

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ХЕРСОНСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
Факультет біології, географії і екології
Кафедра екології та географії**

**«ОЦІНКА ЕКОЛОГІЧНОЇ БЕЗПЕКИ КОРИСТУВАННЯ МОБІЛЬНИМИ
ТЕЛЕФОНАМИ ЗА ДОПОМОГОЮ МЕТОДІВ ФІТОТЕСТУВАННЯ»**

Кваліфікаційна робота (проект)

на здобуття ступеня вищої освіти «бакалавр»

Виконала: студентка 4 курсу 415 групи

Спеціальності 101 Екологія

Освітньо-професійної програми «Екологія»

Гіньковська Анастасія Сергіївна

Керівник: к.б.н., доцент Кундельчук О.П.

Рецензент: д.пед.н., професор Сидорович М.М.

Херсон – 2020

ЗМІСТ

ВСТУП.....	4
РОЗДІЛ I. РАДІОХВИЛЬОВЕ ЕЛЕКТРОМАГНІТНЕ ВИПРОМІНЮВАННЯ: ДЖЕРЕЛА ТА МЕХАНІЗМИ БІОЛОГІЧНОЇ ДІЇ.....	7
1.1. Джерела радіохвильового випромінювання.....	7
1.1.1. Природні джерела радіохвильового випромінювання ...	9
1.1.2. Техногенні джерела радіохвильового випромінювання.....	11
1.2. Механізми біологічної дії радіохвильового випромінювання.....	16
РОЗДІЛ II. МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕННЯ ЕЛЕКТРОМАГНІТНОГО ВИПРОМІНЮВАННЯ РАДІОХВИЛЬОВОГО ДІАПАЗОНУ ВІД ПОБУТОВИХ ПРИЛАДІВ.....	22
2.1. Прилади для вимірювання радіохвильового випромінювання в навколишньому середовищі.....	22
2.2. Методи оцінки рівня радіохвильового випромінювання. Чинні нормативи.....	25
2.3. Використання методів біотестування для оцінки біологічної дії радіохвильового випромінювання в навколишньому середовищі.....	28
РОЗДІЛ III. ВИКОРИСТАННЯ МОДЕЛІ «ПРОРОСТАЮЧЕ НАСІННЯ» ДЛЯ ВСТАНОВЛЕННЯ ПРОСТОРОВИХ МЕЖ ДІЇ БІОЛОГІЧНО ЕФЕКТИВНОГО РАДІОХВИЛЬОВОГО ВИПРОМІНЮВАННЯ ВІД МОБІЛЬНОГО ТЕЛЕФОНУ.....	33
3.1. Матеріали і методи дослідження.....	33
3.2. Результати дослідження.....	36
3.3. Обговорення отриманих результатів.....	38
3.4. Рекомендації щодо безпеки використання мобільних телефонів споживачами.....	41

ВИСНОВКИ.....	44
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	47
ДОДАТКИ.....	47
ДОДАТОК А.....	47

ВСТУП

Актуальність дослідження. Природні електромагнітні поля діяли на Землі задовго до появи на ній життя. У процесі її зародження і еволюції природні електромагнітні поля при взаємодії з власними біоелектричними процесами клітин впливали на стан і функціонування організмів. Це спонукало до розвитку механізмів сприйняття і використання електромагнітного випромінювання, а також сприяло надбанню засобів захисту від їхнього шкідливого впливу. Живі організми пристосувалися до певного рівня електромагнітних полів, тому різке і значне підвищення цього рівня викликає напруження їх адаптаційно-компенсаторних можливостей.

Із кінця минулого століття відбулися значні зміни в структурі джерел електромагнітного випромінювання, пов'язані з виникненням їхніх нових видів (стільникового й інших видів персональної та мобільної комунікації), освоєнням нових частотних діапазонів теле- і радіомовлення, розвитком засобів дистанційного спостереження та контролю тощо. Особливістю цих джерел є створення рівномірної зони «радіопокриття», що призводить до збільшення електромагнітного фону в навколишньому середовищі [2].

Оскільки еволюція людини як біологічного виду відбувалася за умови відсутності техногенного електромагнітного навантаження, воно спроможне негативним чином впливати на сучасних людей. Особливе занепокоєння у лікарів викликає масове використання мобільних телефонів, тому що результати досліджень біологічного ефекту їхнього радіохвильового випромінювання є суперечливими: від канцерогенної дії на мозок людини до відсутності будь-яких наслідків для здоров'я [7].

Слід зазначити, що життя на Землі розвивалося за умови дії високочастотного радіохвильового випромінювання Сонця і Галактики, оскільки атмосфера Землі має так звані «вікна прозорості» для такого випромінювання. Таким чином, зовнішні природні радіохвилі спроможні регулювати роботу клітин живих організмів. Накладання техногенного радіохвильового випромінювання на природне здатне порушувати роботу

клітин і організмів, серед яких найбільш чутливими до дії електромагнітного випромінювання різних частотних діапазонів є рослини, що пов'язано зі специфікою їхнього харчування і «сидячим» способом життя [8].

Оскільки чутливість фізичних приладів до радіохвильового випромінювання є меншою, ніж чутливість живих організмів, актуальним є розробка біотесту для виявлення просторових меж дії біологічно ефективного (такого, яке впливає на функціонування клітин) радіохвильового випромінювання від мобільних телефонів. Адже у сучасних умовах значного підвищення рівня впливу електромагнітного поля на біосферу і, в першу чергу, на людину, проблема електромагнітної безпеки і захисту природного довкілля, у тому числі й здоров'я населення, виходить на новий рівень актуальності та соціальної значущості як на національному, так і міжнародному рівнях.

Об'єктом дослідження є радіохвильове випромінювання від мобільного телефону.

Предметом дослідження є визначення просторових меж дії біологічно ефективного радіохвильового випромінювання від мобільного телефону.

Метою дослідження є **оцінка** потенційних екологічних ризиків використання мобільних телефонів споживачами за допомогою фітотесту «проростаюче насіння».

Для досягнення поставленої мети необхідно розв'язати такі **наукові завдання**:

- 1) проаналізувати джерела і механізми біологічної дії радіохвильового електромагнітного випромінювання;
- 2) охарактеризувати методи виявлення електромагнітного випромінювання від побутових приладів і чинні нормативи;
- 3) визначити експериментальним шляхом просторові межі дії біологічно ефективного радіохвильового випромінювання від мобільного телефону з використанням фітотесту «проростаюче насіння».

Методи дослідження. Складність досліджуваної теми вимагала застосування ряду методів, кожен із яких дозволяє проаналізувати проблему відповідно до її суті і найбільш ефективним способом:

1) метод аналізу літературних джерел (використовувався при вивченні джерел і механізмів біологічної дії радіохвильового електромагнітного випромінювання);

2) метод узагальнення та синтезу (використовувався при вивченні методів виявлення електромагнітного випромінювання від побутових приладів і чинних нормативів);

3) метод лабораторних досліджень (використовувався при дослідженні просторових меж дії біологічно ефективного радіохвильового випромінювання від мобільного телефону з використанням фітотесту «проростаюче насіння»);

4) статистичний метод (використовувався при аналізі просторових меж дії біологічно ефективного радіохвильового випромінювання від мобільного телефону з використанням фітотесту «проростаюче насіння»).

Практичне значення дослідження полягає у виявленні й оцінці потенційних екологічних ризиків використання мобільних телефонів споживачами за допомогою фітотесту «проростаюче насіння».

4) статистичний метод (використовувався при аналізі морфометричних даних, отриманих під час проведення експериментального дослідження).

Практичне значення дослідження. Отримані експериментальні дані свідчать про можливість використання ростового фітотесту для встановлення просторових меж розповсюдження біологічно ефективного радіохвильового випромінювання від мобільних телефонів, що дозволяє рекомендувати застосування означеної методики для оцінки потенційних ризиків використання мобільних телефонів споживачами.

Апробація результатів роботи. Результати роботи представлені у науковій статті «Виявлення біологічного ефекту радіохвильового випромінювання від мобільних телефонів з використанням ростового фітотесту».

РОЗДІЛ I

РАДІОХВИЛЬОВЕ ЕЛЕКТРОМАГНІТНЕ ВИПРОМІНЮВАННЯ: ДЖЕРЕЛА ТА МЕХАНІЗМ БІОЛОГІЧНОЇ ДІЇ

1.1. Джерела радіохвильового випромінювання

Протягом всього життя людина піддається впливу електромагнітних полів і випромінювань, які бувають як природними, так і техногенно обумовленими [3].

Згідно з Державними санітарними нормами і правил захисту населення від впливу електромагнітних випромінювань (ДСН 239-96) радіочастоти поділяються на 7 діапазонів, що позначаються номерами від 5 до 11 (Табл. 1.1) [35].

Таблиця 1.1

Номенклатура діапазонів частот (хвиль) [35]

№	Діапазон частот	Довжина хвиль	Назва	
			За частотою	За довжиною хвилі
5	Від 30 до 300кГц	Від 10^4 до 10^3 м	Низькі частоти	Кілометрові хвилі
6	Від 300 до 3000 кГц	Від 10^3 до 10^2 м	Середні частоти	Гектометрові хвилі
7	Від 3 до 30 МГц	Від 10^2 до 10 м	Високі частоти	Декаметрові хвилі
8	Від 30 до 300 МГц	Від 10 до 1 м	Дуже високі частоти	Метрові хвилі
9	Від 300 до 3000 МГц	Від 1 до 0,1 м	Ультрависокі частоти	Дециметрові хвилі
10	Від 3 до 30 ГГц	Від 10 до 1 см	Надвисокі частоти	Сантиметрові хвилі
11	Від 30 до 300 ГГц	Від 1 до 0,1 см	Надзвичайно високі частоти	Міліметрові хвилі

Радіохвилі різної довжини поширюються в просторі не однаково.

Довгі, або кілометрові, хвилі (від 1 км до 10 км, частота 300 кГц-30 кГц) піддаються дифракції, тому здатні поширюватися на відстані до 2000 км.

Середні, або гектометрові, хвилі (від 100 м до 1 км, частота 3000 кГц-300 кГц) гірше огинають перешкоди на поверхні Землі, сильніше поглинаються, тому набагато швидше згасають. Вони поширюються на відстані до 1000 км.

Короткі хвилі поводять себе інакше. Якщо налаштувати автомобільний радіоприймач в місті на коротку радіохвилю і почати рухатися, то в міру віддалення від міста прийом радіосигналу буде все гірше, а на відстані приблизно 250 км він припиниться зовсім. Однак через деякий час радіотрансляція відновиться. Уся справа в тому, що радіохвилі короткого діапазону (від 10 м до 100 м, частота 30 МГц-3 МГц) на поверхні Землі згасають дуже швидко. Однак хвилі, що йдуть під великим кутом до горизонту, відбиваються від верхнього шару атмосфери – іоносфери, і повертаються назад, залишаючи позаду себе сотні кілометрів «мертвої зони». Далі ці хвилі відбиваються вже від земної поверхні і знову спрямовуються до іоносфери. Багаторазово відбиваючись, вони здатні кілька разів обігнути земну кулю. Чим коротше хвиля, тим більше кут відбиття від іоносфери. Але вночі іоносфера втрачає відбивну здатність, тому в темний час доби зв'язок на коротких хвилях гірше.

А ультракороткі хвилі (метрові, дециметрові, сантиметрові з довжиною хвилі коротше 10 м), не можуть відбиватися від іоносфери. Поширюючись прямолінійно, вони пронизують її і йдуть вище. Цю властивість використовують для визначення координат повітряних об'єктів: літаків, зграй птахів, рівня і щільності хмар тощо. Але й огинати земну поверхню ультракороткі хвилі теж не можуть. Через те, що вони поширюються в межах прямої видимості, їх застосовують для радіозв'язку на відстані 150-300 км.

За своїми властивостями ультракороткі хвилі близькі до світлових хвиль. Але світлові хвилі можна зібрати в пучок і направити його в потрібне місце. Так влаштовані прожектор і ліхтарик. Точно так само роблять і з ультракороткими хвилями. Їх збирають спеціальними дзеркалами-антенами і

вузький пучок посиляють в потрібному напрямку, що особливо важливо, наприклад, в радіолокації або для супутникового зв'язку.

Міліметрові хвилі (від 1 см до 1 мм), найкоротші хвилі радіодіапазону, схожі з ультракороткими хвилями. Вони також поширюються прямолінійно. Але серйозною перешкодою для них є атмосферні опади, туман, хмари. Крім радіоастрономії та високошвидкісного радіорелейного зв'язку вони знайшли застосування в надзвичайно високочастотній техніці, використовуваній у медицині і побуті.

1.1.1. Природні джерела радіохвильового випромінювання

За допомогою теоретичних досліджень було встановлено, що майже всі радіоастрономічні явища пов'язані з відомими в фізиці механізмами радіовипромінювання: тепловим випромінюванням твердих тіл (планети і малі тіла Сонячної системи); гальмівним випромінюванням теплових електронів в полях іонів космічної плазми (газові туманності в Галактиці, атмосфера Сонця і зірок); магнітогальмівним випромінюванням теплових, субрелятивістських і релятивістських електронів в космічних магнітних полях (активні області на Сонці, пояси радіації навколо деяких планет, радіогалактики, квазари), різними колективними процесами в плазмі (спалахи радіовипромінювання на Сонці і Юпітері [41]).

