегиш соҳасига эга бўлмаган бошқа турдаги кардиостимуляторлар таъсирларига жуда сезгир бўлиши қайд қилинган.

Шунга ўхшаш автотебранмали жараёнлар нотирик табиатда ҳам кўплаб топилади – масалан, сувнинг кластер структураси, Белоусов-Жаботинский кимёвий реакцияси, висмут хлориднинг чўкиш реакцияси ва бошқа кўплаб

ҳолатларни келтириб ўтиш мумкин. Бу ҳолатларнинг барчаси магнит бўронлари таъсирига сезgirлик хусусиятини намоён қилиши аниқланган [Владимирский, 1992]. Айрим муаллифлар томонидан бу кўринишдаги мувозанатлашмаган жараёнларнинг дестабилизацияси организмда кучсиз даражадаги паст частотали ЭММ таъсирида умумий физик механизмлар асосини ташкил қилиши мумкинлиги таъкидланган [Плеханов, 1978].

Кучсиз даражадаги ЭММнинг тирик организмларга таъсири самарадорлигининг пастлиги турли хил тадқиқотчилар томонидан магнит бўронлари ва техноген ҳолатда юзага келувчи ЭММ таъсирларида изоҳлаш қийин бўлган ГММ вариация қийматлари асосида тушинтирилади [Дубров, 1970. Музалевская, 1971; Сапогов, 1992]. Ҳақиқатдан ҳам, кучсиз даражадаги паст частотали ЭММнинг тирик организмларга таъсирини ўрганишга бағишланган мақолаларда ўлчаш мураккаблиги қайд қилиниб, тажрибалар ўтказилишида доимий ҳолатдаги ГММ индукциясининг таъсири ва шунингдек ўзгарувчан майдон ҳақида фикр юритилмайди. Кўпинча ҳолатларда тадқиқотчилар томонидан биноларнинг пўлатдан ишланган конструкциялари (синчлари) Ернинг доимий магнит майдони хусусиятларига сезиларли даражада таъсир кўрсатиши ҳолатлари ҳисобга олинмайди, шунингдек тажрибаларда қўлланилаётган генератордан кўра магнит майдони ва электр қурилмаларининг, масалан магнит айлантиргич мосламаси (мешалка) таъсири юқори бўлиши ҳам мумкинлиги таъкидланган.

Айрим муаллифлар томонидан кўрсатиб ўтилишича, тажрибаларда «физиологик дарча»ни ҳам ҳисобга олиш талаб қилинади, яъни биологик тизимнинг хусусий биоритмлари маълум даврийлик бўйича кучсиз даражадаги электрмагнит майдонларга нисбатан сезgirлик хусусиятини намоён қилиши қайд қилинган [Бинги, 2002].

Кучсиз даражадаги паст частотали ЭММнинг биологик таъсир эффекти механизмларини изоҳлашда кўплаб гипотезалар мавжуд ҳисобланади. Бу йўналишдаги масалалар қуйидаги муаллифлар

тадқиқотлари натижаларда батафсил ҳолатда тавсифланган [Бинги, 2002; Бинги, Савин, 2003].

Тадқиқот ишимизнинг ушбу бўлимида биз улардан энг аҳамиятга эга деб ҳисоблаганларимизнигина қисқача келтириб ўтамиз.

Бактерияларнинг магнитотаксис ҳодисаси, тирик организмларнинг, жумладан ҳашаротлар ва қушларнинг магнит моменти – магнитосома қийматига эга бўлган нанозаррачалар (10 нм) ёрдамида ГММ бўйича мўлжал олиши тадқиқотларда тасдиқланган. Магнитосомалар кўплаб тирик организмларда мавжудлиги аниқланган бўлиб, жумладан одам ва ҳайвонлар мия хужайралари таркибида қайд қилинган. Тахмин қилинишича, кучсиз даражадаги ЭММнинг биологик таъсирида темир атомлари – бактерия – ва фитоферритинлар, ферродоксинлар, бошқа турдаги металлопротеид бирикмалар ва ферментлар муҳим аҳамиятга эга бўлиши мумкинлиги қайд қилинган [Павлович, 1985]. Магнетит кристаллари ташқи магнит майдони айланувчи моментга эга ҳисобланади. Бунда унинг айланиш энергияси кучсиз даражадаги ГММ шароитида иссиқлик флуктуацияси  $kT$  энергияси қийматидан сезиларли даражада катта бўлиши аниқланган, шу сабабли бу ҳолат атроф муҳитдаги биоструктураларга босим ўтказиши ва биологик таъсир эффеқтини юзага келтириши мумкинлиги қайд қилинган [Kirschvink et al. 1992].

В.Н.Бинги [2005] томонидан магнитосомаларнинг ЭММнинг биологик таъсир эффеқтидаги аҳамияти ҳақидаги гипотеза бўйича магнитосомаларнинг кучсиз даражадаги (100 – 200 нТл) ЭММ шароитидаги стохастик резонанс гипотезаси илгари сурилган. Ушбу гипотеза  $kT$  ҳолатига боғлиқ масалаларни ойдинлаштиради ва айрим турлардаги кучсиз даражадаги паст частотали ЭММ ва геомагнит майдон вариацияларининг резонанс бўлмаган таъсир эффеқтларини изоҳлаб беради. Бироқ, В.Н.Бинги томонидан бу гипотеза магнитобиология масалаларининг барчасини изоҳлаш имконини бермаслиги таъкидланган.

А.Либова ва бошқалар [1985] томонидан амалга оширилган тадқиқотлардан кейин кучсиз даражадаги ЭММ таъсирида кальций, магний ва бошқа бир қатор турдаги ионлар учун циклотрон ҳисобланган частоталар шароитида биологик жиҳатдан муҳим аҳамиятга эга ушбу ионларнинг геомагнит майдон таъсирида ҳаракатланиши аниқланиши, «резонанс» гипотезалар шаклланишига олиб келган, яъни бунда ЭММ таъсирида биологик тизимларда  $\text{Ca}^{2+}$  ионли асосий нишон сифатида тавсифланган.

Улардан биринчиси А.Либова томонидан таклиф қилинган – «циклотрон резонанс гипотезаси» ҳисобланиб, бунда барча биологик жиҳатдан муҳим аҳамиятга эга ҳисобланган ионлар, жумладан  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Na}^+$ , нейромедиаторлар, хужайра ички регулятор моддалари ва бошқалар доимий ГММ шароитида доимий ҳаракатланишда бўлиши ва ҳоҳлаган зарядга эга бўлган заррачалар спирал бўйлаб,  $f_c = qH/mc$  айланиш частотаси асосида ҳаракатланиши қайд қилинган. Бу ерда  $q$  ва  $m$  – заррачаларнинг заряди ва массаси,  $H$  – магнит майдоннинг кучланиш қиймати,  $c$  – ёруғлик тезлиги қийматини ифодалайди. Ўртача кенгликлар бўйлаб ГММ индукцияси қиймати – 50 мкТл ҳолатда айрим ионлар учун циклотрон частота қийматлари қуйидагича белгиланади:  $\text{Ca}^{2+}$  - 38,4 Гц;  $\text{Mg}^{2+}$  - 64,0 Гц;  $\text{Na}^+$  - 32,0 Гц;  $\text{K}^+$  - 19,6 Гц;  $\text{Cl}^-$  - 21,5 Гц.

Юқорида кўрсатиб ўтилган ионлар гидратланган ҳолатларда ва 1000 Да гача молекуляр массага эга бўлган молекулалар таркибида циклотрон частотага эга бўлиб, унинг қиймати 1 – 10 Гц оралиғини ташкил қилиши аниқланган. Бундан ташқари, қўшимча тарздаги айланишлар, бир хил зарядланган заррачалар тизими (масалан, атом электронлари) *Лармор прецессияси* номи билан аталади. Лармор частотаси ионлар учун циклотрон частота қийматининг иккига бўлинганига тенг ҳисобланиб, қуйидаги формула асосида ҳисобланади:

$$fL = fc/2$$

Ионларнинг бу кўринишдаги тебранишлари резонанс тарзда ўзгарувчан ГММ таъсирида кучайиши мумкинлиги қайд қилиниб, бу ҳолат энг аввало ионосферада 8 Гц частотага эга тўлқин хосил қилувчи ҳолат асосида юзага келиши мумкин, шунингдек Ерда чакмоқларнинг кўп миқдордаги зарядлари электромагнит тўлқинлари таъсирида хосил бўлиши мумкин (бунда ўртача секунд давомида 100 та чакмоқ тўғри келади) бунда «Ер юзаси – ионосфера» 40000 км периметрида 1/8 секунд давомида амалга ошувчи чакмоқлар ушбу ҳолатни юзага келтириши мумкинлиги таъкидланган [Schumann, 1982].

Маълум бир ионнинг циклотрон частотасига мос келувчи суъний ЭММ таъсирида ионнинг тебранишлари резонанс ҳолатда янада ортиши кузатилади. Бунда ионнинг циклотрон тебранишларни резонанс ҳолатда кучайтирувчи энергия қиймати молекулаларнинг иссиқлик ҳаракатланиш энергиясидан бир неча мартаба кам бўлсада, бу таъсир натижасида мувозанатлашмаган ҳолатдаги ион каналининг дарвоза механизми асосида ёки рецептор, фермент соҳалари фаоллашиши натижасида «*очқич – қулф*» кўринишида қандайдир биологик эффект юзага келиши мумкинлиги қайд қилинган [Узденский, 2000].