Також джерелами радіохвиль в природі є блискавки – гігантські електричні іскрові розряди в атмосфері, сила струму в яких може досягати 300 тисяч ампер, а напруга - мільярдів вольт. До речі, вони виникають не тільки на Землі. Їх спалахи були виявлені на Венері, Сатурні, Юпітері, Урані й інших планетах [52].

Космічне випромінювання було відкрито в 1931 американським радіофізиком К. Г. Янським на хвилі близько 15 м. Незважаючи на досить низьку роздільну здатність антени сконструйованого К.Г. Янським

радіотелескопу, в наступні роки він довів, що виявлене ним радіовипромінювання приходить з області Чумацького Шляху [29].

Такі об'єкти називаються радіогалактиками і являють собою, як правило, гігантські сфероїдальні достатньо масивні зоряні системи. Інтерференційні спостереження показують, що області оптичного випромінювання і радіовипромінювання метagalacticних об'єктів не збігаються в просторі: зазвичай останні локалізуються в двох симетрично розташованих по відношенню до оптичного центру хмарах, віддалених від цього центру на відстань в десятки тисяч парсек. У ряді випадків в оптичному центрі радіогалактики спостерігається джерело вельми малих кутових розмірів ($\ll 1$), потік радіовипромінювання від якого досить швидко змінюється з часом. Це свідчить про тривалу активність галактичних ядер, що викидають речовину, з якої утворюються радіовипромінювальні хмари [29].

Поряд з метagalacticними джерелами спостерігаються також галактичні джерела космічного випромінювання. Це – переважно особливі туманності – залишки спалахів наднових зірок (наприклад, Крабовидна туманність). Випромінювання в цьому випадку також є синхротронним. Крім того, в Галактиці (а також в найближчих галактиках, наприклад, в Магелланових хмарах) спостерігаються джерела теплового радіовипромінювання. Останніми є міжзоряні хмари іонізованого газу і звичайні галактичні туманності. Спектр цього випромінювання відмінний від синхротронного, «теплові» джерела спостерігаються переважно на порівняно коротких хвилях. У 1937 Джоселін Белл та його колеги (Великобританія) виявили абсолютно новий тип радіоджерел, які отримали назву «пульсари». Незабаром з'ясувалося, що пульсари – це сильно намагнічені нейтронні зірки, що швидко обертаються, і були утворені після вибухів наднових зірок. Всі згадувані вище джерела космічного випромінювання характеризуються безперервним спектром. Поряд з цим у ряді випадків спостерігаються окремі спектральні радіолінії, причому як в випромінюванні, так і в поглинанні. Найбільш важливою з них є лінія водню з довжиною хвилі 21 см [29].

Будучи постійно чинним екологічним фактором, ці поля багато в чому визначають еволюційні процеси біосфери Землі, в тому числі і людини. Наприклад, резонансні частоти Шумана (явище утворення стоячих електромагнітних хвиль низьких і наднизьких частот між поверхнею Землі і іоносферою), викликані грозовими розрядами, корелюють з ритмами роботи мозку людини [28].

1.1.2. Техногенні джерела радіохвильового випромінювання

Штучні джерела електромагнітного випромінювання радіохвильового діапазону можна умовно поділити на дві групи:

- технічні засоби, спеціально створені для випромінювання енергії радіохвильового спектру, до яких можна віднести різні системи зв'язку, радіолокаційні установки, радіо- і телевізійні мовні станції, окремі види фізіотерапевтичного і діагностичного устаткування, а також технологічні установки в промисловості з використання енергії електромагнітного випромінювання;

- технічні засоби і вироби, які створюють в зовнішньому просторі паразитні електромагнітні випромінювання, які не пов'язані з їх функціональним призначенням. До них відносять: системи передачі і розподілу електроенергії (лінії електропередач, трансформаторні підстанції) і прилади, які споживають її (електроплити, електронагрівачі, холодильники, телевізори, освітлювальні прилади тощо) [28].

У своїй повсякденній діяльності людина має справу з радіочастотними полями, до яких відносять: монітори і відеодисплеї (3-30 кГц), радіозв'язок і радіомовлення (30 кГц-3 МГц), промислові індукційні нагрівачі, радіочастотні апарати для термосварки, апаратура для медичної діатермії (30кГц-30МГц), радіомовлення на основі частотної модуляції (30-300 МГц), телемовлення, мобільні телефони, мікрохвильові печі, апаратура для медичної діатермії (0,3-3 ГГц), радары, супутникові лінії зв'язку, понадвисокочастотний зв'язок (3-

30 ГГц), а також різне радіотехнічне обладнання надзвичайно високого і гіпервисокого діапазонів (3-300 ГГц).

Радіочастотні поля є неіонізуючим випромінюванням. На відміну від іонізуючого випромінювання (рентгенівських променів і гамма-променів), вони слабкі для того, щоб розірвати зв'язки, які утримують разом молекули в клітинах, і, таким чином, викликати процеси іонізації. Однак радіочастотні поля можуть надавати різний вплив на біологічні системи, такі як клітини, рослини, тварини і людина. Характер цього впливу залежить від частоти і напруженості радіочастного поля [16].

Лінії електропередач. Дроти лінії електропередачі, що працює, створюють в прилеглому просторі електромагнітні поля промислової частоти. Відстань, на яку поширюються ці поля від проводів лінії, досягає десятків метрів. Дальність, поширення і величина поля залежить від класу напруги лінії електропередачі (цифра, що позначає клас напруги стоїть в назві - наприклад, лінія електропередачі 220 кВ). Чим вище напруга, тим більше зона підвищеного рівня електромагнітного поля, при цьому розміри зони не змінюються протягом часу роботи лінії електропередач, оскільки навантаження лінії електропередачі може неодноразово змінюватися як протягом доби, так і зі зміною сезонів року, розміри зони підвищеного рівня магнітного поля також змінюються [16].

Побутові електроприлади. Найбільш потужними слід визнати ПВЧ-печі, аерогрилі, холодильники з системою «no frost», електроплити, телевізори, комп'ютери. Реально створюване електромагнітне поле залежно від конкретної моделі і режиму роботи може сильно відрізнитися серед устаткування одного типу. Значення електромагнітного поля тісно пов'язані з потужністю приладу. Причому ступінь забруднення збільшується в геометричній прогресії зі збільшенням потужності [16].

Функціональні передавачі. Радіолокаційні системи працюють на частотах від 500 МГц до 15 ГГц, проте окремі системи можуть працювати на частотах до 100 ГГц. Створюваний ними електромагнітний сигнал принципово відрізняється від випромінювання інших джерел. Пов'язано це з тим, що

періодичне переміщення антени в просторі призводить до просторової уривчастості опромінення. Тимчасова уривчастість опромінення обумовлена циклічністю роботи радіолокатора на випромінювання. Час напрацювання в різних режимах роботи радіотехнічних засобів може обчислюватися від декількох годин до доби. Так, у метеорологічних радіолокаторів з тимчасовою переривчастістю 30 хв – випромінювання, 30 хв – пауза, сумарне напрацювання не перевищує 12 год, в той час як радіолокаційні станції аеропортів в більшості випадків працюють цілодобово. Радари метеорологічні можуть створювати на видаленні 1 км щільність потоку енергії $\sim 100 \text{ Вт/м}^2$ за кожен цикл опромінення. Радіолокаційні станції аеропортів створюють щільність потоку енергії $\sim 0,5 \text{ Вт/м}^2$ на відстані 60 м. Морське радіолокаційне обладнання встановлюється на всіх кораблях, зазвичай воно має потужність передавача на порядок меншу, ніж у аеродромних радарів, тому в звичайному режимі сканування щільність потоку енергії, що створюється на відстані декількох метрів, не перевищує 10 Вт/м^2 . Зростання потужності радіолокаторів різного призначення і використання гостронаправлених антен кругового огляду призводить до значного збільшення інтенсивності електромагнітного випромінювання понадвисокого діапазону і створює на місцевості зони великої протяжності з високою щільністю потоку енергії. Найбільш несприятливі умови відзначаються в житлових районах міст, в межах яких розміщуються аеропорти [16].

Мобільний зв'язок. Основними елементами системи мобільного зв'язку є базові станції і мобільні телефони. Базові станції підтримують радіозв'язок з мобільними телефонами, внаслідок чого базові станції і мобільні телефони є джерелами електромагнітного випромінювання. Важливою особливістю системи стільникового радіозв'язку є вельми ефективне використання для роботи системи радіочастотного спектру (багаторазове використання одних і тих же частот, застосування різних методів доступу), що робить можливим забезпечення телефонним зв'язком значного числа абонентів. У роботі системи застосовується принцип поділу території на зони, або «стільники», радіусом

зазвичай 0,5-10 кілометрів. Базові станції підтримують зв'язок з розташованими в їх зоні дії мобільними телефонами і працюють в режимі прийому і передачі сигналу. Залежно від стандарту, базові станції випромінюють електромагнітну енергію в діапазоні частот від 463 до 1880 МГц. Базові станції є видом передавальних радіотехнічних об'єктів, потужність випромінювання яких (завантаження) не є постійною 24 години на добу. Завантаження визначається наявністю власників стільникових телефонів в зоні обслуговування конкретної базової станції та їхнім бажанням скористатися телефоном для розмови, що, в свою чергу, докорінно залежить від часу доби, місця розташування базової станції, дня тижня тощо. У нічний час завантаження базових станції практично дорівнює нулю. Мобільний телефон являє собою малогабаритний приймач. Залежно від стандарту телефону, передача ведеться в діапазоні частот 453-1785 МГц. Потужність випромінювання мобільного телефону є величиною змінною, у значній мірі залежить від стану каналу зв'язку «мобільний телефон – базова станція». Чим вищий рівень сигналу базової станції у місці прийому, тим менша потужність випромінювання мобільного телефону. Максимальна потужність знаходиться в межах 0,125-1 Вт, однак в реальній обстановці вона зазвичай не перевищує 0,05 - 0,2 Вт [16].

Супутниковий зв'язок. Системи супутникового зв'язку складаються з приймально-передавальної станції на Землі і супутника, що знаходиться на орбіті. Діаграма спрямованості антени станцій супутникового зв'язку має яскраво виражений вузькоспрямований основний промінь – головний пелюсток. Щільність потоку енергії в головному пелюстку діаграми спрямованості може досягати декількох сотень Вт/м² поблизу антени, створюючи також значні рівні поля на великій відстані. Наприклад, станція потужністю 225 кВт, що працює на частоті 2,38 ГГц, створює на відстані 100 км щільність потоку енергії дорівнює 2,8 Вт/м². Однак розсіювання енергії від основного променя дуже невелике і відбувається найбільше в районі розміщення антени [16].

Теле- і радіостанції. Телевізійні передавачі розташовуються, як правило, в містах. Передавальні антени розміщуються зазвичай на висоті вище 110 м. З точки зору оцінки впливу на здоров'я, інтерес представляють рівні поля на відстані від декількох десятків метрів до декількох кілометрів. Типові значення напруженості електричного поля можуть досягати 15 В/м на відстані 1 км від передавача потужністю 1 МВт. Широко розповсюдженими джерелами електромагнітного випромінювання в населених пунктах у нас час є радіотехнічні передавальні центри, що випромінюють в навколишнє середовище електромагнітні хвилі високої і ультрависокої частот [16].

Переносні телефони. Для роботи переносних телефонів потрібно набагато менш інтенсивне поле, ніж для мобільних телефонів. Це пов'язано з тим, що вони використовуються зовсім близько від своєї бази, а тому немає необхідності в сильному полі, як це було б у разі передачі сигналу на велику відстань. Відповідно, радіочастотні поля навколо цих телефонів зовсім незначні [16].

Електропотяги і трамваї. Потяги далекого прямування мають один або кілька моторних відсіків, розташованих в окремих вагонах. Таким чином, пасажери відчувають вплив полів, в основному, від електрики, що подається в поїзд. Магнітні поля в пасажирських вагонах поїздів далекого прямування можуть досягати декількох сотень мТл на рівні підлоги і більш низьких значень (десятків мТл) в інших місцях в купе. Сила електричного поля може досягати 300 В/м. Люди, що живуть поблизу залізничних колій, можуть відчувати вплив магнітних полів від ліній електропроводів залізниці, причому сила цих полів, в залежності від кожної конкретної країни, може бути порівняна з силою полів навколо високовольтних ліній електропередач [16].

Двигуни і тягове обладнання поїздів і трамваїв зазвичай розташовується внизу, під пасажирськими вагонами. На рівні підлоги інтенсивність магнітного поля може досягати десятків мТл (на тих ділянках підлоги, які перебувають прямо над двигуном). Однак, чим вище від підлоги, тим швидше зменшується

інтенсивність поля, і його вплив на верхню частину тулуба пасажирів значно слабший [16].

1.2. Механізми біологічної дії радіохвильового випромінювання

За останні 30 років опубліковано близько 25 тисяч статей з проблем біологічних ефектів і медичного застосування неіонізуючого випромінювання [10].