Шунингдек, Лармор частотаси ва циклотрон таъсирнинг кучайтирилиши ҳоҳлаган кўринишидаги кучли даражадаги электромагнит шовқинлар (масалан, магнит бўронлари) таъсиридаги энергиянинг қайта тақсимланиши ва сигнал ва шовқиннинг аддитив аралашishi спектри бўйича ҳам юзага келиши мумкинлиги таъкидланган. Бу кўринишдаги гипотеза «*циклотрон частота стохастик резонанси гипотезаси*» деб аталади [Макеев, 1993].

Ушбу гипотеза таклиф қилинганидан кейин, Арбер [1985] томонидан кучсиз даражадаги юқори частотали ЭММ кальций ионларининг хужайрада кальмодулин оксил молекуласи билан боғланиш константа қийматини ўзгартириши аниқланган бўлиб, бу ҳодисанинг амалга ошиш механизмини

ўрганиш кўплаб назарий тадқиқотларнинг асосий предмети йўналишини ташкил қилган.

В.В.Леднев ва унинг ҳаммуаллифлари томонидан [1991] оқсил соҳаси бўйлаб ион модели асосида ( $\text{Ca}^{2+}$  ионининг кальмодулин соҳасида жойлашиши) оқсил соҳаси атомдаги электрон сингари хусусиятни намоён қилиши, яъни радиочастота диапазонидаги ЭММ таъсирида нурланиши ва бу нурланиш интенсивлиги қиймати Ернинг доимий магнит майдонида циклотрон ва Лармор частоталари қиймати бўйича ўзгариши қайд қилинган, ушбу асосда майдоннинг биологик таъсир эффеќти юзага келиши изоҳланган. Муаллиф томонидан бу таклиф қилинган гипотеза – «*магнит параметрик резонанс гипотезаси*» деб аталган ва ушбу гипотеза Либованинг циклотрон частотада ионларнинг тебранишлари ҳақидаги гипотезасига қарама – қарши қўйилган. Бу кўринишдаги параметрик резонанс ҳақидаги фикрлар В.В.Леднев [1996] томонидан ривожлантирилган бўлиб, ушбу муаллиф томонидан ушбу ҳолат Зеeman эффеќти деб номланувчи – доимий ММ таъсирида ионнинг квант энергетик даражаларидаги парчаланишларини ҳисобга олган ҳолатда қараб чиқилган. Кейинчалик параметрик резонанс гипотезаси Бланчарт ва Блэкман [1994], Жадин [1996] ва бошқа бир қатор тадқиқотчилар ишларида ривожлантирилган.

Б.М.Владимирский ва Н.А.Темурьянц [1996] томонидан «*ядро магнит резонанси*» (ЯМР) ва геомагнит майдон асосида кучсиз электромагнит майдоннинг биологик таъсир эффеќтини изоҳлашга уриниб кўрилган.

Назариётчи физик олим В.Н.Бинги томонидан навбатдаги резонанс гипотеза жараёнга назарий физика нуқтаи назаридан баҳолаган ҳолатда илгари сурилган бўлиб, бу гипотеза – «*ион ҳолатининг интерференцияси*» деб аталган. Бунда муаллиф томонидан оқсил соҳасида жойлашган ионнинг ҳолати квант механикаси нуқтаи назаридан қараб чиқилган. Бу гипотеза Бинги томонидан кейинчалик «*бурчакли молекуляр ҳолат интерференция назарияси*» гипотезаси кўринишида ривожлантирилган бўлиб, бу ҳолатда

кичик ўлчамдаги молекуланинг йирик оқсил молекуласи соҳасида жойлашиши тавсифланган. Ушбу гипотезалар доирасида айрим ҳолатларда квант механикаси тушунчалари яққол кўринишини сезиларли даражада йўқолганлигини кўриш мумкин, Бинги томонидан кучсиз даражадаги ЭММ таъсирида турли хил моделларнинг ўзгаришлари хусусиятлари ўрганиб чиқилган:

1 – бир хилдаги мангит ўқи бўйлаб жойлашган ва айланмайдиган ҳолатдаги ион – оқсил комплексининг диссоциация модели;

2 – молекула – оқсил комплексида айланувчи ион – оқсил диссоциация модели;

3 – оқсил молекуласи соҳасида жойлашган ион ёки молекуланинг айланувчи модели (*молекуляр гироскоп модели*);

4 – импульсли ЭММ таъсирида ион – оқсил комплексининг диссоциация диссоциация модели;

5 – электромагнит шовқин ва бошқа бир қатор моделлар қаторида ион – оқсил комплексининг диссоциация модели [Бинги, 2005].

Бу барча кўрсатиб ўтилган моделларнинг таҳлил қилиниши асосида Бинги томонидан қуйидагича хулосаларга келинган, яъни молекуляр гироскоп моделида кучсиз даражадаги ЭММ таъсирида гироскоп энергияси квант даражаси билан интерференция юзага келишида (боғланган ҳолатдаги кучайтирилиш) чизиқли тарздаги энергетик силжишлар амалга ошиши мумкинлиги қайд қилиниб, унинг қиймати  $kT$  билан ҳисобланади ва шунингдек, ушбу ҳолат ҳақиқатдан ҳам бевосита бирорта биологик эффектни юзага келтириши мумкинлиги кўрсатиб ўтилади. Бинги томонидан келтирилган гипотезанинг моҳияти қуйидагича тушинтирилади. Яъни, молекуляр гироскоп – бу йирик ўлчамли оқсил молекуласининг бўшлиғи соҳасида молекулалар охирги қисми бўйлаб, қарама – қарши томонларига иккита ковалент боғлар ёрдамида боғланган кичик ўлчамли молекулани ифодалаб беради, бу ҳолатда ушбу кичик ўлчамли молекула бўшлиқда эркин

тарзда айлана олиши қайд қилинади. Ернинг доимий ҳолатдаги магнит майдони ёки ўзгарувчан суъний ЭММ таъсирида оқсил молекуласининг ҳаракатланиши уюрмали электр майдонини юзага келтириб, айланувчи механик моментни шакллантиради ва бу ҳолат бевосита молекуланинг тасодифий тарздаги иссиқлик ҳаракатланишларини тезлаштиради ёки сусайтиради. Айрим алоҳида ҳолатларда ЭММ нинг частота ва амплитудаси қийматлари бўйича молекулаларнинг бир жинсли бўлмаган ҳолатдаги ўзига хос специфик айланиш режими юзага келиши кузатилади, яъни ЭММ ўзгаришлари давомида деярли бутун давр мобайнида ўзгаришсиз ҳолат кузатилиб, кейин эса нисбатан тўлиқ бурчак остида ўзгариш қайд қилинади. Ушбу режимда молекуляр гироскопнинг айланиш бўйлаб ён гуруҳларида реакциялар амалга ошиши эҳтимоллиги даражаси ортади [Бинги, 2005].

W.X.Valcavage ва бошқалар [1996] томонидан амалга оширилган тадқиқотларда илгари сурилган гипотеза ҳам катта қизиқиш ўйғотиб, бунда ушбу муаллиф томонидан ГММ таъсирида катион ташувчи трансмембрана оқсил каналлари орқали ҳаракатланувчи катионлар Холл эффекти асосида таъсирга эга бўлиб, Лоренц кучи билан каналнинг оқсил молекуласи ўртасида трансмембрана потенциали юзага келишига эътибор қаратилган. Агар электромагнит майдоннинг давомийлиги ва частотаси қиймати катионларнинг даврий транспорти кўрсаткичларига яқин бўлса, у ҳолда майдон ион транспортига бевосита таъсирга эга бўлиши мумкинлиги таъкидланади.

Кучсиз даражадаги паст частотали ЭММнинг биологик таъсирини тушинтиришда бир қатор бошқа гипотезалар ҳам мавжуд бўлиб, уларнинг кўпчилигида магнит майдонинг тирик организмлар таркибида мавжуд бўлган сув молекулалари структурасига таъсири асос қилиб олинган. Бу гипотезалар тажрибаларда ЭММ таъсирида биообъектда содир бўлувчи ўзгаришлар, ушбу ЭММнинг сувга таъсири ва ушбу сувни биообъектга киритилишида юзага келувчи ўзгаришларга ўхшаш эканлиги орқали тасдиқланган. Бунда

сув молекуласи кучсиз даражадаги паст частотали ЭММ таъсири юқори даражада сезгирлик хусусиятини намоён қилиб, натижада турли хил эритмаларнинг, масалан аминокислоталарнинг электрўтказувчанлик хусусияти кўрсаткичлари қийматидаги ўзгаришлар юзага келиши кузатилади [Новиков, 1996].