Протягом XX століття вплив антропогенних електромагнітних полів в навколишньому середовищі неухильно зростає в міру того, як збільшувався попит на електроенергію, технології, що постійно розвиваються і змінюються. Форми соціальної поведінки приводили до створення дедалі більшої кількості штучних джерел електромагнітного випромінювання. На кожну людину впливає цілий комплекс слабких електричних і магнітних полів, як вдома, так і на роботі, у результаті виробництва і передачі електроенергії, використання побутової техніки і промислового устаткування, засобів телекомунікації та радіо- і телемовлення [10].

За останні 50 років добова потужність радіовипромінювання сумарно зросла більше, ніж в 50 тисяч разів. І це без урахування потужності радіолокаційних станцій, що належать різним військовим відомствам [50].

У ході численних досліджень радіобіології прийшли до невтішного висновку – тривале випромінювання електромагнітних хвиль може стати причиною «вибуху» хвороб, тобто воно викликає бурхливий розвиток патологічних процесів в організмі людини. Причому багато яких вносять порушення на генетичному рівні. Це відбувається через те, що у електромагнітного поля високий рівень біологічної активності, що негативно впливає на живі організми.

Фактор впливу залежить від наступних складових:

- характеру виробленого випромінювання;
- як довго і з якою інтенсивністю воно триває [19].

Єдиної теорії про механізм впливу електромагнітного випромінювання на організм людини і тварин поки немає [7].

Електромагнітне випромінювання індукуює струми Фарадея в живих тканинах, призводить до утворення вільних радикалів, спотворює вільну передачу енергії пов'язаним іонам на поверхні клітин.

При дії електромагнітного випромінювання кисень в тканинах організму змінює свою функцію, а вода – ступінь поляризації і свої властивості як розчинника, що призводить до порушення міжклітинних зв'язків, зміни структури клітинних мембран, ДНК і реакції амінокислот, до порушення протікання іонних метаболічних реакцій тощо. Організм людини і тварин дуже чутливий до впливу радіочастот. До критичних органів і систем відносяться центральна нервова система, очі, гонади, кровотворна система, причому перелік шкідливої дії електромагнітного випромінювання на людину весь час зростає. Так, наприклад, проведення соціально-гігієнічного моніторингу у школярів, які проживають на території, прилеглій до потужного радіотелецентра, показало, що у них частіше проявляються порушення показників фізичного і статевого розвитку, функціональні відхилення з боку нервової, серцево-судинної та ендокринної систем.

В експериментах показано, що вплив електромагнітного випромінювання промислової частоти на щурів призводить до розвитку лейкопенії, зниження фагоцитарної активності моноцитів, зміни ферментативної активності клітин червоної і білої крові, а вплив електромагнітного випромінювання діапазону частот стільникового зв'язку не тільки впливає на показники імунної системи, а й призводить до морфологічних змін у нервовій системі, що істотно змінює поведінку тварин, приводячи до неадекватних реакцій. Вплив електромагнітного випромінювання на ембріони тварин призводило до їх загибелі або виникнення вад розвитку [7].

Одним з найбільш поширених джерел електромагнітного випромінювання є персональний комп'ютер. Показано, що під дією електромагнітного випромінювання персонального комп'ютера змінюється мінеральний обмін, що відбивається на екскреції з сечею заліза, кальцію, фосфору, магнію, алюмінію, барію, хрому, калію, марганцю, сірки тощо. Це, в

свою чергу, змінює потреби організму в макро- і мікроелементах. У період відновлення після роботи на комп'ютері у школярів гальмуються процеси запам'ятовування і навчання: так, у школярів 9 років після 10 хвилин роботи на комп'ютері відзначено зниження оперативної пам'яті в середньому на 20% і порушення у взаємодії між правою і лівою півкулями на 12-15%.

У професійних користувачів комп'ютерів достовірно частіше зустрічаються вегетосудинна дистонія, зміна церебральної гемодинаміки за даними реоенцефалографії, дисбаланс лейкоцитарної формули, захворювання нервової системи, опорно-рухового апарату тощо. У жінок, які більше 20 годин на тиждень користуються комп'ютерними терміналами, ризик викидня вищий на 80%. Використання персонального комп'ютера сьогодні не має вікових обмежень, і користувачі, особливо діти, не обмежують себе в часі, хоча допустимий час роботи за персональним комп'ютером для здорового школяра становить в середньому 20 хвилин. Крім того, за даними гігієнічних моніторингів, в школах повністю відповідають гігієнічним стандартам лише 15-20% персональних комп'ютерів [7].

У літературі обговорюється проблема схильності осіб, пов'язаних за родом професії із впливом електромагнітного випромінювання промислових частот, до розвитку хвороби Альцгеймера, а також бічного аміотрофічного склерозу. Передбачається, що в основі патогенезу даних захворювань лежить порушення гомеостазу іонів кальцію в нейронах, активація клітин мікроглії і їхня подальша дегенерація, а також стимулюючий вплив електромагнітного випромінювання на продукцію бета-амілоїду [24, 25].

Результатом хронічного впливу електромагнітного випромінювання високих і надвисоких частот є зміни з боку серцево-судинної системи: зниження артеріального тиску, брадикардія, уповільнення внутрішньошлуночкової провідності, а також дисбаланс змісту іонів калію, кальцію й натрію в крові [28].

Відзначено збільшення кількості випадків серцево-судинних захворювань – ішемічної хвороби серця і гіпертонічної хвороби в машиністів

електролокомотивів і метрополітену, гіпертонічної хвороби й нейроциркуляторної дистонії за кардиальним типом в регулювальників радіопередаючих пристроїв зв'язку високочастотного діапазону [12, 30, 40].

У науковій літературі розглядаються питання впливу електромагнітного випромінювання на репродуктивну функцію організму. Так, результати дослідження репродуктивної функції чоловіків, що обслуговували трансформаторні установки із середньою величиною напруги в 400 кВ, показали зниження питомого числа новонароджених хлопчиків, а також збільшення більше, ніж в 3 рази, кількості вроджених аномалій у порівнянні з контрольною групою, що працювали з устаткуванням, у якому величина напруги струму не перевищувала 70 кВ. Підтверджено збільшення розвитку онкологічної патології в дітей від 2,4-3,6 разів, чиї батьки працювали в електроіндустрії, в 3,5 – у дітей електриків, в 3,8 рази – у дітей зварщиків [39].

Вивчено вплив змінних магнітних полів 120-200 кА/м (150-250 мТл) намагнічуючих і розмагнічуючих електроустановок на репродуктивну функцію жінок. Виявлено порушення менструального циклу (його подовження й більш раннє настання менопаузи), виникнення доброякісних пухлин і кист яєчників, збільшення частоти спонтанних абортів (у 1,5 рази), виникнення різних обмінних і нейроендокринних захворювань [46].

Порівняно нещодавно в зону підвищеної уваги потрапила проблема чутливості комп'ютерного монітора до зовнішнього магнітного поля, що може бути причиною тремтіння зображення. Утома, зниження концентрації уваги, працездатності, що виникають при роботі з персональним комп'ютером, звичайно пов'язані з незадовільною якістю зображення [4, 5].

Останнім часом з'явилася велика кількість робіт, у яких розглядаються питання кореляції між тривалим впливом електромагнітного випромінювання із розвитком лейкозів й інших ракових захворювань у людини. Є результати досліджень захворюваності дорослого населення, що проживає в зонах розташування великих радіо- і телепередавачів [41].

Украї суперечливими є відомості про вплив електромагнітного випромінювання від побутових приладів на онкологічну захворюваність. Статистично достовірний ризик онкологічної патології був виявлений при довготривалому впливі електромагнітного випромінювання від електрофену (лейкози), чорно-білих телевізорів (лейкози), електромасажу (гострий нелімфоїдний лейкоз) [2, 28, 52].

Однак пряма роль електромагнітного випромінювання як мутагенного фактору або ініціатора канцерогенезу остаточно не встановлена. У зв'язку з тим, що останнім часом широкого поширення отримав мобільний зв'язок, найбільш гостро постає питання розгляду механізмів дії високоенергетичного електромагнітного випромінювання, що відносяться до мікрохвильового діапазону [13].

Область опромінення під час роботи телефону – головний мозок і рецептори вестибулярного й зорового аналізаторів. Тривалий вплив гранично допустимих доз випромінювання призводить до посилення хвиль альфа-діапазону біоелектричної активності головного мозку під час і після вимикання електромагнітного випромінювання. Особливому ризику піддаються люди, що розмовляють по телефону усередині автомобіля. Якщо антена апарата перебуває усередині автомобіля, то її корпус є резонатором, що в декілька разів підсилює дозу поглиненого випромінювання [37].

У зв'язку з окремими повідомленнями про розвиток пухлин головного мозку в користувачів мобільного зв'язку останнім часом особлива увага приділяється негативним ефектам електромагнітного випромінювання, що виникають при його роботі. Локальний вплив електромагнітного випромінювання інтенсивністю 10 МГц-10 ГГц веде до інтенсивного нагрівання структур головного мозку, що може призводити до розвитку раку. Величина електромагнітного випромінювання стільникового зв'язку порівняна з тими, які виникають при роботі радарних, радіолокаційних станцій, приладів ПВЧ-нагріву [64].

Відомі роботи про вплив електромагнітного випромінювання радіохвильового діапазону на органи зору й розвиток катаракти. Тепловий вплив радіо- і мікрохвиль приводить до нагрівання кришталика до температури, що перевищує фізіологічну норму. Розвиток катаракти є одним зі специфічних уражень електромагнітного випромінювання у діапазоні частот 1,5-10 ГГц [43]. Є повідомлення про високий ризик порушень функцій шлунково-кишечного тракту (в 2,5 рази) і печінки (в 2,3 рази), а також патології ендокринної системи серед контингенту осіб, що проживають у зоні ліній електропередач [20, 21].

Однак, вищенаведеним результатам досліджень властива обмежена статистична значимість, що не дозволяє зробити більш переконливі висновки про негативний вплив електромагнітних полів і патогенез виявленої симптоматології.

Отже, радіохвильове випромінювання має різні частоти (від дуже низьких до гіпервисоких) і довжину хвиль (міріаметрових до дециміліметрових), що впливає на їх особливості. Залежно від природи розрізняють природні і техногенні джерела електромагнітного випромінювання. До основних природних джерел електромагнітного випромінювання відносяться радіовипромінювання Сонця і галактик (реліктове випромінювання, рівномірно поширене у Всесвіті), електричне і магнітне поля Землі, атмосферна електрика. Велику групу техногенних джерел електромагнітного випромінювання складають функціональні передавачі – радари, системи стільникового і супутникового зв'язку, радіомовні станції, побутові електроприлади. Електромагнітне випромінювання здатне викликати функціональні і біологічні несприятливі ефекти в організмі. Біологічними дослідженнями встановлено, що найбільш чутливими до впливу електромагнітного випромінювання є: центральна нервова система, очі, гонади, кровотворна система.

РОЗДІЛ II

МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕННЯ ЕЛЕКТРОМАГНІТНОГО ВИПРОМІНЮВАННЯ РАДІОХВИЛЬОВОГО ДІАПАЗОНУ ВІД ПОБУТОВИХ ПРИЛАДІВ

2.1. Прилади для вимірювання радіохвильового випромінювання в навколишньому середовищі

Перелік можливих властивостей апаратури моніторингу електромагнітного випромінювання є результатом підсумовування характеристик реальних приладів. Слід визнати, що можливості багатьох приладів, які випускаються у наш час, не в повну міру відповідають тим вимогам, виконання яких необхідне для проведення повноцінного моніторингу згідно з чинними нормативами [21].

Для електромагнітного випромінювання радіочастотного діапазону, створюваного різними джерелами: радіомовними і телевізійними передавачами, медичним обладнанням, радарам, передавачами систем радіо- і стільникового зв'язку, мікрохвильовими печами і т. п., можна використовувати вимірювачі електромагнітного випромінювання EMR-20 і EMR-30. Вони працюють в діапазоні частот від 100 кГц до 3 ГГц, при цьому датчиками поля є трикомпонентні антени, що забезпечують ізотропну діаграму спрямованості. Динамічний діапазон від 1 до 800 В/м [22].

Характеристики (функціональні і сервісні) зазначених приладів:

- показання приладу у відсотках від встановлюваного граничного значення;
- висока точність вимірювань з автоматичним настроюванням нульового рівня;

- безпосереднє підключення до персонального комп'ютера через волоконно-оптичний двонаправлений послідовний інтерфейс V.24 (RS 232) для передачі результатів вимірювань, дистанційного керування і калібрування;
- зберігання 1500 значень результатів вимірювань (тільки для EMR-30);
- обробка отриманих даних за допомогою широкодоступних програм (наприклад, Microsoft® Excel™);
- EMR-30 дозволяє проводити вимірювання з просторовим усередненням [22].

Перелік приладів для вимірювання радіочастотного випромінювання наведений у Табл. 2.1.

Таблиця 2.1

**Прилади для вимірювання електромагнітного випромінювання в
діапазоні радіочастот [22]**

Назва приладу	Вимірювана величина	Діапазон (мТл)	Похибка (дБ)	Живлення
Вимірювач напруженості поля ПЗ-16 (ПЗ-15, ПЗ-17)	Середньоквадратичне значення напруженості Електричне поле: 0,01-300 МГц Магнітне поле: 0,01-30 МГц	Електричне поле: 1-1000 В/м Магнітне поле: 0,5-16 А/м	3	Автономне (батарея)
Вимірювач напруженості поля ПЗ-21	Середньоквадратичне значення напруженості Електричне поле: 0,01-300 МГц Магнітне поле: 0,01-30 МГц	Електричне поле: 1-1000 В/м Магнітне поле: 0,5-16 А/м	3	Автономне (батарея)
Вимірювач напруженості поля ПЗ-22 (ПЗ22/2, ПЗ22/3, ПЗ22/4)	Середньоквадратичне значення напруженості Електричне поле: 0,01-300 МГц Магнітне поле: 0,01-300 МГц	Електричне поле: 1-3000 В/м Магнітне поле: 0,1-500 А/м	2,5	Автономне (батарея)
Вимірювач магнітної індукції промислової частоти ІМП-50	Середнє значення 0,3–39,65 ГГц	(0,32–10) мкВт/см ² (3,2–10) мВт/см	2	Автономне (батарея)

Вимірювання проводять при максимальній потужності в зоні знаходження людей по висоті від рівня підлоги до 2 м через 0,5 м.

Для вимірювань використовують такі прилади: ИЕП-04, ИЕП-05 (для вимірювання частоти 50Гц); ПЗ-15, ПЗ-16, ПЗ-17 (для вимірювання частоти 10 кГц...300 МГц); ПЗ-41 (для вимірювання густини потоку енергії за частоти 300 МГц...37,5 ГГц) [51].

ИЕП-04 – вимірювач напруженості електричної складової змінного електричного поля, входить в комплект вимірювачів електричних і магнітних полів «Циклон-04», призначений для сертифікаційних випробувань комп'ютерної і офісної техніки. Вимірювач оснащений дисковою антеною для контролю випромінювання комп'ютерної техніки, а також дипольною антеною для контролю електричного випромінювання від будь-яких інших технічних засобів і в навколишньому середовищі.

Вимірювач ПЗ-41 призначений для виявлення і контролю біологічно небезпечних рівнів електромагнітного випромінювання, напруженості.

ВЕ-МЕТР-АТ-003 – вимірювач параметрів електричного і магнітного полів трикомпонентний призначений для проведення вимірювань під час атестації робочих місць операторів комп'ютерів [51].

Для вимірювань електричних і магнітних полів на робочих місцях використовуються прилади ІСП-01, ИЕП-05, ІМП-05/2, ІМП-05/1. Дані прилади восени 2005 року включені у Реєстр затверджених типів вимірювальної техніки України і призначені для виміру саме тих полів, що можуть реально існувати на робочих місцях з персональними комп'ютерами не залежно від типів і характеристик установлених на них моніторів з тими рівнями полів, що реально існують на таких робочих місцях [51].

Завдяки малим розмірам, якості та надійності комплектуючих, сучасні вимірювальні пристрої стали автономними, мобільними, простими у використанні та мають високі показники точності вимірювання дослідних значень відповідних величин. Так, для вимірювання індукції магнітного поля можна скористатися тестером електромагнітного поля TES-1394. Встановлене

програмне забезпечення на персональний комп'ютер дозволяє фіксувати значення індукції магнітного поля, а в подальшому обробляти отримані дані [44].

2.2. Методи оцінки рівня радіохвильового випромінювання. Чинні нормативи

Існують три методи вимірювання електричних полів:

1. Метод оцінки напруженості поля за різницею потенціалів між електродами, що перебувають у полі.
2. Метод вимірювання величини заряду, що індукується полем на поверхні провідника, що знаходиться в останньому.
3. Метод аналізу впливу поля на рух електронів або іонів [6].

Методи вимірювання магнітних полів можна класифікувати за принципом вимірювання та використанням засобів вимірювальної техніки.

Індукційний метод ґрунтується на вимірюванні електрорушійної сили у витках котушки під час зміни діючого на нього магнітного потоку.

Протонно-прецесійний метод оснований на принципі орієнтування ядер атомів зовнішнім магнітним полем так, щоб власні магнітні моменти ядер (протонів) повернулися вздовж поля.

Надпровідний метод ґрунтується на ефекті Джозефсона – протіканні напівпровідного струму через тонкий шар діелектрика, що розділяє два напівпровідники [6].

Наказом Міністерства охорони здоров'я України від 18.12.2002 № 476 з 01.04.2003 введено в дію «Державні санітарні норми і правила при роботі з джерелами електромагнітних полів» [15]. Раніше, у 1996 р. наказом Міністерства охорони здоров'я України від 01.08.1996 № 239 було затверджено «Державні санітарні норми і правила захисту населення від впливу електромагнітних випромінювань» [14]. До офіційного введення цих Норм і Правил в країні діяли відповідні норми і правила колишнього СРСР [38].

В основу гігієнічних норм впливів електромагнітного випромінювання закладено принцип, відповідно до якого безпечним для людини є гранично допустимі рівні електромагнітних полів, вплив яких не повинен викликати захворювання або відхилення у стані здоров'я людини в момент впливу або в пролонгований період. Гігієнічні нормативи в Україні розробляють компетентні установи, як правило, на підставі комплексних досліджень, що включають у себе гігієнічні, клініко-фізіологічні, епідеміологічні та експериментальні дослідження. За результатами цих досліджень визначається поріг шкідливої дії, тобто такий вплив електромагнітного випромінювання, за якого в організмі відбуваються зміни життєвих процесів, що виходять за межі припустимих відхилень [38].

З метою захисту населення від впливу електромагнітного випромінювання встановлюються санітарно-захисні зони – земельні ділянки, межі яких регламентуються по обидва боки від повітряних ліній електропередачі на певній відстані від проекції крайніх фазних проводів на землю, у перпендикулярному до ліній електропередачі напрямку. Санітарно-захисною зоною вважається територія, на якій рівень напруженості електричного поля перевищує 1 кВ/м.

Останніми роками велика увага вітчизняних фахівців з охорони праці приділена електромагнітній безпеці [59, 74].

Це пов'язано з тим, що низка міжнародних комісій досліджували вплив електромагнітного випромінювання на стан здоров'я людини [59]. Висновки комісій вказали на канцерогенність електромагнітного поля промислових частот, що при тривалому перебуванні в зоні дії полів можуть з'явитися негативні наслідки в роботі серцево-судинної, імунної, ендокринної та статеві систем [45].

Зараз в Україні діють наступні нормативи з електромагнітної безпеки: ДСН 239-96 «Державні санітарні норми і правила захисту населення від впливу електромагнітних випромінювань» і СанПін 3.3.6.096–2002 [14, 15].

У роботі [45] автором зазначено, що вказані нормативи мають істотні розбіжності, а саме у застосуванні різних гранично допустимих рівнів випромінювання електромагнітного випромінювання та визначенні впливу від декількох джерел електромагнітного випромінювання. Наказ Міністерства охрони здоров'я України 27.11.2017 № 1477 «Про внесення змін до Державних санітарних норм і правил захисту населення від впливу електромагнітних випромінювань» [36] розглядає зміни значення гранично допустимого рівня тільки у дуже високих, ультрависоких, надвисоких і надзвичайно високих частотах. Стосовно низьких (промислових) частот гранично допустимі рівні у Наказі Міністерства охрони здоров'я України «Про внесення змін до Державних санітарних норм і правил захисту населення від впливу електромагнітних випромінювань» [36] співпадають з Державними санітарними нормами і правилами захисту населення від впливу електромагнітних випромінювань ДСН 239-96 [14].

Слід зазначити ще одну проблему, а саме неузгодженість нормативів електромагнітної безпеки в Україні з електромагнітною сумісністю технічних засобів. Так, завдяки Наказу Міністерства економічного розвитку України від 29.12.14 № 1483 з 01.01.2016 р. в Україні вступили в дію загальноєвропейські нормативи з електромагнітної сумісності [34, 55, 58, 61, 62, 70, 71]. Завдяки введеним документам рівень електромагнітної безпеки працюючих підвищується за рахунок нормування амплітуд електричного струму промислової частоти та підвищується стабільність роботи обладнання. Негативним моментом введення зазначених норм є їх жорсткість, а саме, несумісність нормованих умов роботи людей з нормативними умовами роботи технічних засобів [45].

У роботі [45] автором встановлено, що національні значення гранично допустимого рівня електромагнітного випромінювання у виробничих умовах значно перевищують гранично допустимий рівень згідно з міжнародними нормативами International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection [60].

Для порівняння в табл. 2.2 наведено гранично допустимий рівень значень електромагнітного випромінювання у різних країнах світу.

Таблиця 2.2

Допустимі рівні значень електромагнітного випромінювання у різних країнах світу [45]

Країна	Регламентуючий документ	Рівень магнітної індукції, мкТл	
		Для промислових приміщень	Для громадських приміщень
Рекомендації ЄС	ICNIRP 1998	500 мкТл	100 мкТл
	ICNIRP 2010	1000 мкТл	200 мкТл
	EU 2013	0,4 мкТ ... 3000 мкТл	360 мкТл
США	ICES 2002	2710 мкТл	904 мкТл (15 мкТл)
Україна	ДСНіП 3.3.6.096-2002	1750 мкТл	
Австралія	ARPANSA 2007	500 мкТл	100 мкТл
Латвія	EU 2013	0,4 мкТл	0,4 мкТл
Германія	EU 2013 Law 04	1358 мкТл	424 мкТл
Велика Британія, Нідерланди	EU 2013	1000 мкТл	100 мкТл
		0,4 мкТл	0,2 мкТл
Італія	N.104,6/5/1992. 2003	100 мкТл	10 мкТ; 3 мкТл
Росія	СанПиН 2.2.4.3359-16	1000 мкТл	100 мкТл
Швеція, Швейцарія		0,25 мкТл	

У підсумку аналіз нормативної бази дозволяє зазначити неузгодженість національних нормативних документів між собою та розбіжність з міжнародними стандартами [45].

2.3. Використання методів біотестування для оцінки біологічної дії радіохвильового випромінювання в навколишньому середовищі

У системі контролю стану природних середовищ і екосистем важливу і самостійну роль виконує біотестування [1]. Оцінка методами біотестування щороку набуває все більшої актуальності, оскільки стрімко зростає кількість небезпечних чинників антропогенного походження [26].

Біотестування – це процедура встановлення токсичності середовища за допомогою тест-об'єктів, що сигналізують про небезпеку незалежно від того, які речовини й у якому сполученні викликають зміни життєво важливих функцій у тест-об'єктів [49].

Тест-об'єкт – це організм, який використовується при оцінці токсичності хімічних речовин, присутніх у природних і стічних водах, ґрунтах, донних відкладеннях, кормах тощо [49].

Тест-об'єкти – так звані "датчики" сигнальної інформації про токсичність середовища й замітники складних хімічних аналізів, що дозволяють оперативно констатувати факт токсичності (отруйності, шкідливості) середовища («так» або «ні»), незалежно від того, чи обумовлена вона наявністю однієї точно визначеної аналітично речовини або цілого комплексу аналітично не визначених речовин або чинників [49].

Важлива умова правильного проведення біотестування – використання генетично однорідних лабораторних культур, тому що вони проходять перевірки чутливості, утримуються в спеціальних, обговорених стандартами лабораторних умовах, що забезпечують необхідну подібність і відтворюваність результатів досліджень, а також максимальну чутливість до токсичних речовин [49].

Методи біотестування дозволяють об'єктивно і комплексно оцінювати вплив речовин на організм і його життєві процеси. Біотестування є методичним прийомом, що базується на оцінюванні впливу фактору середовища на організм і передбачає цілеспрямоване використання живих тест-організмів для визначення токсичності водних зразків. Методи біотестування дозволяють оцінювати токсичність середовища незалежно від кількісного і якісного вмісту

шкідливих речовин. Відомо, що живі об'єкти здатні відчувати токсичну дію речовин у кількостях, що навіть не реєструються технічними засобами [26].

Методи біотестування мають певні недоліки, особливо при використанні поодиноких біотестів. Результати біотестування не можуть розглядатися як єдиний метод оцінювання і мають доповнюватися даними хіміко-аналітичних досліджень. Крім того, попри простоту і ефективність методу біотестування ще й досі тривають дискусії щодо питання екстраполяції одержаних результатів на організм людини [26].

Біотестування використовується для визначення ступеня пошкоджуючого впливу абіотичних і біотичних чинників потенційно небезпечних для живих організмів шляхом реєстрації змін біологічно значимих показників дослідних тест-об'єктів із наступною оцінкою їх стану у відповідності з обраним критерієм токсичності [32].

Дослідження, проведені Liboff A.R. з колегами (1984) [68], показали, що фібробласти людини починають посилений синтез ДНК при впливі синусоїдальних магнітних полів широкого діапазону частот (від 15 Гц до 4 кГц) і амплітуд напруженості поля (від $2,3 \times 10^{-6}$ до $5,6 \times 10^{-4}$ Тл). За оцінками, поріг стимулюючого ефекту для синтезу ДНК становить від $0,5 \times 10^{-5}$ до $2,5 \times 10^{-5}$ Тл в секунду.

Діапазон протестованих Liboff A.R. з колегами (1984) амплітуд магнітного поля охоплює і геомагнітне поле Землі, що дозволило авторам роботи припустити можливість мутагенного впливу збурень геомагнітного поля Землі на клітини, які діляться. Крім того, виходячи з потенційної мутагенності збурень геомагнітного поля Землі, було зроблено висновок про можливу еволюційну роль в розвитку життя на Землі реверсій геомагнітного поля, які багаторазово відбувалися в геологічній історії нашої планети.