А.Я.Глувштейн [1996] томонидан амалга оширилган тадқиқотларда 17°C ҳарорат шароитида ва муҳитнинг рН кўрсаткичи қиймати 6 га тенг ҳолатда, дистилланган сувда 9,0 ва 13,5 Гц частотага эга бўлган даврий равишда сўниб борувчи тебранишлар кузатилиши қайд қилинган. Ушбу муаллиф томонидан бу кўринишдаги тебранишлар манбаи – таркибдаги  $23,0 \times 10^9$  ва  $3,3 \times 10^9$  сув молекулаларидан ташкил топган, тартибли ҳолатдаги соҳалар (ассоциатлар) ҳисобланиши ва уларнинг массаси мос равишда  $6,8 \times 10^{-16}$  ва  $1,0 \times 10^{-16}$  кг га тенглиги қайд қилиб ўтилади. Натрий ва калий хлорид сувли эритмаларининг электр ўтказувчанлик хусусиятида ўтказувчанлик хусусияти тебранишлари 1,3 – 5,2 Гц оралиқда тебранишга эга эканлиги аниқланган. Бу ҳолатда кўпгина муаллифлар фикрларига кўра,  $\text{Na}(\text{H}_2\text{O})_4$  ва  $\text{K}(\text{H}_2\text{O})_4$  типидagi кластерлар, сув молекулаларидан ташкил топган тартибли соҳалар умумий миқдори  $2,4 \times 10^{10}$  дан  $14,3 \times 10^{10}$  гачани ташкил қилиши аниқланган. Ушбу олинган маълумотлар асосида сувнинг ва унинг эритмаларининг структуравий соҳалари айниқса, паст частотали, 1 – 20 Гц частотага эга бўлган ташқи электромагнит майдон таъсирига юқори даражада сезгирлик хусусиятини намоён қилади, натижада сувнинг структура соҳаларида бузилишлар юзага келади ва ўз навбатида сувнинг фаоллашиши амалга ошади. Эҳтимол, кучсиз даражаги паст частотали ЭММ нинг тирик организмларда сув молекулаларини фаоллаштириши бевосита майдоннинг биологик эффектига олиб келиши мумкинлиги таъкидланган.

Кучсиз даражадаги паст частотали ЭММ нинг тирик организмларга таъсири механизмларини ойдинлаштиришга қаратилган кўплаб гипотезалар мавжудлигига қарамасдан, ҳозирги кунда умумий тарзда айтиш мумкинки,

бу ҳолат механизмлари батафсил ҳолатда аниқланмаган. Айтиш мумкинки, ҳозирги вақтда мавжуд гипотезалар асосида кучсиз даражадаги ЭММ тирик организмларга – таркибида темир сақловчи магнетит нанозаррачалари орқали, ион каналларининг дарвоза механизмига таъсири орқали, сув молекуласининг фаоллаштирилиши орқали, лигандларнинг рецепторлар ёки фермент субстратларига нисбатан боғланиш константа қийматлари ўзгартирилиши орқали ва бошқа бир қатор механизмлар орқали амалга ошиши мумкинлиги қайд қилинган.

## **1.2. Сўъний паст частотали электромагнит майдоннинг ўсимликларга таъсири**

**ПЧ ЭММ нинг ўсимлик уруғига таъсири.** Экишдан олдин турли хил ўсимликларнинг уруғларини электромагит майдон билан ишлов бериш самарадорлиги анча олдин аниқланган бўлиб, бу йўналишдаги тадқиқотлар натижалари тегишли дарсликлар таркибига ҳам киритилган. Масалан, «Электротехнология» [Карасенко ва бошқалар, 1992] китобида уруғни экишдан олдин ишлов беришда (электростимуляция) сифат кўрсаткичлари ва униш жараёнида талаб қилинган генотип белгиларининг намоён бўлишига таъсири бўйича маълумотлар келтирилган. Электростимуляция билан уруғга ишлов беришда оптимал шароитлар таъминланганда, уруғларнинг экиш учун сифат даражаси ортиши (униш қувватининг ортиши), ўсимлик ривожланиши тезлашиши, ташқи муҳитнинг ноқулай омилларига қарши чидамлилиқ даражаси ортиши қайд қилинган, бунда ўсимликнинг хосилдорлик даражаси 5-20%гача ортиши қайд қилинган. Бунда ишлов бериш жараёнининг самарадорлиги бевосита кўплаб омилларга боғлиқ бўлиб, самардорлик даражаси 0,50 дан 0,75 гача оралиқда тебраниши кузатилади. Уруғни ишлов беришда кўпгина муаллифлар томонидан электростимуляция мақсадларида юқори қийматлардаги (1-2450 МГц) ва паст қийматлардаги (50 Гц)

электромагнит майдондан фойдаланиш синовлардан ўтказилган, шунингдек бу мақсадларда кенг оралиқдаги частота қийматларига эга бўлган (асосан паст частотали), 10-600 кВ/м қийматдаги униполяр разряддан 2-180 секунд даврийликдаги экспозицияда фойдаланиш синаб кўрилган. Ўсимликларга доимий электр майдон ва магнит майдон таъсирини баҳолашда муаллифлар томонидан айрим ҳолатларда ҳатто паст частотали ўзгарувчан майдон таъсирида ўсимлик ҳужайралари ички қисмида доимий ҳолатда мос равишда зарядли заррачаларга боғлиқ ҳолатда цитоплазманинг даврийликдаги ҳаракатланишлари амалга ошири кузатилган ва бундан ташқари экишдан олдин уруғларни ишлов бериш экин майдонларининг ўзида амалга оширилиши бўйича таъсиялар ишлаб чиқилган.

Собиқ Иттифокда ва Россия минтақасида ўсимлик уруғларини экишдан олин ишлов бериш мақсадларида бир нечта типдаги паст частотали электромагнит генераторлар (МАГ-30, Биомаг –1С, МК37-2, Фауст ва бошқалар) ишлаб чиқаришга жорий қилинган.

Илмий адабиётларда ЭММнинг, жумладан паст частотали ЭММ нинг ўсимлик уруғлари унишига таъсир хусусиятлари бўйича бир қатор маълумотлар мавжуд ҳисобланади.

Биз ушбу ўринда ушбу йўналишда бажарилган тадқиқот ишларидан бирига қисқача тўхталиб ўтамиз [Плеханов, 1990]. Умумий кўринишда ЭММ кўрсаткичлари қиймати ва интенсивлигига, ишлов бериш давомийлигига боғлиқ ҳолатда ўсимлик уруғларининг ишлов берилишида стимулловчи ва ингибирловчи таъсир эффектлари қайд қилинган. Мисол сифатида қуйида бир нечта тадқиқотларни келтириб ўтамиз.

С.И.Аксенова ва бошқалар [1996] томонидан амалга оширилган тадқиқотларда паст частотали (30 – 33 Гц), синусоидал ЭММ магнит индукцияси максимал амплитуда қиймати 30 мТл ни ташкил қилган ҳолатда, магнит айлантргич (мешалка) ёрдамида 7 – 10 минут давомида айлантрилган шароитда турли хил навларга мансуб буғдой уруғининг

унувчанлик кўрсаткичлари ўрганилган. Амалга оширилган тажрибалар давомида унувчанлиги сусайиб кетган буғдой донлари ЭММ билан ишлов берилганидан кейин 3 – 60% гача унувчанлик қиймати ортиши аниқланган, шунингдек майсаларнинг миқдорий жиҳатдан ортиши 10 – 300%гача ортиши кузатилган. Унувчанлик даражаси 100%ни ташкил қилувчи буғдой дони экишдан олдин ЭММ билан ишлов берилиши натижаси майсанинг массаси 20%гача ортиши кузатилган. ЭММ билан ишлов бериш натижасида уруғ таркибида эстераза ферментининг гидролитик фаоллиги қиймати фақат 100% унувчанлик хусусиятига эга донларда кузатилган, унувчанлик даражаси сусайиб кетган буғдой донида эса бу ҳолат қайд қилинмаган. Ундирилган уруғларни ЭММ билан ишлов беришда барча ҳолатларда унган муртак атрофида муҳитнинг ишқорийлашиши кузатилади, бу ҳолат электромагнит майдон билан ишлов бериш таъсирида уруғ таркибида моддалар алмашинуви жадаллашишидан далолат беради. Электромагнит билан ишлов берилган барча ҳолатларда уруғнинг униш муҳитида турли хил ғубор хосил қилувчи омиларнинг ингибирланиши кузатилади. Муаллифлар томонидан электромагнит билан ишлов беришда уруғлар айниқса, таркибда оксилларнинг сувли муҳитга ўтиш ҳолатларида юқори даражада сегирлик ҳолати кузатилиб, бунда ушбу жараёнга электромагнит майдон стимулловчи таъсир кўрсатиши мумкинлиги қайд қилинади. Ўз навбатида оксилларнинг ажралиб чиқишида унувчанлик даражаси сусайган уруғларнинг метаболизм жараёнлари жадаллиги қайта тикланиши амалга ошади.

Қайд қилиб ўтиш керакки, магнитобиология соҳасида умумий ҳолатда паст частотали магнит майдоннинг биообъектларга таъсирини ўрганиш давомида қуйидаги ҳолат кузатилади – яъни кўпгина тадқиқотчилар фикларига кўра, бу йўналишдаги тадқиқотлар натижаларида юқори даражада бўлмаган самарадорлик кузатилиши ҳеч қандай шубҳа ўйғотмайди. Магнитобиологик тадқиқотларнинг юқори даражада бўлмаган самарадорлиги кўпроқ муҳитдаги турли хил таъсирга эга омиллар – ҳарорат,

ёруғлик, ионлаштирувчи радиация, гравитация, ЭММ фони, жумладан ГММ ва шунингдек биологик объектнинг физиологик ҳолати, ундаги моддалар алмашинуви жараёнларининг ҳолати кабиларнинг таъсири билан боғлиқ ҳолатда тушинитирилади [Новицкий, 1984; Сапогов, 1992; Morgan, Nair, 1992].

А.С.Сапогов [1992] томонидан тадқиқотларда паст частотали магнит майдоннинг ўсимликлар уруғи унувчанлик даражасига таъсирини ўрганишда геомагнит майдон таъсиридан пермал экран ёрдамида 100 маротабагача таъсирни сусайтирувчи экранлаш синовдан ўтказилган, бунда самарадорлик нисбатан барқарорлашиши кузатилган. Шунга боғлиқ ҳолатда, паст частотали магнит майдон таъсирини ўрганиш бўйича тадқиқотларда ташқи омиллар таъсирини сусайтирувчи, жумладан электромагнит майдон фони таъсирини камайтириш, пермал экранлардан фойдаланиш (бир қаватли пермал экран электромагнит майдон таъсирини тахминан 100 маротабагача сусайтириш хусусиятига эга ҳисобланади) ёки Ернинг магнит майдонидан бир неча маротаба юқори қийматга эга бўлган индукция қийматидаги магнит майдонлардан фойдаланиш тавсия қилинади.