Krylov V.V. з колегами (2013) [67] встановили, що зниження сили геомагнітного поля Землі зменшує розмір потомства рачків дафній і тривалість їх життя. При нульовому геомагнітному полі – спостерігається затримка вступу особин в репродукцію. Реверсії магнітного поля (зміна магнітних полюсів) –

також негативно впливали на розміри дафній, затримували вступ дафній в репродуктивний цикл, знижували життєздатність нащадків.

Temur'yants N.A. з колегами (2016) [72] за допомогою спеціальних поведінкових тестів встановили, що тривале екранування магнітного поля Землі (по 19 годин на день протягом 10 днів) призводить до розвитку депресії у лабораторних щурів/

Jan L. з колегами (2015) [63] вивчали вплив на розвиток рослин ряски малої (*Lemna minor*) магнітного поля меншої напруженості (4 мкТл) і більшої напруженості (100 мкТл і 150 мТл) порівняно з геомагнітним полем Землі (50 мкТл). У роботі вимірювали питому швидкість росту рослин ряски і кінетику флуоресценції хлорофілу після 7 днів інкубації в змінених геомагнітних умовах.

Отримані результати свідчать про те, що редуковане магнітне поле значно стимулювало ріст рослин ряски. Тоді як збільшення напруженості магнітного поля до 100 мкТл та 150 мТл – інгібувало ріст рослин, проте ці відмінності не були статистично достовірними. Зміни в інтенсивності магнітного поля в межах 4-100 мкТл не впливали на ефективність роботи фотосистеми II. Однак, магнітне поле більш значної напруженості (150 мТл) збільшувало початкову флуоресценцію хлорофілу і, таким чином, сприяло розсіюванню енергії у рослин ряски малої.

Xu C. з колегами (2013) [74] в експериментально створених умовах нульового геомагнітного поля (0 Тл) виявили затримку в термінах цвітіння у рослин арабідопсиса на 4-5 днів у порівнянні з контрольними рослинами, які вирощувалися в умовах звичайного геомагнітного поля Землі (45 мкТл). Крім того, в умовах нульового геомагнітного поля Землі достовірно знизилася кількість насіння, що продукуються рослинами арабідопсиса.

Kalinin L.G. з колегами (2005) [65] показали, що вплив на насіння рослин в фазі спокою низькочастотного імпульсного електромагнітного поля призводить до суттєвих змін фізіології насіння при проростанні. При цьому фізіологічні зміни у проростаючого насіння залежать не тільки від частоти

зовнішнього електромагнітного поля і його енергетичних характеристик, але також від виду насіння.

Отримані дані свідчать про те, що і низькочастотні, і високочастотні електромагнітні поля здатні надавати біостимулюючий ефект на проростання насіння, проте механізми його появи різні за своєю природою.

Біохімічні дослідження насіння після обробки електромагнітними полями в режимах, що призводять до виражених біологічних ефектів, показали збільшення активності альфа-амілази, що свідчить про збільшення виходу гібереліну і активності гідролітичного ферменту кислої фосфатази.

Kalinin L.G. з колегами (2005) вважають, що реакція насіння на обробку електромагнітними полями демонструє можливість електромагнітного контролю ростових процесів у рослин.

Отже, існує широкий спектр приладів для вимірювання електричного і магнітного полів як для побутових, так і промислових потреб. Існують три методи вимірювання електричних полів: метод оцінки напруженості поля за різницею потенціалів між електродами, що перебувають у полі; метод вимірювання величини заряду, що індукується полем на поверхні провідника, що знаходиться в останньому; метод аналізу впливу поля на рух електронів або йонів. Оцінка небезпеки електричного та магнітного полів методами біотестування щороку набуває все більшої актуальності, оскільки чутливість живих організмів до електромагнітного випромінювання є вищою, ніж у фізичних приладів.

РОЗДІЛ III

ВИКОРИСТАННЯ МОДЕЛІ «ПРОРОСТАЮЧЕ НАСІННЯ» ДЛЯ ВСТАНОВЛЕННЯ БІОЛОГІЧНОЇ ДІЇ РАДІОХВИЛЬОВОГО ВИПРОМІНЮВАННЯ ВІД МОБІЛЬНОГО ТЕЛЕФОНУ

3.1. Матеріали і методи дослідження

Для встановлення напруженості електромагнітного поля, що створюється мобільним телефоном ZTE Blade A601, нами використовувалися додаток для мобільного телефону «Ultimate EMF Detector» (Рис. 3.1) і вимірювач електромагнітного випромінювання «Kkmoon GM 3120» (Рис. 3.2). Аналогічне дослідження проводилося з мобільним телефоном Nokia, результати якого викладені у науковій статті ««Виявлення біологічного ефекту радіохвильового випромінювання від мобільних телефонів з використанням ростового фітотесту»».



Рис. 3.1. Мобільний додаток «Ultimate EMF Detector»



Рис. 3.2. Вимірювач електромагнітного випромінювання «Kkmoon GM 3120»

Для того, щоб виявити біологічний ефект випромінювання від мобільного телефону, насіння ячменю (*Hordeum vulgare*) пророщували протягом 5 днів у чашках Петрі на водопровідній не кип'яченій воді. Цілодобово паростки піддавали впливу електромагнітного випромінювання від мобільного телефону ZTE Blade A601 при експозиції чашок Петрі на різній відстані від мобільного телефону: 0 м, 1,0 м, 1,5 м, 2,0 м і 3,0 м, а також на відстані 6 м без впливу мобільного телефону.

На п'яту добу проростання підраховували кількість пророщеного насіння (Рис. 3.3), вимірювали довжину коренів і епікотилів паростків, а також розраховували їх середню довжину.



Рис. 3.3. Пророщування насіння ячменю

Усі дані статистично оброблені. Зокрема, розраховували похибку значень для показника енергії проростання, середньо-арифметичні значення для довжини проростків (нормальне розподілення), достовірність відмінностей між даними. Усі первинні дані і розрахунки наведені у Додатку А.

Абсолютні значення X обчислювали з використанням наступної формули:

$$\Delta x = L_{cp} - Li,$$

де Δx – абсолютне значення x ; L_{cp} – середня довжина проростків; Li – довжина i -проростка.

Енергію проростання насіння встановлювали за формулою:

$$E = \frac{n}{N} * 100\%,$$

де: E - енергія проростання насіння, %; N - загальна кількість пророщуваних насінин; n - кількість насінин, що проросли.

Похибки середньо-арифметичних значень для довжини проростків (нормальне розподілення) встановлювали за формулою:

$$S_x = \sqrt{\frac{\sum (S_{cp} - S_i)^2}{n(n-1)}}$$

де: S_{cp} - середнє арифметичне значення довжини проростків; $S_x * t_{st}$ – похибка середнього арифметичного значення; t_{st} - критерій Стюдента, який визначається за таблицею; n – об'єм вибірки (кількість проростків, довжина яких вимірювалась); S_i – довжина i -проростка.

Достовірність відмінностей між даними розраховували за наступною формулою:

$$t = \frac{|S_{cp1} - S_{cp2}|}{\sqrt{Sx_1^2 + Sx_2^2}}$$

При $t > t_{st}$, відмінності достовірні. Де: S_1, S_2 – середні значення показника для нормального розподілення в варіантах 1 і 2; Sx_1^2, Sx_2^2 – похибки середніх значень; t_{st} - критерій Стюдента.

Для встановлення достовірності даних використовували дані таблиці критичних точок t -критерію Стюдента [11].

3.2. Результати дослідження

Використання мобільного додатку «Ultimate EMF Detector» дозволило виявити радіохвильове випромінювання від мобільного телефону ZTE Blade A601 у режимі «включено, без телефонних дзвінків», інтенсивністю від 34-35 мкТл до 326-327 мкТл залежно від положення мобільного телефону відносно реєструючого приладу.

Були виявлені 2 піки: у верхній частині телефону – 85-88 мкТл (Рис. 3.4), у нижній – 290-327 мкТл (Рис. 3.5), на лицьовій частині телефона – 66 мкТл.



Рис. 3.4. Вимірювання електромагнітного випромінювання у верхній частині мобільного телефону ZTE Blade A601

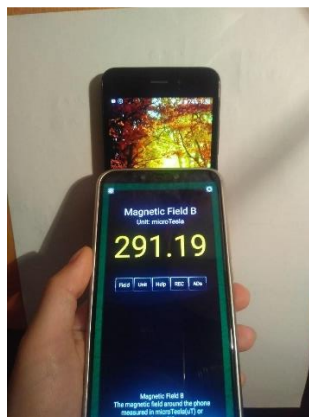


Рис. 3.5. Вимірювання електромагнітного випромінювання у нижній частині мобільного телефону ZTE Blade A601

На відстані 25-30 см від мобільного телефону детектор реєстрував тільки геомагнітне поле Землі з інтенсивністю 44-45 мкТл (Рис.3.6).

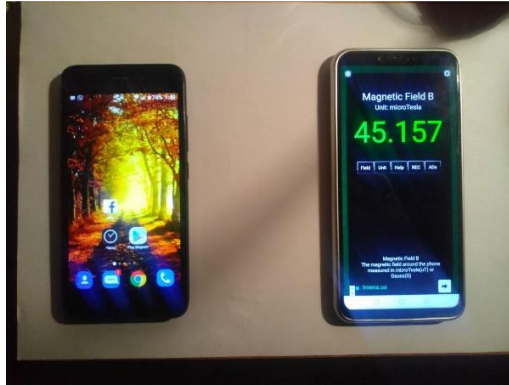


Рис. 3.6. Вимірювання рівня електромагнітного випромінювання на відстані 15 см

Також був використаний вимірювач електричного і магнітного полів «Ккmoon GM 3120», який налаштований на вимірювання техногенного електромагнітного випромінювання.

Використання вимірювача «Ккmoon GM 3120» дозволило виявити радіохвильове випромінювання від мобільного телефону ZTE Blade A601 у режимі «включено, без телефонних дзвінків», інтенсивністю 0,49 мкТл (Рис. 3.7), що вказує на меншу чутливість у порівнянні із мобільним додатком «Ultimate EMF Detector».



Рис. 3.7. Вимірювання рівня електромагнітного випромінювання за допомогою вимірювача «Ккmoon GM 3120»

Пророщування насіння ячменю в умовах впливу радіохвильового випромінювання від мобільного телефону призвело до зменшення довжини коренів на відстані 1,0 м зменшилася у порівнянні з довжинами коренів на відстані 0 м: від $8,07 \pm 0,93$ см до $6,11 \pm 0,59$ см (Табл. 3.1). Довжини коренів на відстані 1,5 м не мали відмінностей від довжин на відстані 0 м. Довжини коренів на відстані 2,0 м зменшилися відносно довжин коренів контрольного пророщування на відстані 6 м: з $7,97 \pm 0,66$ см до $6,59 \pm 0,62$ см. Так само ріст коренів на відстані 3,0 м був інгібований по відношенню до росту коренів на відстані 0 м. Середня довжина коренів зменшилася з $8,07 \pm 0,93$ см до $5,93 \pm 0,82$ см.

Різниця між довжинами епікотилів на всіх відстанях від мобільного телефону виявилася статистично недостовірною. Таким чином, ростовий біологічний ефект електромагнітного випромінювання радіохвильового діапазону на епікотилі насіння ячменю відсутній.

Таблиця 3.1

**Вплив електромагнітного випромінювання радіохвильового
діапазону від мобільного телефону у фітотесті «проростаюче насіння»**

Відстань від мобільного телефону, м	Довжина кореня, см	Довжина епікотиля, см	Енергія проростання, %
Контроль, без телефону	$7,97 \pm 0,66$	$6,89 \pm 0,75$	27,3
0	$8,07 \pm 0,93$	$7,15 \pm 0,74$	26,0
1	$6,11 \pm 0,59^*$	$7,56 \pm 0,86$	20,0
1,5	$7,19 \pm 0,99$	$6,77 \pm 1,36$	14,6
2	$6,59 \pm 0,62^*$	$7,50 \pm 1,07$	12,6
3	$5,93 \pm 0,82^*$	$6,08 \pm 1,38$	17,3

* – дані достовірно відрізняються від відповідних контрольних значень.

3.3. Обговорення отриманих результатів

Користування програмою до мобільного телефону «Ultimate EMF Detector» дозволяє вимірювати напруженість електромагнітного поля Землі і полів, що створюються будь-якими техногенними об'єктами.

Проведені нами дослідження показали, що напруженість геомагнітного поля Землі у зоні дослідження становить 44-45 мкТл. Безпосередньо біля мобільного телефону ZTE Blade A601 показники різко зросли у межах від 34-35 мкТл до 326-327 мкТл від положення детектора відносно мобільного телефону. Були виявлені 2 піки: у верхній частині телефону – 85-88 мкТл, у нижній – 290-327 мкТл, на лицьовій частині телефона – 66 мкТл. Уже на відстані 25-30 см мобільний телефон реєстрував тільки геомагнітне поле Землі з інтенсивністю 44-45 мкТл. Проте аналіз ростових параметрів проростків ячменю виявив біологічний ростовий ефект випромінювання від мобільного телефону навіть на відстані 3,0 м від телефону.