**ПЧ ЭММ нинг ўсимликларнинг ўсиши вегетатив босқичида таъсири.** Шейкина Н.В. ва унинг ҳаммуаллифлари томонидан [2005] помидорнинг 3 кунлик илдизида ЭММ частотаси билан ишлов беришда гравитропик реакция (ГТР) кузатилиши аниқланган. Бунда  $Ca^{2+}$ ,  $K^+$ , ИУК<sup>-</sup>, гиббереллин ионлари, АБК,  $Cu^+$  ионлари учун циклотрон қийматларга яқин бўлган турли хил қийматдаги частоталардан фойдаланиш орқали ГТР йўналишини ўзгартириш ёки ўсимлик илдизи ўсишини фаоллаштириш, тўхтатиб қўйиш мумкинлиги таъкидланган. Бу тадқиқотлар бевосита ЭММ нинг биообъектларга резонанс таъсир гипотезасини тасдиқлайди.

### 1.3. Магнит бўронининг ўсимликларга таъсири

Ҳозирги кунда қуёш фаоллиги вариациясининг турли хилдаги физик – кимёвий тизимларга таъсирини ўрганиш бўйича етарлича даражада кўп миқдордаги тажрибаларга асосланилган натижалар йиғилган [Владимирский, Темурьянц, 2000]. Ушбу кўринишда, Владимирский Б.М. [1992] томонидан магнит бўронларининг сув кўрсаткичларига таъсири, фосфатлар кристаллари морфологик хусусиятларига таъсири, висмут хлориднинг чўкишига таъсири, акрилонитрил тестига таъсири, оқсил эритмаларининг хиралик вариация қийматларига таъсири, кислотали аккумуляторларнинг сиғим қийматлари вариациясига таъсири, Белоусов-Жаботинский автотеканмалли реакцияси амплитудасига таъсири, бир қатор ферментлар фаоллигининг макрофлуктуация амплитудаси қийматларига таъсири, кимёвий реакциялар тезлигига, метал ионларининг желатина гели таркибидаги диффузиясига, ярим ўтказгичларда шовқин кўрсаткичлари қийматлари ва бошқа кўпгина ҳолатларга таъсири бўйича маълумотлар умумлаштириб чиқилган. Ушбу маълумотлар асосида магнит бўронларининг тирик организмларга таъсири ҳақида хулосалар чиқариш имконияти туғилади.

Ҳақиқатдан ҳам магнит бўронларининг одам организмига таъсири бўйича етарлича даражада кўп маълумотлар мавжуд ҳисобланади. Айниқса, магнит бўронлари кузатилган ҳолатларда қон босими билан боғлиқ ҳалокатли вазиятлар, тўсатдан ўлим ҳолатлари кўплаб кузатилиши бўйича статистик маълумотлар кўплаб йиғилган [Гневъшев, 1971], шунингдек магнит бўронлари вақтида асосан юрак ритмининг кескин бузилишлари рўй бериши қайд қилинган [Щемелева, 2007; Щербакoва, 2007]. Тадқиқотларда магнит бўронларнинг юрак пейсмекер ритмига бевосита ва билвосита таъсир механизмлари ўрганилган. Масалан, В.А.Ямшанов ва В.К.Кошелевский [2007] томонидан магнит бўронлари таъсирида одам оғиз бўшлиғида

микрофлоранинг нитрит – редуктаза фаоллиги стимулланиши таъсирида азот оксиди ҳосил бўлиши миқдорий ортиши кузатилган, бу азот оксиди эса қон таркибига тушиши орқали вазодиятор сифатида таъсир кўрсатиши, инфаркт юз беришига олиб келиши таъкидланган.

Магнит бўронларининг ўсимликларга таъсир механизмлари ҳақида маълумотлар нисбатан кам ҳисобланади. Донли экинлар ҳосилдорлигининг 11-йиллик қуёш фаоллигига боғлиқ ҳолати аниқланган. Бунда аниқланишича, қуёш фаоллиги максимум қийматда бўлган йиллар давомида донли экинлар ҳосилдорлиги максимал даражада ортиши ва қуёш фаоллиги қиймати минимал қийматда эса ҳосилдорлик ҳам пасайиши кузатилган.

Ҳосилдорлик қийматлари ва Ернинг ЭММ қийматлари ўртасидаги боғлиқлик корреляция қийматлари тузиб чиқилган. Ҳосилдорликнинг қисқа даврийликдаги вариация қийматлари 11 йиллик давр мобайнида квази даврийлик хусусияти билан ифодаланиши аниқланган – 2,3; 3,2; 5-6 йил кўринишида [Каменир, Кириллов, 1992].

Е.Р.Нанушьян ва В.В.Мурашев [2001; 2003] томонидан тадқиқотлар давомида аниқланишича, геомагнит майдоннинг *Allium cepa* L. ўсимлиги пиёзчаси меристема апикал ўсимталарида геомагнит майдон таъсирида кўп ядроли, йирик ядрога эга бўлган ва ҳатто гигант ядрога эга гигант ўлчамли хужайралар юзага келиши кузатилган. Муаллифлар томонидан қайд қилинишича, таркибида ДНК миқдори ортиши билан полиплоид хужайралар одатда дифференциаллашган ва функционал жиҳатдан фаол тўқималарда кузатилади. Уларнинг меристема тўқималари таркибида кузатилиши эса бевосита Ернинг магнит майдони кескин ўзгаришларига нисбатан адаптацион реакция сифатида қаралади. Гигант ўлчамларга эга бўлган хужайраларнинг ҳосил бўлиши ва кейин эса уларнинг нобуд бўлиши, қуйидаги кўринишдаги яшовчанлик гипотезаси билан изоҳланиши мумкин. Стресс юзага келган ҳолатларда, масалан геомагнит майдон таъсирида

организмда компенсатор структуралар – гигант ядронинг хосил бўлиши кузатилиб, таъсирдан кейин бу хужайралар парчаланеди ва қўшни хужайралар томонидан ютилади, бунда ушбу кўринишда эндоген озикланиш кўринишидаги ассимилянтларнинг қўшимча тарзда йўқ қилиниши амалга ошиши таъкидланади.

Аксёнов С.И. [2007] томонидан магнит бўронлари ва ПЧ ЭММ таъсирида буғдой майсасининг ўсишини ўрганиш бўйича амалга оширилган тадқиқотлар давомида аниқланишича, бу ҳар иккала таъсир ҳам – табиий ва сунъий майдон уруғларнинг дастлабки босқичларида унувчанлигини стимуллаши кузатилган, шунингдек ЭММнинг давомийликда узлуксиз таъсирида кейинги ривожланиш босқичларида ўсиш ва ривожланиш жараёни сезиларли даражада сусайиши, тўхтаб қолиши аниқланган.

## **II Боб. ТАДҚИҚОТ МАТЕРИАЛЛАРИ ВА УСУЛЛАРИ**

### **2.1. Буғдой майсаси протопластларида $\text{Ca}^{2+}$ ионлари ҳолатини флуоресцент зонд ёрдамида ўрганиш**

Протопластлар буғдойнинг 6-8 кунлик майсалари баргидан ажратиб олинди. Бунда устара кескичи ва пинцет ёрдамида баргнинг пастки эпидермиси ажратиб олинди, барг тўқимаси эса қисмларга бўлинди ( $1,0-1,5 \text{ см}^2$ ) ва кейин тезда  $0,34 \text{ М}$  маннитнинг муҳит кўрсаткичи қиймати  $\text{pH } 5,4$  бўлган эритмасига солинди. Кейин эса ўсимлик материали тажрибаларга тайёрланди. Бунда маннит эритмаси олиниб,  $0,34 \text{ М}$  маннит эритмасига алмаштирилди. Эритма таркибида  $2,5\%$ ли целлюлаза мавжуд ҳисобланади (Onozuka, P-1500).

$1 \text{ г}$  барг материали таркибига  $4-5 \text{ мл}$  миқдорда фермент эритмасидан қўшилди. Эритма  $2-2,5$  соат мобайнида,  $32^\circ\text{C}$  ҳарорат шароитида инкубацияга қўйилди. Хужайра девори бузилганидан кейин, протопластлар

суспензияси капрон тўқимаси орқали ўтказилди ва хужайра қолдиқлари ажратиб олинди, кейин протопластлар 1000 айланиш/минут тезлигида 5 минут давомида центрифугаланди. Протопластларнинг чўкмаси 3 марта такрорийликда таркибида ферментлар мавжуд бўлмаган муҳит суяқлиги билан ювилди ва 1 мл ҳажмида ушбу эритмада суспензияланди. Протопластларнинг концентрацияси Горяева камераси ёрдамида ҳисоблаш йўли билан аниқланди. Хужайраларнинг ҳаётчанлик хусусияти хужайраларни 0,04%ли трипан кўкида бўялиши асосида баҳоланди, бунда барча тажрибалар давомида ушбу кўрсаткичнинг қиймати 95%дан кам эмаслиги қайд қилинди. Ячейкада хужайраларнинг тақсимланиш зичлиги  $10^6$  хужайра /мл ни ташкил қилди.