Також був використаний вимірювач електричного і магнітного полів «Kkmoon GM 3120», який налаштований на вимірювання техногенного електромагнітного випромінювання.

Використання вимірювача «Kkmoon GM 3120» дозволило виявити радіохвильове випромінювання від мобільного телефону ZTE Blade A601 у режимі «включено, без телефонних дзвінків», інтенсивністю 0,49 мкТл (Рис. 3.6), що вказує на меншу чутливість у порівнянні із мобільним додатком «Ultimate EMF Detector».

Отримані дані дали можливість встановити, що електромагнітне випромінювання радіохвильового діапазону від мобільного телефону ZTE Blade A601 має біологічний ефект на розвиток кореневої системи ячменю, що проявилось в інгібуванні ростових процесів. Біологічний ростовий ефект на епикотилі насіння ячменю був відсутній, оскільки різниця між довжинами епикотилів на всіх відстанях була статистично недостовірною.

Синусоїдальний характер біологічного ефекту на корені паростків ячменю дозволяє припустити наявність ефекту резонансу електромагнітних хвиль від мобільного телефону: при зустрічі електромагнітних хвиль різної

довжини в одній фазі з кроком в 0,5 м може створюватися резонансний ефект, який проявляється в значному гальмуванні росту проростків на відстанях 1,0 м, 2,0 м і 3,0 м від мобільного телефону.

Серед усіх живих організмів рослини є найбільш чутливими до змін електромагнітного поля навколишнього середовища внаслідок специфіки їх харчування і способу життя [73].

Аналіз літературних джерел свідчить про те, що рослини реагують не тільки на зміни в видимій частині електромагнітного спектра, але також є високочутливими до радіохвильового випромінювання [54, 57, 66].

Рецептори на радіохвилі на сьогоднішній день не знайдені. Однак встановлено, що живі організми здатні сприймати високочастотне радіохвильове випромінювання як регуляторне. Так, Friedman J. з колегами (2007) показали, що радіохвильове випромінювання від мобільного телефону активує в клітинах людини сигнальні шляхи ERK1/2, задіяні в проліферації клітин – і цим пояснюється канцерогенний ефект випромінювання від мобільного телефону [64].

Отримані нами експериментальні дані дозволяють стверджувати, що ні мобільний додаток «Ultimate EMF Detector», ні вимірник радіохвильового випромінювання «Kkmoon GM 3120» не дозволяють встановити біологічно безпечну відстань між мобільним телефоном і користувачем: уже на відстані 15-20 см від телефону прилади не реєстрували перевищення природного геомагнітного поля Землі, тоді як ростовий тест показав біологічний ефект навіть на відстані 3,0 м від мобільного телефону.

Ми пропонуємо використовувати ростовий тест «проростаюче насіння» в побутових умовах для виявлення присутності радіохвильового випромінювання від мобільного телефону, інтенсивності якого достатньо для створення біологічного ефекту на живі організми. При цьому достовірне відхилення ростових параметрів рослин в присутності мобільного телефону в порівнянні з контрольними варіантами буде свідчити про наявність фонового

радіохвильового випромінювання, інтенсивність якого потенційно може виявитися небезпечною для користувача мобільного телефону.

3.4. Рекомендації щодо безпеки використання мобільних телефонів споживачами

Знання природи впливу електромагнітних хвиль на організм людини, норми допустимого опромінення, методів контролю, інтенсивності випромінювання та засобів захисту від них є абсолютно необхідним для людини як у виробничих, так і побутових умовах [48].

Дослідження впливу мобільних телефонів на здоров'я людини розпочато нещодавно. Тому на сьогодні серед учених немає єдиної думки про ступінь шкідливого впливу мобільного зв'язку. Більшість фахівців схиляються до того, що мобільні телефони відчутно впливають на людину, причому цей вплив є негативним [8].

Вчені Оксфордського університету (Великобританія), що займалися дослідженнями з приводу впливу стільникового телефону на людський організм, рекомендують звести до мінімуму використання мобільних телефонів, особливо дітьми. Адже мозок дитини, на відміну від дорослого, продовжує рости. Крім того, дитячий череп тонший і менший, а тому менш здатний захистити мозок від радіохвиль [9].

Для особистих заходів профілактики від шкідливого впливу надвисокчастотних випромінювань мобільних телефонів рекомендується [47].

1. Після того, як ви набрали номер, не підносити одразу телефон до вуха. У цей час відбувається найбільш сильне випромінювання, тому що телефон зв'язується з базовою станцією.

2. Після 3-4 хвилин розмови треба давати організму відновитися протягом 20–25 хвилин.

3. При розмові по телефону знімати окуляри з металевою оправою: наявність подібної оправы, що грає роль випромінювача, може привести до

збільшення інтенсивності електромагнітного випромінювання, що падає на певні її ділянки в порівнянні зі стандартною ситуацією.

4. Використовувати бездротову гарнітуру. Справа в тому, що провідна гарнітура підсилює вплив радіації на вушний канал. Провід від гарнітури не тільки передає випромінювання самого телефону, але й слугує антеною для електромагнітних полів ззовні.

5. Не застосовувати телефон в тісних, обшитих металом приміщеннях, таких як автомобілі і ліфти. Металева оболонка буде працювати як клітина Фарадея, відбиваючи випромінювання телефону назад на людей всередині металевого приміщення.

6. Не дзвонити, якщо показник сили сигналу майже на нулі. У цьому випадку телефон сильніше опромінює вас.

7. Не класти телефон в кишеню і не носити його на поясі, поки він включений. Тканини нижній частині людського тіла непогано проводять струм і швидше засвоюють дози радіації, ніж тканини голови.

8. Багато хто використовує свій мобільний телефон як будильник вранці. У цьому випадку він повинен знаходитися на відстані не менше 50 см. Така відстань значно знижує можливість впливу на людину.

9. Купувати телефон з низьким рівнем питомого коефіцієнта поглинання.

10. По можливості використовувати повідомлення [23, 33].

Отже, для встановлення напруженості електромагнітного поля використовувався додаток для мобільного телефону «Ultimate EMF Detector». Для того, щоб виявити біологічний ефект випромінювання від мобільного телефону, насіння ячменю (*Hordeum vulgare*) пророщували протягом 5 днів у чашках Петрі на водопровідній не кип'яченій воді на відстані від мобільного телефону: 0 м, 1 м, 1,5 м, 2 м і 3 м. Отримані нами дані дали можливість встановити, що електромагнітне випромінювання радіохвильового діапазону від мобільного телефону ZTE Blade A601 має біологічний ростовий ефект на розвиток коренів ячменю, що виявилось в інгібуванні їх росту. Біологічний

ефект на епікотилі насіння ячменю відсутній, оскільки різниця між довжинами епікотилів на всіх відстанях від мобільного телефону була статистично недостовірною. Існує багато профілактичних заходів, спрямованих на запобігання негативного впливу електромагнітного випромінювання. Наприклад, підносити мобільний телефон тільки після перших гудків; не розмовляти довше 3-5 хвилин; використовувати бездротову гарнітуру; не носити мобільний телефон на рівні поясу або в кармані.

ВИСНОВКИ

У результаті виконання дослідження нами були зроблені наступні висновки:

1. Усі існуючі джерела електромагнітного випромінювання радіохвильового діапазону поділяються на природні і техногенні (штучні). До природних джерел електромагнітного випромінювання відносяться: планети і малі тіла Сонячної системи, газові туманності у Галактиці – залишки спалахів наднових зірок, атмосфера Сонця і зірок, активні області на Сонці, квазари, блискавки. Техногенні джерела умовно поділяють на дві групи: технічні засоби, спеціально створені для випромінювання енергії радіохвильового випромінювання і технічні засоби і вироби, які створюють у зовнішньому просторі паразитне електромагнітне випромінювання, що не пов'язане з їх функціональним призначенням. До першої групи відносять різні системи зв'язку, радіолокаційні установки, радіо- і телевізійні мовні станції, окремі види фізіотерапевтичного і діагностичного устаткування, технологічні установки у промисловості з використання енергії електромагнітного випромінювання тощо. До другої групи відносяться системи передачі і розподілу електроенергії (лінії електропередач, трансформаторні підстанції) і прилади, які споживають її (електроплити, електронагрівачі, холодильники, телевізори, освітлювальні прилади, мобільні телефони).

2. Кожна жива клітина створює під час роботи електромагнітні поля, які мають постійну і змінну компоненти. Тому техногенні електромагнітні поля спроможні впливати на функції живих організмів. Висновки про безпеку або небезпеку техногенного електромагнітного випромінювання ускладнюються тим, що власне електромагнітне поле клітин змінюється у часі – вплив навіть однакових зовнішніх електромагнітних полів на функціонування живих клітин може бути діаметрально протилежним.

3. Електромагнітне випромінювання радіохвильового діапазону від побутових приладів може бути виміряне за допомогою приладів EMR-20,

EMR30, ПЗ-15, ПЗ-16, ПЗ-17, П 3-41 та ін. Вимірювання електромагнітних полів базується на трьох типах методів: метод оцінки напруженості поля за різницею потенціалів між електродами, що перебувають у полі; метод вимірювання величини заряду, що індукується полем на поверхні провідника, що знаходиться в останньому; метод аналізу впливу поля на рух електронів або іонів.

Біологічний вплив електромагнітного випромінювання радіохвильового діапазону досліджується методами біотестування на різних модельних об'єктах: на культурі клітин людини, на найпростіших, грибах, тваринах, рослинах. При цьому живі організми виявляють більшу чутливість до присутності відповідних електромагнітних полів, порівняно з фізичними приладами.

4. Використання ростового фітотесту для оцінки просторових меж поширення радіохвильового випромінювання від мобільного телефону ZTE Blade A601 дозволило виявити біологічний ефект означеного випромінювання на відстані 1-3 м від мобільного телефону, який проявився в достовірному гальмуванні росту коренів, але не епикотилів, проростків на відстанях 1,0 м, 2,0 м і 3,0 м від мобільного телефону (але не 0 м, 1,5 м) порівняно з пророщуванням насіння в умовах відсутності апарату для мобільного зв'язку в експериментальному приміщенні.

Синусоїдальний характер ростової відповіді коренів проростків ячменю дозволяє припустити наявність ефекту резонансу електромагнітних хвиль від мобільного телефону: при зустрічі електромагнітних хвиль різної довжини в одній фазі з кроком в 0,5 м може створюватися резонансний ефект, який проявляється в значному гальмуванні росту проростків на відстанях 1,0 м, 2,0 м і 3,0 м від мобільного телефону.

Отримані експериментальні дані дозволяють стверджувати, що мобільний додаток «Ultimate EMF Detector» і вимірювач «Kkmoon GM 3120» для виявлення радіохвильового випромінювання не дозволяють встановити біологічно безпечну відстань між мобільним телефоном і користувачем: уже на

відстані 15-20 см від телефону прилади не реєстрували перевищення природного геомагнітного поля Землі, тоді як ростовий тест показав біологічний ефект навіть на відстані 3,0 м від мобільного телефону.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Безак-Мазур Е. Транскордонні проблеми токсикології доквілля / Е. Безак-Мазур, Т. Шендрік; пер. з пол. Н.О. Ярошенко. – Донецьк: Донбассинформ, 2008. – 300 с.
2. Белов Е.А. Изучение влияния электромагнитных полей бытовых приборов на растительные и животные организмы / Е.А. Белов, Г.А. Петухова// Адаптация биологических систем к естественным и экстремальным факторам среды: матер. всерос. науч. конф. Челябинск, 11-15 окт. 2004 г. / ЧГПУ. – Челябинск: ЧГПУ, 2004. - С.6-8.
3. Божинова Ф.Я., Кирюхін М.М., Кирюхіна О.О. Фізика, 9 клас: Підручник для загальноосвіт. навч. закладів [Електронний ресурс] / Ф.Я. Божинова, М.М. Кирюхін, О.О. Кирюхіна. – Х.: Вид-цтво «Ранок», 2009. – 224 с.: іл. – Режим доступу: http://edufuture.biz/index.php?title=%D0%A4%D1%96%D0%B7%D0%B8%D0%BA%D0%B0_9_%D0%BA%D0%BB%D0%B0%D1%81
4. Боровик С. И. Безопасность жизнедеятельности: [учеб. пособие для вузов] / [Боровик С.И. и др.]; под ред. А.И. Сидорова. – М. : КноРус, 2007. – 495 с.
5. Васильева Т.И. Влияние электромагнитного излучения радиостанции на физиологические и биохимические показатели у школьников при работе за компьютером / Т.И. Васильева, В.Г. Подковкин // Ежегодник Рос. Нац. Комитета по защите от неионизирующих излучений 2004-2005: сб. тр. – М. : Изд-во АЛЛАНА, 2006. – С.164-167.
6. Войцицький А. П. Інженерна екологія : навч. посіб. / А. П. Войцицький, О. Д. Муляр, Л. Г. Кравець, І. В. Нездвєцька. – Житомир : ЖНАЕУ, 2014. – 499 с.
7. Вплив електромагнітного випромінювання на стан здоров'я дітей [Електронний ресурс] – Режим доступу: http://www.oblses.zp.ua/comment.php?n_id=1293