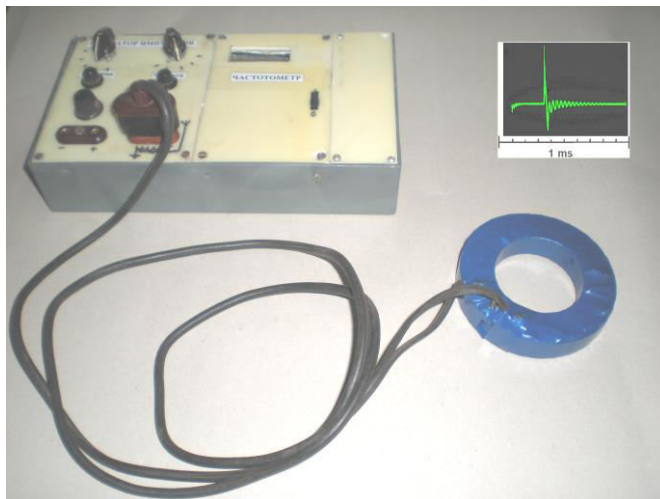
Протопластлар таркибида 150 мМ сахароза, 150 мМ  $\text{Na}_2\text{SO}_4$ , 1 мМ  $\text{CaCl}_2$ , 10 мМ Трис-МЭС-буфер  $\text{pH}=7,1$  ва 20 мкМ Индо-1 мавжуд бўлган эритма муҳитида 1 соат давомида инкубация қилинди. Айрим тажрибаларда  $\text{CaCl}_2$  билан биргаликда муҳит таркибида 0,2 мМ EGTA ишлатилди.

Хужайраларнинг якуний концентрацияси флуориметрнинг ўлчаш ячейкасида флуоресценция давомида  $5 \cdot 10^5$  кл/мл протопластни ташкил қилди. Флуоресценция интенсивлиги Индо-1 мавжуд ҳолатда 405 нм ўлқин узунлигида спектрофлуориметр СФР-1 (Пушино, Россия) ёрдамида,  $25^\circ\text{C}$  ҳарорат шароитида амалга оширилди. Бунда кўзгатиш тўлқин узунлиги қиймати – 334 нм ни ташкил қилади.

## **2.2. Протопластларни электромагнит майдон билан ишлов бериш**

Электромагнит импульслар генератори б.ф.н. Тонких А.К. томонидан тайёрланган. Бунда генератор турли частотадаги, 100 – 1000 нТл магнит индукциясига эга бўлган импульсларни ҳосил қилиш хусусиятига эга ҳисобланади. Яратилган генератор ёрдамида ҳосил қилинган магнит

индукцияси 50 Гц ҳолатда миллитесламетр Ф 4356 ёрдамида (Собик Иттифиқда ишлаб чиқарилган) ўлчанди. Частота қиймати универсал мультиметр ХВ-202 ёрдамида ўлчанди.



**2.1-расм. Импульслар генератори ва биологик тўқимага эквивалент қийматдаги ( $R = 100 \text{ k}\Omega$ ,  $C = 10 \text{ pF}$ ) импульс осциллограммаси.**

### **III Боб. ОЛИНГАН НАТИЖАЛАР ВА УЛАРНИНГ ТАҲЛИЛИ**

#### **3.1. Турли хил частотадаги электромагнит майдоннинг хужайра ички $\text{Ca}^{2+}$ концентрациясига таъсирини ўрганиш**

Кучсиз даражадаги ПЧ ЭММ нинг тирик организмларга таъсири бўйича кўплаб гипотезалар келтирилган бўлиб, улар орасида нисбатан кенг тарқалгани – «резонанс» гипотеза ҳисобланади ва бунда ЭММ таъсирида  $\text{Ca}^{2+}$  ионлари асосий нишон ҳисобланишига асосланилади.

Ушбу гипотезага мувофиқ кўплаб биологик жараёнларда қатнашувчи ионлар иссиқлик «Броун» ҳаракатланишлари билан бир қаторда тебранишлар (қалтираш) кўринишидаги ҳаракатланишларни ҳам амалга ошириши қайд

қилинган. Бу тебранишлар доимий ГММ таъсирида юзага келиши мумкин, яъни барча зарядга эга бўлган заррачалар магнит майдон таъсири остида спирал йўналишдаги частота бўйлаб ҳаракатланади ва бу ҳолат циклотрон частота номи билан юритилади. Доимий магнит майдон индукция қиймати  $\approx 50$  мкТ бўлган ГММ юзага келтирувчи циклотрон частота кўпгина биологик жихатдан муҳим аҳамиятга эга ҳисобланган ионлар диапазонида – 1 - 50 Гц бўлиши аниқланган. Жумладан, бу частота қиймати  $\text{Ca}^{2+} = 38$  Гц, гидратланган ҳолатда эса – 1 – 10 Гц ни ташкил қилиш аниқланган.

ГММ таъсирида чақирилган ионларнинг кинетик энергияси иссиқлик флуктуацияси энергиясидан сезиларли даражада кичик бўлсада, бунда ГММ таъсирида ионлар мувозанатлашмаган лаҳзалар давомида сезиларли дарада ўзгаришга учраши қайд қилинади, масалан субстрат ионларининг фермент фаол марказида жойлашиш ҳолатида ёки ионнинг мембранада жойлашган ион канали орқали ўтиши давомида майдон таъсирига учраши кузатилади [Узденский, 2000]. Ушбу кўринишда, тебранишга учраган ионлар биологик мембрана ион канали орқали дала тарзда ўтиши, субстратнинг тебранишга учраган молекуласи ферментнинг фаол марказида «очқич – қулф» соҳасида тегишли ҳолатга жадал тарзда жойлашиши кузатилади.

Ҳужайраларда нисбатан муҳим аҳамиятга эга бўлган регулятор ионлар кальций ионлари ҳисобланиб, маълумки  $\text{Ca}^{2+}$  ионлари иккиламчи мессенжер вазифасини ажаради. Ҳужайра ташқи томонида ва ҳужайра ички қисмида  $\text{Ca}^{2+}$  ионларининг концентрацияси мос равишда  $\approx 10^{-3}$  М ва  $10^{-7}$  М ни ташкил қилади. Бу кўринишда ҳужайра ички томонида  $\text{Ca}^{2+}$  ионларининг паст концентрацияда ушлаб турилишининг таъминланишида ҳужайранинг плазматик мембранасида, саркоплазматик ретикулум мембранасида ва митохондрия мембраналарида жойлашган ион ташувчи тизимлар фаоллиги муҳим ўрин тутиб, ушбу тизимлар  $\text{Ca}^{2+}$  ионларини ҳужайрадан ташқарига чиқарилиши ёки ҳужайра ички қисмига киритилишини амалга оширади.

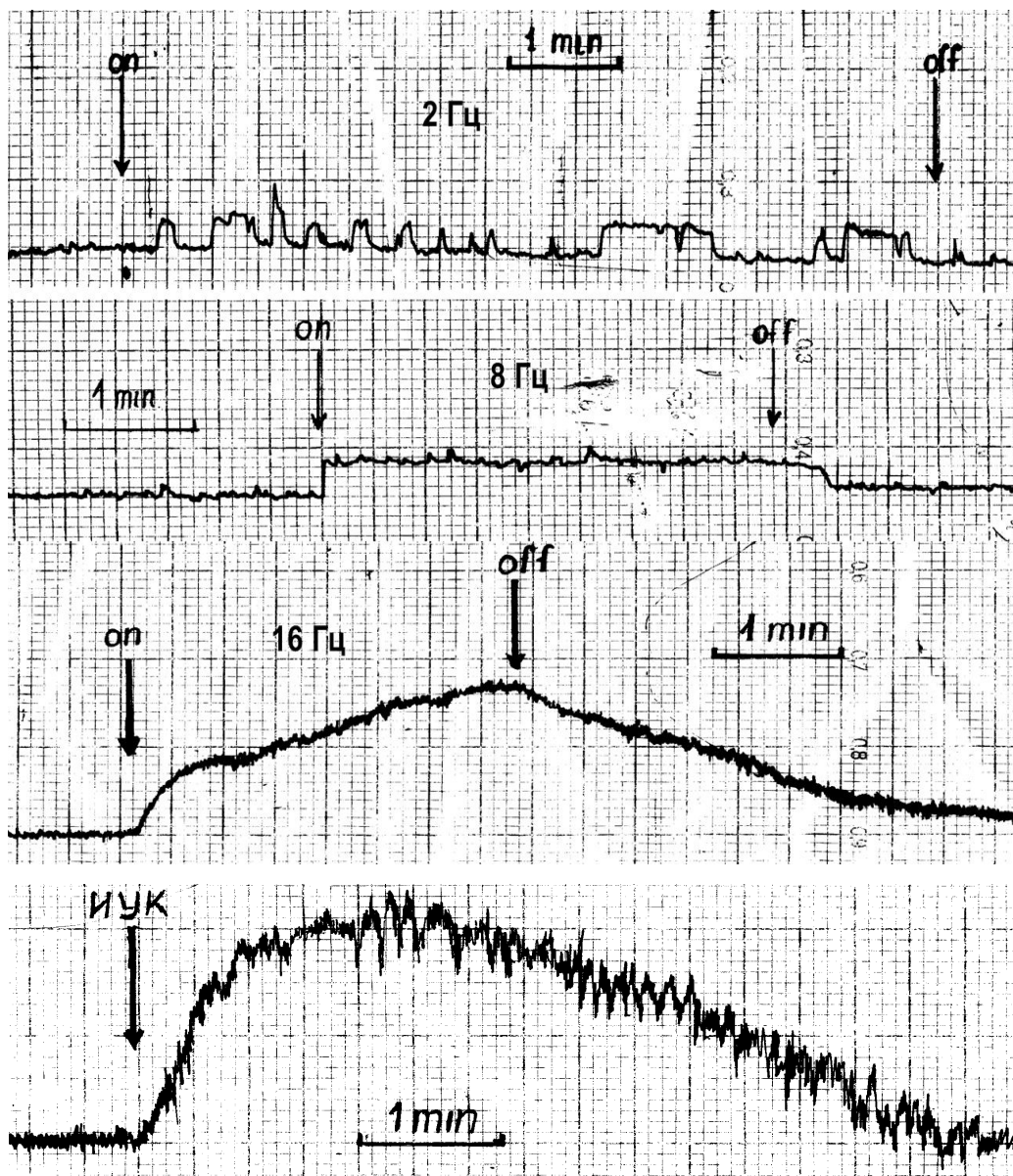
Хужайра ички қисмида  $\text{Ca}^{2+}$  ионларининг ҳатто кички қийматларда концентрацияси ўзгаришлари хужайрада кўплаб  $\text{Ca}^{2+}$  ионларига боғлиқ ферментларнинг фаоллашишига олиб келади.