8. Вплив мобільних телефонів на здоров'я людини [Електронний ресурс] – Режим доступу: <https://www.bestreferat.ru/referat-176912.html>
9. Вплив мобільного телефону на організм людини [Електронний ресурс] – Режим доступу: <https://xreferat.com/8/627-1-vpliv-mob-l-nogo-telefonu-na-organizm-lyudini.html>
10. Всесвітня організація охорони здоров'я (ВООЗ). Електромагнітні поля [Електронний ресурс] – Режим доступу: <https://www.who.int/peh-emf/about/WhatisEMF/ru/index1.html#>
11. Галян І.М. Психодіагностика: навч. посіб. [Електронний ресурс] / І. М. Галян. — 2-ге вид., стереотип. — К. : Академвидав, 2011. — 464 с. — (Серія «Альма-матер»). — Режим доступу: https://pidruchniki.com/10611207/psihologiya/otsinyuvannya_dostovirnosti_znachen_kriteriyem_styudenta
12. Глебов В.В. Экологическая безопасность в области искусственных электромагнитных излучений и здоровье человека / В.В. Глебов, О.М. Родионова// Биополевые взаимодействия и мед. технологии: материалы тр. междунар. науч. конф., Москва, 16-18 апр. 2008 г. – М.: Моск. НТОРЭС им. А.С. Попова, 2008. – С.98-102.
13. Гудина М.В. Высокочастотные электромагнитные поля и здоровье / М.В. Гудина, А.Г.Карташев, Л.П. Волкотруб, С.Н. Бобраков// Контроль и реабилитация окружающей среды: матер.IV Междунар. симп., Томск, 21-23 июля 2004 г. – Томск, 2004. – С. 170-171.
14. Державні санітарні норми і правила захисту населення від впливу електромагнітних випромінювань: ДСН 239–96. К. : МОЗ України, 1996. – 28 с. (Державні санітарні норми України).
15. Державні санітарні норми і правила при роботі з джерелами електромагнітних полів: ДержСанПін 3.3.6.096–2002. Чинний від 2003–01–04. К.: МОЗ України, 2003. – 16 с. (Державні санітарні норми України).

16. Джерела електромагнітного випромінювання навколо нас [Електронний ресурс] – Режим доступу: <https://alfapol.ru/istochniki-elektromagnitnogo-izlucheniya-vokrug-nas/>

17. Джерела електромагнітного випромінювання: найбільш небезпечні і як захиститися від їх впливу [Електронний ресурс] – Режим доступу: <http://www.i-mash.ru/materials/opinions/74249-istochniki-jelektromagnitnogo-izlucheniya.html>.

18. Джерела електромагнітного випромінювання радіочастот [Електронний ресурс] – Режим доступу: <https://electrono.ru/dopolnitelnye-glavy/4-5-istochniki-elektromagnitnyx-izlucheniya-radiochastot>

19. Електромагнітне випромінювання – вплив на людину, захист [Електронний ресурс] – Режим доступу: <https://www.asutpp.ru/elektromagnitnoe-izluchenie.html>

20. Измеров Н.Ф. Проблема обеспечения производственной и экологической электромагнитной безопасности электропередач. Пути решения / Н.Ф. Измеров, М.Ш. Мисриханов, С.Г. Отморский и др. // Бюл. Науч. Совета «Мед.-экол. проблемы работающих». – 2006. - №3. – С.18-25.

21. Казарян Г.М. Экологическая безопасность наземной микроволновой линии передачи энергии / Г.М. Казарян, А.В. Рудаков, В.Л. Савин, Ян Чунь // Научная сессия МИФИ-2005: сб. науч. тр. В 15 т. Т.8. Нетрадиционная энергетика. Ядерная энергетика. – М.: МИФИ, 2005. – С.14-15.

22. Федорович Г.В. Экологический мониторинг электромагнитных полей. –М. : 2004.

23. Как обезопасить себя от воздействия мобильного телефона [Електронний ресурс] – Режим доступу: <https://newsland.com/user/4296724046/content/kak-obezipasit-sebia-ot-vozdjeistviia-mobilnogo-telefona/4260474>

24. Каменарович М.Б. Экологическая безопасность при работе с индуктором, создающим бегущее электромагнитное поле / М.Б. Каменарович, С.А. Аракелян // Прогрессивные технологии, конструкции и системы в

приборо- и машиностроении: матер. всерос. науч.-техн. конф., Т.1, 7-9 дек. 2004 г. – М.: МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2004. – С. 186.

25. Ковалев Г.И. Проблема подготовки инженерных кадров к работе в условиях воздействия электромагнитных излучений / Г.И. Ковалев // Проблемы инженерного образования: материалы регион. науч.-метод. конф., Томск, 18-19 апр. 2006. – Томск: ТГАСУ, 2006. - С. 82-87.

26. Ковальова С., Майборода О., Лазебник В. Застосування методів біотестування для оцінки якості природних вод // Перспективи майбутнього та реалії сьогодення в технологіях водопідготовки. - К.: Національний університет харчових технологій, 2015.

27. Кольчугин Ю.И. Проблемы и перспективы обеспечения охраны труда по электромагнитному фактору / Ю.И. Кольчуги // Вестн. СОНИИР. – 2004. – №2 (6). – С. 4-8.

28. Копылова М.Ю. Влияние бытовых приборов на здоровье человека / М.Ю. Копылова, М.В. Липикина, Т.В. Никулина и др.// Окружающая природная среда и экологическое образование и воспитание: материалы 6 всерос. науч.-практ. конф., Пенза, 17-18 февр. 2005 г. – Пенза: Приволж. Дом знаний, 2006. - С.130-133.

29. Космічне радіовипромінювання [Електронний ресурс] – Режим доступу: <https://www.booksite.ru/fulltext/1/001/008/065/150.htm>

30. Кудрин В.А. Электромагнитное излучение и заболеваемость водителей локомотивов железнодорожного транспорта / В.А. Кудрин // Медицина труда, гигиена и эпидемиология на железнодорожном транспорте: сб. науч.-практ. работ / ВНИИ железнодорожной гигиены и др. – М., 2001. – С.243-246.

31. Кундельчук О.П. Загальна екологія (та неоекологія): Навчально-методичний посібник до практичних та семінарських занять для студентів галузі знань 10 Природничі науки, спеціальності 101 Екологія / О.П. Кундельчук, М.О. Акімова. – Херсон: ПП Вишемирський В.С., 2019. – 396 с.

32. Мардар М.Р., Крусир Г.В., Янівська А.І., Малецька О.В. Біотестування в оцінюванні безпечності зернових пластівців [Електронний ресурс] // Зернові продукти і комбікорми. - 2014. - №3 (55). – Режим доступу: <http://journals.uran.ua/gpmf/article/view/32263/28923>.

33. Мобильный друг. – Ярмарка развлечений, 2011. — № 6. — С. 50.

34. Наказ Державного Комітету України з питань технічного регулювання та споживчої політики «Про затвердження Технічного регламенту з підтвердження відповідності електромагнітної сумісності» від 31.12.2003 р. № 283. К.: Держспоживстандарт, 2004. (Нормативний документ Держспоживстандарту).

35. Наказ Міністерства економічного розвитку і торгівлі України «Про прийняття європейських стандартів як національних стандартів України та скасування національних стандартів України» від 29 грудня 2014 року N 1483. – К.: Держспоживстандарт, 2014 (Нормативний документ Держспоживстандарту).

36. Наказ Міністерства охорони здоров'я України «Про затвердження Державних санітарних норм і правил захисту населення від впливу електромагнітних випромінювань» від 01.08.1996 № № 239 – К.: Держспоживстандарт, 1996. (Нормативний документ Держспоживстандарту).

37. Николаев П.А. Автомобиль - источник электромагнитной опасности / П.А. Николаев, Р.Р. Соешев// Экология и жизнь. – 2007. – №2 (63). – С. 54-57.

38. Оцінка стану зарубіжного та вітчизняного нормативно-правового забезпечення щодо обмеження впливу електромагнітного випромінювання та акустичних шумів об'єктів електроенергетики на здоров'я людини та навколишнє середовище // Міністерство енергетики та вугільної промисловості України НЕК «Укренерго» Науково-технічний центр електроенергетики. - К.: 2012.

39. Панков В.А. Оценка профессионального риска у работников гидроэлектростанций, подвергшихся воздействию электромагнитных полей

промышленной частоты / В.А. Панков, М.В. Кулешова // Бюл. Вост.-Сиб. НЦ. – 2005. – №8. – С.148-150.

40. Переверзев И.Г. К вопросу классификации рабочих мест персонала ОАО «РЖД» по степени опасности электромагнитного влияния / И.Г. Переверзев// Техносферная и экологическая безопасность на транспорте: междунар. науч.-практ. конф., Санкт-Петербург, 21-23 нояб. 2007. – СПб.: ПГУПС, 2007. – С. 72-75.

41. Пряхин Е.А. Влияние неионизирующих электромагнитных излучений на животных и человека: монография / Е.А. Пряхин, А.В. Аклеев. – Челябинск: Полиграф-Мастер, 2006. – 220 с.

42. Радіоастрономія [Електронний ресурс] – Режим доступу: <https://www.booksite.ru/fulltext/1/001/008/094/895.htm>

43. Радченко Д.А. Влияние электромагнитных полей на окружающую среду и здоровье человека / Радченко Д.А.// Экология и безопасность жизнедеятельности промышленно-транспортных комплексов ЕЛРІТ 2007: сб.тр. молодых ученых первого междунар. экол. конгресса (третьей междунар. науч.-техн. конф.) Т.2, Тольятти, 20-23 сент. 2007. – Тольятти: ТГУ, 2007. - С. 209-214.

44. Резник Д. В., Родькин Д. И., Ромашихин Ю. В. Особенности определения электромагнитных параметров асинхронных двигателей при использовании низкочастотного испытательного напряжения. Электроприводы переменного тока: Труды Международной четырнадцатой НТК. Екатеринбург: ГОУ ВПО «Уральский государственный технический университет – УПИ», 2007. С. 279–284.].

45. Резнік Д.В. Нормалізація рівнів магнітних полів на робочих місцях випробувальних ділянок електроремонтних цехів: дис. на здоб. ступ. канд. тех. наук: 05.26.01 - охорона праці. – Покровськ, 2018.

46. Розенберг Г.С. Воздействие электромагнитного загрязнения на здоровье населения (на примере города Тольятти) / Г.С. Розенберг,

Н.Г.Лифиренко, Н.В. Костина // Экология урбанизированных территорий. – 2007. – №4. – С.21-24.

47. Савицкая Я. А., Паслён В. В. / Влияние высокочастотных электромагнитных полей на организм человека // Екологія та ноосферологія. — 2009. — Т. 20. — № 1–2. — С. 38–43.

48. Серіков Я.О. Промислова безпека та соціальний захист працівників виробничих підприємств, компаній і корпорацій. Навч. посіб. Харків. ХНУМГ – корпорація ШЕЛЛ. 2015. – 247 с.

49. Теоретичні основи біотестування [Електронний ресурс] – Режим доступу: http://dn.khnu.km.ua/dn/k_default.aspx?M=k1216&T=06&lng=1&st=0.

50. Тихонов М.Н., Довгуша В.В., Довгуша Л.В. Механізм впливу природних і техногенних електромагнітних полів на безпеку життєдіяльності [Електронний ресурс] // Аналіз ризику здоров'я. - 2014. - №4 (8). – Режим доступу: <https://cyberleninka.ru/article/n/mehanizm-vliyaniya-estestvennyh-i-tehnogennyh-elektromagnitnyh-poley-na-b-ezopasnost-zhiznedeyatelnosti>.

51. Ткачук К. Н. Безпека праці та промислова санітарія: курс охорони праці для студентів інженерно-економічного напрямку підготовки / [К.Н. Ткачук, О.Л. Гуменюк, Бивойно Т.П., Денисова Н.М. та інші]; за редакцією К.Н. Ткачука і О.Л. Гуменюк – Чернігів: ЧДТУ, 2010. – 368 с.

52. Шарохина А.В. Электромагнитное поле в быту / А.В. Шарохина // Материалы докладов первой Всерос. молодежной науч. конф. «Гинчуринские чтения» / Под общ. ред. д-ра физ.-мат. наук, проф. Ю.Я. Петрушенко. В 2 т. – Т.2. - Казань: Казан. гос. энерг. ун-т, 2006. – С.161-163.

53. Як розповсюджуються радіохвилі [Електронний ресурс] – Режим доступу: <http://ency.info/materiya-i-dvigenie/radio/480-kak-rasprostranyayutsya-radiovolny>.

54. Balmori A. Electromagnetic pollution from phone masts. Effects on wildlife // Pathophysiology. – 2009. – Vol. 16(2-3). – P. 191 - 199. doi: 10.1016/j.pathophys.2009.01.007.

55. ETSI EN 301 489-1 V1.7.1 (2006-07): Electromagnetic compatibility and Radio spectrum Matters (ERM); ElectroMagnetic Compatibility (EMC) standard for radio equipment and services; Part 1: Common technical requirements. [Электронный ресурс] – Режим доступа: https://www.etsi.org/deliver/etsi_en/301400_301499/30148901/01.07.01_20/en_30148901v010701c.pdf

56. Friedman J., Kraus S., Hauptman Y., Schiff Y., Seger R. Mechanism of short-term ERK activation by electromagnetic fields at mobile phone frequencies // *Biochem. J.* – 2007. – Vol. 405(3). – P. 559 - 568.