Замонавий физиологик ва биофизик тадқиқот усуллари ёрдамида хужайра ички томонида  $\text{Ca}^{2+}$  ионларининг ҳатто жуда кам ўзгаришларини ҳам ўлчаш имконияти мавжуд ҳисобланади. Бунда Хужайра ички қисмида  $\text{Ca}^{2+}$  ионлари  $10^{-7} - 10^{-6}\text{M}$  концентрацияларда ўзгаришлари флуоресцент зондлар ёрдамида ўрганилади. Бу тадқиқот усули Фура-2, Индо-1, хлортетрациклин (ХТЦ) каби махсус тузилишга эга молекулаларнинг  $\text{Ca}^{2+}$  ионлари билан боғланишида флуоресценция ҳодисаси амалга ошишига асосланилади [Левицкий, 1990].

ПЧ ЭММ нинг биологик тизимлар таркибида ионларга нисбатан таъсирида резонанс гипотеза тўғри бўлса, у ҳолатда ўсимлик хужайралари цитоплазмасида  $\text{Ca}^{2+}$  ионлари концентрацияси ташқи ЭММ частотасига боғлиқ ҳолатда ўзгаради.

Резонанс гипотезани текшириб кўриш мақсадида ва бунда  $\text{Ca}^{2+}$  ионларининг ҳал қилувчи аҳамиятини аниқлаш мақсадида биз тажрибаларда буғой майсасидан ажратиб олинган протопластлар устида тадқиқотлар олиб бордик, бунда целлюлоза қобиғидан ажратилган хужайралар Индо-1АМ  $\text{Ca}^{2+}$  флуоресцент зонди мавжуд бўлган муҳитга киритилди. Индо-1АМ таркибига киритилган протопластлар флуориметрнинг ўлчаш ячейкасига ўрнатилди ва уни 1 дан 1000 Гц гача бўлган диапазондаги импульсли ЭММ билан ишлов бериш амалга оширилди.

Қуйидаги расмда кўрсатилгани каби (3.1-расм), 2 Гц дан бошлаб флуоресценция қийматларида сакраш тарзидаги ўзгаришлар қайд қилинди, бу ҳолат хужайра цитоплазмасида  $\text{Ca}^{2+}$  ионларининг сакраш тарзидаги ўзгаришларини ифодалаб,  $\text{Ca}^{2+}$  ли чакнаш (*осцилляция*) деб аталади.

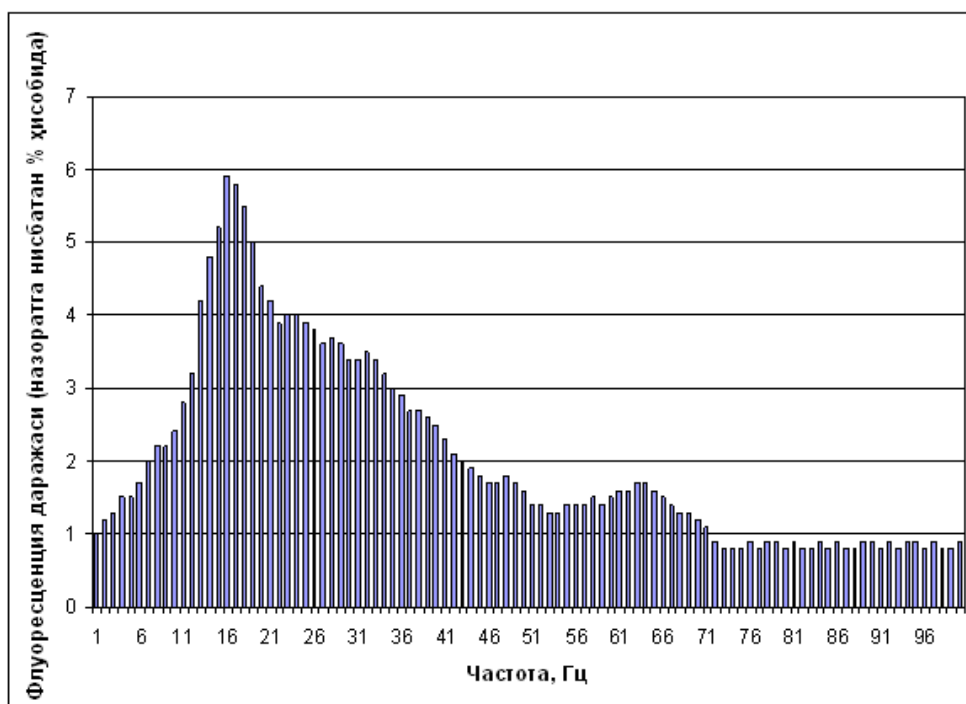


**3.1-расм. Бугдой майсаси протопластлари суспензияси мухитида 10 мМ ауксин ва Indo-1AM мавжуд шароитда флуоресценция қийматининг 2 Гц, 8 Гц ва 16 Гц частоталардаги ЭММ импульси таъсирида ўзгаришлари.** Бу ерда стрелкалар билан генераторни қўшиш ва ўчириш лаҳзалари ифодаланган. Олинган натижалар 6 марта такрорланган тажрибаларнинг ўртача қийматлари асосида ҳисобланган.

Частота қийматининг кейинги оширилишида бу чакнашлар қиймати камаяди, бунда частотага боғлиқ ҳолатда генератор ўчирилганидан кейин флуоресценция ўзгаришлари аста – секин сўниб боради.

Протопластлар муҳитига ауксин қўшилган ҳолатда хужайра ички қисмида  $\text{Ca}^{2+}$  ионлари концентрациясининг ортиши кузатилади. Бу ҳолат айрим типдаги ауксин рецепторларининг  $\text{Ca}^{2+}$ -каналлари регуляциясида иштирок этиши билан боғлиқ ҳолатда изоҳланади [Медведев ва бошқалар, 1999].

3.2-расмда 1 – 100 Гц частота оралиғидаги флуоресценция интенсивлиги кўрсатилган бўлиб, кўриниб турганидек, флуоресценция интенсивлиги қиймати 1 – 50 Гц частота оралиқларида максимал ортиши ва 4, 8, 16 ва 32 Гц да амплитуси қиймати кўтарилишлари қайд қилинади.



**3.2-расм. Буғдой майсаси протопластларида муҳитда Indo-1AM ва 1 мМ  $\text{Ca}^{2+}$  мавжуд шароитда флуоресценция қиймати ўзгаришларининг импульс частотасига боғлиқлиги.** Олинган натижалар 6 марта такрорланган тажрибаларнинг ўртача қийматлари асосида ҳисобланган. Ўртача оғишлар қийматлари устунлар баландлиги бўйича 15%дан ошмайди.

Биз Ернинг доимий магнит майдони индукция қийматини флуориметр ташқи қоплами бўйлаб ўлчадик, бунда Samsung Galaxy S смартфонни ёрдамида  $\text{Ca}^{2+}$  ионларига нисбатан флуоресцент зонддан фойдаландик. Бунда

ушбу қиймат 15 ва 25 мкТл га тенглиги ҳисобланди. Ушбу магнит индукциясида  $\text{Ca}^{2+}$  ионлари учун циклотрон частота қиймати 11 – 19 Гц оралиғида ётиши аниқланди. Биз тажрибаларда олган 16 Гц қиймати ушбу диапазонга деярли мос келади ва бу ҳолат циклотрон гипотезанинг яққол тасдиғи ҳисобланади.

Ушбу тажрибаларни амалга ошириш давомида қуйидаги кўринишдаги савол туғилади – яъни ушбу ҳолатдаги паст қийматга эга импульсли ЭММ ўсимлик ҳужайраларида ушбу кўринишдаги кучли даражадаги таъсир эффектини юзага келтириши мумкинми ва бу бевосита одам организмига ҳам таъсир кўрсатиши мумкинми?

Масалан, генератор қувват манбаидан (аккумулятор) 1 метр узоқлик масофасида турган ва қўлида кичик ўлчамдаги флуориметрни ушлаб турган тадқиқотчи генераторни қўшиб ўчириш давомида ушу таъсирни сезмайди. Эҳтимол, бу ҳолат ўсимлик ва ҳайвонлар организмининг ўзига хос фарқланиш жиҳатлари билан боғлиқ ҳолатда изоҳаланиши мумкин, жумладан ҳайвон ва одам организмида хусусий генератор ҳисобланган – юрак (магнитокардиограмма ўртача амплитудаси – 50 нТл ни ташкил қилади) ўзининг мустақил ҳолатдаги ритм бошқарувчисига (*пейсмекер*) эгаллиги сабабли организм ҳужайраларини нисбатан паст частотали электоромагнит майдон таъсиридан ҳимоя қилиши мумкинлиги таъкидланган.

Кучли даражадаги магнит бўронлари таъсирида организмда юракнинг пейсмекер ҳимоя тизими фаоллиги ишдан чиқиши мумкин ва бу ҳолат бевосита турли хил аритмия шакллари, қон босими ортиши ва ҳатто сурункали тарздаги юрак қон – томир тизими касалликлари билан оғриган беморларда ўлимга ҳам олиб келиши мумкинлиги қайд қилинган.

Уруғчилик соҳасида уруғларни экишдан олдин турли хил омиллар таъсирида ишлов бериш амалиётда қўлланилади. Масалан, уруғларнинг шўрга чидамлилигини ошириш мақсадида уруғлар 3%ли натрий хлорид эритмасида ивителиб, кейин сувда ювилади, қайтадан қуритилади ва яна

ушбу тузли эритмада ивителиб қайтадан қуритилади ва ҳакозо. Бунда ўсимлик уруғининг бирорта салбий таъсирга эга омилга қарши чидамлигини ошириш мақсадида ишлов беришда бошқа турдаги омилларга ҳам чидамлилиқ хусусияти ортиши кузатилади. Масалан, шўрланишга қарши уруғлар юқоридаги кўринишда ишлов берилганда, ўсимликнинг шўрланишга чидамлилиги ортиши билан бир қаторда айрим турдаги зараркунадаларга ҳам қаршилиқ хусусияти сезиларли даражада ортиши аниқланган. Бу ҳолат бевосита, ўсимлик хужайраларида ишлов бериш давомида турли хил хусусиятга эга бўлган стресс омиларга қарши реакциялар занжирининг шаклланиши билан изоҳланади. Бунда энг аввало хужайраларнинг плазматик мембранасининг турли хил ионларга нисбатан ўтказувчанлик хусусияти ортиши ва ўз навбатида мембрана деполяризацияси амалга ошиши,  $\text{Ca}^{2+}$  ионларининг хужайрага кириши, цитоплазма муҳити рН кўрсаткичи қийматининг кислотали томонга ўзгаришлари, турли хилдаги  $\text{Ca}^{2+}$  ионларига боғлиқ ферментлар фаоллашиши, ўсимликларнинг чидамлилиги ортишида муҳим аҳамиятга эга ҳисобланган жараёнлар амалга ошиши (цитосклет ферментлари йиғилиши цитоплазма қовушқоқлиги ортишига олиб келади, шунингдек стрессор оқсиллар синтези фаоллашиши,  $\text{H}^+$ -АТФаза, ферментов синтеза протектор аминокислоталар синтезида иштирок этувчи ферментлар фаоллашиши, ҳашаротлар ва микроорганизмлар моддаларига қарши ферментлар синтези, турли хил гидролазалар, пероксидаза ва бошқалар фаоллашиши) қайд қилинади [Полевой, 1989].

Ушбу кўринишда, ўсимлик уруғларини маълум бир омилларга чидамлигини ошириш мақсадларида ишлов беришда уруғларда дастлабки реакциялар сифатида хужайра ичида  $\text{Ca}^{2+}$  ионларининг ортиши кузатилади.

Шундай қилиб, кучсиз даражадаги ЭММ билан уруғларни ишлов беришда биринчи навбатда уларнинг таркибида хужайра ички кальций ионлари концентрацияси ортиши қайд қилиниб, бунда электромагнит

стимуляция ёрдамида уруғларни электромагнит ишлов берилишини амалга ошириш мумкин.

## ХУЛОСАЛАР

1. Тадқиқотлар натижасида флуоресцент зонд ёрдамида бугдой протопластларида  $\text{Ca}^{2+}$  ионлари концентрацияси маълум бир аниқликдаги қисқа частоталарга эга бўлган электромагнит майдон таъсирида нисбатан ортиши аниқланиб, бу ҳолат ЭММнинг тирик организмларга резонанс таъсири ҳақидаги гипотезани тасдиқлайди.

## Фойдаланилган адабиётлар рўйхати

1. Авдонин П.В., Ткачук В.А. Рецепторы и внутриклеточный кальций. Москва. Наука. 1994.
2. Аганджян Н.А., Власова И.Г. Влияние инфранизкочастотного магнитного поля на ритмику нервных клеток и их устойчивость к гипоксии. Биофизика. 1992. Т.37. Вып.4. С.681-689
3. Аксенов С.И. Физико-химический механизм влияния солнечной активности на биологические и социальные процессы// Нелинейный мир. 2007. Т.5. N 1-2. С.71-79.
4. Аксенов С.И., Грунина Т.Ю., Горячев С.Н. О механизмах стимуляции и торможения при прорастании семян пшеницы в электромагнитном поле сверхнизкой частоты// Биофизика N 2, 2007, т.52, стр.332-338
5. Апашева Л.М., Лобанов А.В., Косиммаров Г.Г. Влияние флуктуирующего электромагнитного поля на ранние стадии развития растений// Докл. РАН 2006. Т.406. N.1. С.108-110
6. Бинги В.Н. Ядерные спины в первичных механизмах биологического действия слабых магнитных полей//Биофизика. 1995. Т.40. Вып.3. С.677-691.
7. Бинги В.Н. Магнитобиология. Эксперименты и модели.// Москва. 2002. МИЛТА. 592 с.
8. Бинги В.Н., Савин А.В. Физические проблемы действия слабых электромагнитных полей на биологические системы//Успехи физических наук. 2003. Т.173. №3. С.265-300.
9. Бинги В.Н. Физические механизмы магнитобиологических явлений.//Автореф. диссер. доктора. физ-мат наук. Москва. МГУ. 2005. 51 с.
10. Бинги В.Н. Параметрический резонанс в магнитобиологии: критический анализ идей Арбера, Киабрера, Леднева, Жадина, Блэкмана и

- Бинги.//Ученые записки Таврического национального университета им. В.И. Вернадского Серия «Биология, химия». 2005. Т.18. (57). №1. С.40-50.
- 11.Бинги В.Н., Миляев В.А., Чернавский Д.С., Рубин А.Б. Парадокс магнитобиологии: анализ и перспективы решения.//Биофизика. 2006. Т.51. Вып. 3. С.553-559.
- 12.Бинги В.Н., Рубин А.Б. Фундаментальная проблема магнитобиологии.//Биомедицинские технологии и радиоэлектроника. 2007. № 2-4. С.63-76.
- 13.Владимирский Б.М. Солнечная активность и проблемы точных измерений//Биофизика. – Москва, 1992. - Т.37. - №3.- С.500-507.
- 14.Владимирский Б.М., Темурьянц Н.А. Ядерный магнитный резонанс в геомагнитном поле - возможный механизм воздействия слабых электромагнитных полей на биологические и физико-химические системы.//Биофизика. 1996. - Т.41. - Вып.4. - С.926-929.
- 15.Волотовский И.Д. Са<sup>2+</sup> и внутриклеточная сигнализация в растительной клетке: роль Са в фитохромной трансдукции.//Биологические мембраны. 1998. Т.15. №5. С.573-587.
- 16.Глувштейн А.Я. Низкочастотные колебания проводимости в воде и в водных растворах хлоридов натрия калия.//Биофизика. 1996. Т. 41. Вып.3. С. 559 - 563. (б)
- 17.Глыбин Л.Я. Когда ложиться спать. Владивосток: Дальневост. кн. изд-во, 1987.
- 18.Говорун Р.Д., Данилов В.И., Фомичева В.М., Белявская Н.А., Зинченко С.Ю. Влияние флуктуаций геомагнитного поля и его экранирования на ранние фазы развития высших растений.//Биофизика. 1992. Т.37. Вып.4. С. 738 - 744.
- 19.Гордеев А.М., Шешнев В.Б. //Электричество в жизни растений Москва. Наука. 1991. 160 с.

20. Дубров А. П. Современная гелиобиология.//Наука и жизнь. –Москва, 1970. - № 9. - С, 97.
21. Дубров А.П. Геомагнитное поле и жизнь.//Гидрометеиздат. Ленинград. 1974. 176 с.
22. Жадин М.Н. Действие магнитных полей на движение иона в макромолекуле: теоретический анализ.//Биофизика. – Москва, 1996. - Т.41. - Вып.4. - С.832 - 849.
23. Каменир Э.А., Кириллов А.К. Анализ влияния солнечной активности на естественное электрическое поле и продуктивность семян зерновых культур//Биофизика. 1992. Т37. №3. С.613-623.
24. Карасенко В.А., Заяц Е.М., Баран А.Н., Корко В.С. Электротехнология. Москва. Колос. 1992. 304 с.
25. Клейменова Н.Г., Троицкая В.А. Геомагнитные пульсации как один из экологических факторов среды//Биофизика. 1992. Т.37. Вып.3. С.429-438.
26. Левицкий Д.О. Кальций и биологические мембраны. Москва. Высшая школа. 1990. 124 с.
27. Леднев В.В., Сребницкая Л.К., Ильясова Е.Н., Рождественская З.Е., Климов А.А., Белова Н.А., Тирас Х.П. Магнитный параметрический резонанс в биосистемах: экспериментальная проверка предсказаний теории с использованием регенерирующих планарий *Dugesia tigrina* в качестве тест-системы.//Биофизика. – Москва, 1996. - Т.41. - Вып.4. - С.815-825.
28. Миляев В.А., Бинги В.Н. О физической природе магнитобиологических эффектов.//Квантовая электроника. 2006. Т.36. №8. С.1-12.
29. Музалевская Н.И. О биологической активности возмущенного геомагнитного поля. В кн.: «Влияние солнечной активности на атмосферу и биосферу Земли». Москва. Наука. 1971. С.119.
30. Нанушьян Е.Р., Мурашев В.В. Адаптивная реакция клеток меристем растений на геомагнитные возмущения//: 4 Съезд по радиационным

- исследованиям "Радиобиология, радиозэкология, радиационная безопасность", Москва, 2001, стр.302
31. Нанушьян Е.Р., Скрипников А.Ю., Мурашев В.В. Саморегуляция клеточной структуры корневой меристемы *Allium sera* L. при воздействии флуктуаций магнитного поля Земли Вестн. МГУ. Сер. 16 N 4, 2001, стр.41-44,52
32. Нанушьян Е.Р., Мурашев В.В. Индукция многоядерных клеток в апикальных меристемах *Allium sera* возмущением геомагнитного поля// Физиология растений. 2003. Т.50. N4. С.587-592.
33. Новиков В.В. Кооперативный эффект резонансного усиления ионного тока в водных растворах аминокислот при действии слабых электромагнитных полей. Подходы к экспериментально-теоретическому анализу.//Биофизика. – Москва, 1996. - Т.41. - Вып.5. - С. 973 - 978.
34. Новицкая Г.В., Церенова О.А., Кочешкова Т.К., Новицкий Ю.И. Влияние переменного магнитного поля на состав и содержание липидов в проростках редиса : Физиол. раст. N 1, 2006, т.53, стр.83-93
35. Новицкий Ю.И. Реакция растений на магнитные поля. В сб. «Реакции биологических систем на магнитные поля» Под ред. Холодова Ю.А.// Москва. Наука. 1978 С.117-130
36. Павлович С.А. Магниточувствительность микроорганизмов.//в сб. Реакции биологических систем на магнитные поля. Наука. Москва. 1978. 216 с. С.103-116.
37. Павлович С.А. Магнитная восприимчивость организмов. Минск. Наука и техника. 1985. 110 с.
38. Плеханов Г.Ф. Дестабилизация неравновесных процессов как основа общего механизма биологического действия магнитных полей//В сб. «Реакции биологических систем на магнитные поля». – Москва: Наука, 1978. – С.59-80.

- 39.Плеханов Г.Ф. Основные закономерности низкочастотной электромагнитобиологии. Изд. Томского Университета. Томск. 1990. 188 с.
- 40.Пономарев О.А., Фесенко Е.Е. Свойства жидкой воды в электрических и магнитных полях//Биофизика. – Москва, 2000. - Т.45. - Вып.3. - С.389-398.
41. Путинцев А.Ф., Платонова Н.А. Обработка семян электромагнитным полем// Земледелие. 1997. N.4. С.45
- 42.Сапогов А.С. К вопросу о невоспроизводимости магнитобиологических опытов//Биофизика. – Москва, 1992. - Т.37. - №4. - С.769-771.
- 43.Ткачук В.А. Фосфоинозидный обмен и осцилляции ионов  $Ca^{2+}$ . // Биохимия. 1998. Т.63. Вып.1. С. 47 - 56
- 44.Узденский А.Б. Биологические эффекты магнитных полей крайне низких частот: Резонансный механизм и его осуществление в клетках//Биофизика. 2000. Т.45. №5. С.861-867.
- 45.Фомичева В.М., Говорун Р.Д., Данилов В.И. Пролиферативная активность и клеточная репродукция в корневых меристемах гороха, чечевицы и льна в условиях экранирования от геомагнитного поля.//Биофизика. 1992. Т.37. Вып. 4. С. 745 - 749.
- 46.Фомичева В.М., Заславский В.А., Говорун Р.Д., Данилов В.И. Динамика синтеза РНК и белков в клетках корневой меристемы гороха, чечевицы и льна.//Биофизика. 1992. Т.37. Вып. 4. С. 750 - 758.
- 47.Хавроничев С.В. Исследование влияния электростатического поля на всхожесть семян яровой пшеницы// Приоритетные направления развития науки и технологий, 2006, Кн. 2 стр.166-168
- 48.Харланов А.В. Возможный механизм резонансного воздействия электромагнитных волн на биологические объекты// Биомед. технол. и радиоэлектрон. 2007. N 5. С.10-14.
- 49.Шейкина Н.В., Богатина Н.И., Кордюм Е.Л. Влияние комбинированного магнитного поля на гравитропическую реакцию растений и спектр

- электромагнитного излучения, генерируемого ими в процессе роста// Радиофиз. и электрон. 2005. Т.10, N 2, С.331-335
50. Aksyonov S.I., Bulychev A.A., Grunina T.Yu., Goryachev S.N., Turovetsky V.B. Effects of ELF-EMF treatment on wheat seeds at different stages of germination and possible mechanisms of their origin// Electro- and Magnetobiol. 2001. Т.20. N.2. P.231-253
51. Arber S.L. Microwave enhancement of membrane conductance: Calmodulin hypothesis.//Physiol. Chem. Phys. Med. 1985. V.17. P.227-233.
52. Balcavage W.X., Alvager T. Swez J., Goff C.W., Fox M.T., Abdullyava S., Ring M.W. A mechanism of action of extremely low frequency electromagnetic fields on biological systems. //Biochemical and Biophysical Research Communications. 1996. - T.222. - N.2. - P.374-378.
53. Binhi V.N., Savin A.V. Molecular gyroscopes and biological effects of weak extremely low-frequency magnetic fields.// Phys Rev E 65(051912):1–10, 2002.
54. Binhi V.N. Molecular gyroscope as a likely target for weak electromagnetic fields in biological systems.// 5th International Congress of the European BioElectromagnetic Association (EBEA), 6-8 September 2001, Helsinki, Finland. Abstracts, pp.161–162.
55. Binhi V.N., Alipov Ye.D, and Belyaev I.Ya.. Effect of static magnetic field on E. coli cells and individual rotations of ion-protein complexes. //Bioelectromagnetics 22(2):79–86, 2001. Binhi. V.N. Amplitude and frequency dissociation spectra of ion-protein complexes rotating in magnetic fields. //Bioelectromagnetics. 2000. V.21 (1). P.34–45.
56. Blanchard J.P., Blackman C.F. Clarification and application of an ion parametric resonance model for magnetic field interactions with biological systems//Bioelectromagnetics. 1994. V.15. P.217-238.

57. Dattilo A.M., Bracchini L., Loisselle S.A., Ovidi E., Tiezzi A., Rossi C. Morphological anomalies in pollen tubes of *Actinidia deliciosa* (Kiwi) exposed to 50 Hz magnetic field// *Bioelectromagnetics*. 2005. T.26. N.2. P.153-156
58. Fischer G., Tausz M., Kock M., Grill Dieter Effects of weak 16 2/3 Hz magnetic fields on growth parameters of young sunflower and wheat seedlings//*Bioelectromagnetics*. 2004. T.25. N.8. P..638-641
59. Galland P, Pazur A Magnetoreception in plants// *J. Plant Res*. 2005. V.118. N6. P.371-389
60. Halpern M.H., Van Dyke J.H. Very low magnetic fields: biological effects and their implications for space exploration//*Aerospace Med.*, 1966. V.37. No3. P.281-295
61. Hanafy M.S., Amen G.H., El-Moate E.A.Abd Effect of 50 Hz 6 kV/m electric field on the protein molecular structure and the growth characteristics of the broad bean (*Vicia faba*)// *Phys. Alive*. 2005. N.2. T.13. P.41-54
62. Kirschvink J L et al.// *Bioelectromagnetics*. 1992. V.13. (Suppl. 1) P.101-106.
63. Lednev V.V.//*Electricity and magnetism in biology and medicine*. Ed. M.Blank. San Francisco. San Francisco Press. 1993. P. 550.
64. Lednev V.V.//*On the nature of electromagnetic field interactions with biological systems*. Ed. A.H.Frey, R.G.Austin. Landes Company. 1994. Chpt.5. P.59.
65. Liboff A.R. //Interaction between electromagnetic fields and cells. N.Y. Plenum Press. 1985. P.281.(a)
66. Liboff A.R., Smith S.D., McLeod B.R.//*Mechanistic approaches to interaction of electric and electromagnetic fields with living systems*. Eds. M.Blank, E.Findl. N.Y. Plenum. 1987. P.109.
67. Muraji M., Asai T., Tatebe W. Primary root growth rate of *Zea mays* seedlings grown in an alternating magnetic field of different frequencies// *Bioelectrochem. and Bioenerg*. 1997. T.44. N.2. P.271-273

68. Piacentini M.P., Piatti E., Fraternali D., Ricci D., Albertini M.C., Accorsi A. Phospholipase C-dependent phosphoinositide breakdown induced by ELF-EMF in *Peganum harmala* calli// *Biochimie*. 2004. T.86. N 4-5. P.343-349
69. Ruzic R., Jerman I. Influence of  $\text{Ca}^{2+}$  in biological effects of direct and indirect ELF magnetic field stimulation// *Electro- and Magnetobiol.* 1998, T.17, N.2, P.205-216
70. Stenz H.G., Wohlwend B., Weisenseel M.H. Weak AC-electric fields promote root growth and ER abundance of root cap cells// *Bioelectrochem. and Bioenerg.* 1997. T.44. N.2. P.261-269