57. Halgamuge M.N., Yak S.K., Eberhardt J.L. Reduced growth of soybean seedlings after exposure to weak microwave radiation from GSM 900 mobile phone and base station // *Bioelectromagnetics.* – 2015. – Vol. 36(2). – P. 87 - 95. doi: 10.1002/BEM.21890.

58. Harmonized European Standard: ETSI EN 300 220-2 V2.4.1 (2012-05): Electromagnetic compatibility and Radio spectrum Matters (ERM); Short Range Devices (SRD); Radio equipment to be used in the 25 MHz to 1 000 MHz frequency range with power levels ranging up to 500 mW; Part 2: Harmonized EN covering essential requirements under article 3.2 of the R&TTE Directive. [Электронный ресурс] – Режим доступа: https://www.etsi.org/deliver/etsi_en/300200_300299/30022002/02.04.01_60/en_30022002v020401p.pdf.

59. IARC working group Part 1: static and extremely low-frequency (ELF) electric and magnetic fields: IARC Monograph on the Evaluation of Carcinogenic Risks to Humans. 2002. Vol. 80, no. 1. P. 395. [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK390734/>;

60. International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection [<https://www.icnirp.org/en/frequencies/static-magnetic-fields-0-hz/index.html>].

61. International Standard: EN 61439-1: 2011 Low-voltages witch gearandcontrol gearassemblies. General rules. [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://webstore.iec.ch/publication/5457>.

62. International Standard: IEC 61000-3-12: 2011 Electromagnetic compatibility (EMC). Part 3–12: Limits – Limits for harmonic currents produced by equipment connected to public low-voltage systems with input current >16 A and \leq A per phase. [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://webstore.iec.ch/publication/28164>.

63. Jan L., Fefer D., Kosmelj K., Gaberscik A., Jerman I. Geomagnetic and strong static magnetic field effects on growth and chlorophyll a fluorescence in *Lemna minor* // *Bioelectromagnetics*. – 2015. – Vol. 36(3). – P. 190 - 203. doi: 10.1002/bem.21898.

64. Joseph Friedman Mechanism of short-term ERK activation by electromagnetic fields at mobile phone frequencies/ Joseph Friedman, Sarah Kraus, Yirmi Hauptman, Yoni Schiff, Rony Seger// *Biochem. J.*, 2007. – 405, 559-568.

65. Kalinin L.G., Boshkova I.L., Panchenko G.I., Kolomiichuk S.G. The influence of a low- and high-frequency electromagnetic fields on seeds // *Biofizika*. – 2005. – Vol. 50(2). – P. 361 - 366.

66. Khan M.D., Ali S., Azizullah A., Shuijin Z. Use of various biomarkers to explore the effects of GSM and GSM-like radiations on flowering plants // *Environ. Sci. Pollut. Res. Int.* – 2018. – Vol. 25(25). – P. 24611 - 24628. doi: 10.1007/s11356-018-2734-3.

67. Krylov V.V., Bolotovskaya I.V., Osipova E.A. The response of European *Daphnia magna* Straus and Australian *Daphnia carinata* King to changes in geomagnetic field // *Electromagn. Biol. Med.* – 2013. – Vol. 32(1). – P. 30 - 39. doi: 10.3109/15368378.2012.700291.

68. Liboff A.R., Williams T.Jr., Strong D.M., Wistar R.Jr. Time-varying magnetic fields: effect on DNA synthesis // *Science*. – 1984. – Vol. 223(4638). – P. 818 - 820.

69. Low-voltage switchgear and controlgear assemblies. Assemblies for power distribution in public networks. [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://shop.bsigroup.com/ProductDetail/?pid=000000000030194269>

70. STANDARD by British-Adopted European Standard: EN 61439-2: 2011 EN 61439-2: 2011 Low-voltage switchgear and controlgear assemblies. Power switchgear and controlgear assemblies.. [Электронный ресурс] – Режим доступа: https://www.techstreet.com/standards/bs-en-61439-2-2011?product_id=1820138.

71. STANDARD by British-Adopted European Standard: EN 61557-12: 2008 Electrical safety in low voltage distribution systems up to 1000 V a.c. and 1500 V d.c. Equipment for testing, measuring or monitoring of protective measures. Performance measuring and monitoring devices (PMD). [Электронный ресурс] – Режим доступа: https://www.techstreet.com/standards/bs-en-61557-12-2008?product_id=15695434.

72. Temur'yants N.A., Kostyuk A.S., Tumanyants K.N. Electromagnetic Screening Alters Behavior in Rats // *Neuroscience Behavioral Physiology*. – 2016. – Vol. 46, Issue 7. – P. 770 – 775.

73. Vian A., Faure C., Girard S., Davies E., Halle F., Bonnet P., Ledoigt G., Paladian F. Plants Respond to GSM-Like Radiation // *Plant Signal. Behav.* – 2007. – Vol. 2(6). – P. 522 - 524.

74. Xu C., Wei S., Lu Y., Zhang Y., Chen C., Song T. Removal of the local geomagnetic field affects reproductive growth in *Arabidopsis* // *Bioelectromagnetics*. – 2013. – Vol. 34(6). – P. 37 - 442. doi: 10.1002/bem.21788.

ДОДАТОК А

Формула для розрахунку абсолютного значення X :

$$\Delta x = L_{\text{ср}} - L_i,$$

де Δx – абсолютне значення x ; $L_{\text{ср}}$ – середня довжина проростків; L_i – довжина -проростка.

Таблиця 1

Довжина коренів без впливу мобільного телефону (контроль)

№	Довжина кореня, см	Δx	Δx^2
1	7,6	$ 7,6-7,97 =0,37$	0,1369
2	6,4	$ 6,4-7,97 =1,57$	2,4649
3	8,2	$ 8,2-7,97 =0,23$	0,0529
4	8,9	$ 8,9-7,97 =0,93$	0,8649
5	12,5	$ 2,5-7,97 =5,47$	29,9209
6	8,8	$ 8,8-7,97 =0,83$	0,6889
7	8,4	$ 8,4-7,97 =0,43$	0,1849
8	8,6	$ 8,6-7,97 =0,63$	0,3969
9	5,5	$ 5,5-7,97 =2,47$	6,1009
10	7,6	$ 7,6-7,97 =0,37$	0,1369
11	8,8	$ 8,8-7,97 =0,83$	0,6889
12	8,7	$ 8,7-7,97 =0,12$	0,7300
13	6,7	$ 6,7-7,97 =1,27$	1,6129
14	8,9	$ 8,9-7,97 =0,93$	0,8649
15	8,9	$ 8,9-7,97 =0,93$	0,8649
16	9,0	$ 9,0-7,97 =1,03$	1,0609
17	8,3	$ 8,3-7,97 =0,33$	0,1089
18	7,4	$ 7,4-7,97 =0,57$	0,3249
19	5,8	$ 5,8-7,97 =2,17$	4,7089
20	6,7	$ 6,7-7,97 =1,27$	1,6129
21	7,7	$ 7,7-7,97 =0,27$	0,0729

Продовження таблиці 1

22	7,5	$ 7,5-7,97 =0,47$	0,2209
23	8,9	$ 8,9-7,97 =0,93$	0,8649
24	8,3	$ 8,3-7,97 =0,33$	0,1089
25	9,6	$ 9,6-7,97 =1,63$	2,6569
26	11,9	$ 11,9-7,97 =3,93$	15,4449
27	8,8	$ 8,8-7,97 =0,83$	0,6889
28	4,7	$ 4,7-7,97 =3,27$	10,6929
29	7,1	$ 7,1-7,97 =0,87$	0,7869
30	5,6	$ 5,6-7,97 =2,37$	5,6169
31	11,0	$ 11,0-7,97 =3,03$	9,1809
32	8,8	$ 8,8-7,97 =0,83$	13,8384
33	9,7	$ 9,7-7,97 =1,73$	2,9929
34	3,4	$ 3,4-7,97 =4,57$	20,8849
35	8,7	$ 8,7-7,97 =0,73$	0,5329
36	9,1	$ 9,1-7,97 =1,13$	1,2769
37	6,7	$ 6,7-7,97 =1,27$	1,6129
38	10,4	$ 10,4-7,97 =2,43$	5,9049
39	4,6	$ 4,6-7,97 =3,37$	11,3569
40	7,9	$ 7,9-7,97 =0,07$	0,0049
41	4,7	$ 4,7-7,97 =3,27$	10,6929

Таблиця 2

Довжина коренів на відстані 0 м від мобільного телефону

№	Довжина кореня, см	Δx	Δx^2
1	7,3	$ 7,3-8,07 =0,77$	0,5929
2	5,9	$ 5,9-8,07 =2,17$	4,7089
3	7,6	$ 7,6-8,07 =0,47$	0,2209
4	7,8	$ 7,8-8,07 =0,27$	0,0729

Продовження таблиці 2

5	10,2	$ 10,2-8,07 =2,13$	4,5369
6	8,1	$ 8,1-8,07 =0,03$	0,0009
7	7,8	$ 7,8-8,07 =0,27$	0,0729
8	7,8	$ 7,8-8,07 =0,27$	0,0729
9	5,3	$ 5,3-8,07 =2,77$	7,6729
10	7,0	$ 7,0-8,07 =1,07$	1,1449
11	9,9	$ 9,9-8,07 =1,83$	3,3489
12	8,1	$ 8,1-8,07 =0,03$	0,0009
13	5,5	$ 5,5-8,07 =2,57$	6,6049
14	8,3	$ 8,3-8,07 =0,23$	0,0529
15	8,3	$ 8,3-8,07 =0,23$	0,0529
16	9,3	$ 9,3-8,07 =1,23$	1,5129
17	7,5	$ 7,5-8,07 =0,57$	0,3249
18	6,8	$ 6,8-8,07 =1,27$	1,6129
19	5,3	$ 5,3-8,07 =2,77$	7,6729
20	6,1	$ 6,1-8,07 =1,97$	3,8809
21	7,0	$ 7,0-8,07 =1,07$	1,1449
22	6,9	$ 6,9-8,07 =1,17$	1,3689
23	7,9	$ 7,9-8,07 =0,17$	0,0289
24	10,1	$ 10,1-8,07 =2,03$	4,1209
25	9,3	$ 9,3-8,07 =1,23$	1,5129
26	11,3	$ 11,3-8,07 =3,23$	10,4329
27	8,3	$ 8,3-8,07 =0,23$	0,0529
28	4,0	$ 4,0-8,07 =4,07$	16,5649
29	7,2	$ 7,2-8,07 =0,87$	0,7569
30	5,0	$ 5,0-8,07 =3,07$	9,4249
31	13,0	$ 13,0-8,07 =4,93$	24,3049
32	12,3	$ 12,3-8,07 =4,23$	17,8929

Продовження таблиці 2

33	9,1	$ 9,1-8,07 =1,03$	1,0609
34	11,7	$ 11,7-8,07 =3,63$	13,1769
35	7,8	$ 7,8-8,07 =0,27$	0,0729
36	8,6	$ 8,6-8,07 =0,53$	0,2809
37	5,8	$ 5,8-8,07 =2,27$	5,1529
38	9,4	$ 9,4-8,07 =1,33$	1,7689
39	10,1	$ 10,1-8,07 =2,03$	4,1209

Таблиця 3

Довжина коренів на відстані 1,0 м від мобільного телефона

№	Довжина кореня, см	Δx	Δx^2
1	4,3	$ 4,3-6,14 =1,84$	3,3856
2	5,2	$ 5,2-6,14 =0,94$	0,8836
3	7,8	$ 7,8-6,14 =1,66$	2,7556
4	9,0	$ 9,0-6,14 =2,86$	8,1796
5	8,7	$ 8,7-6,14 =2,56$	6,5536
6	7,5	$ 7,5-6,14 =1,36$	1,8496
7	7,0	$ 7,0-6,14 =0,86$	0,7396
8	7,6	$ 7,6-6,14 =1,46$	2,1316
9	6,9	$ 6,9-6,14 =0,76$	0,5776
10	5,9	$ 5,9-6,14 =0,24$	0,0576
11	6,0	$ 6,0-6,14 =0,14$	0,0196
12	7,9	$ 7,9-6,14 =1,76$	3,0976
13	7,0	$ 7,0-6,14 =0,86$	0,7396
14	6,6	$ 6,6-6,14 =0,46$	0,2116
15	6,6	$ 6,6-6,14 =0,46$	0,2116
16	7,2	$ 7,2-6,14 =1,06$	1,1236
17	5,8	$ 5,8-6,14 =0,34$	0,1156

Продовження таблиці 3

18	5,6	$ 5,6-6,14 =0,54$	0,2916
19	6,5	$ 6,5-6,14 =0,36$	0,1296
20	4,4	$ 4,4-6,14 =1,74$	3,0276
21	2,8	$ 2,8-6,14 =3,34$	11,1556
22	6,4	$ 6,4-6,14 =0,26$	0,0676
23	6,1	$ 6,1-6,14 =0,04$	0,0016
24	6,5	$ 6,5-6,14 =0,36$	0,1296
25	4,2	$ 4,2-6,14 =1,94$	3,7636
26	7,3	$ 7,3-6,14 =1,16$	1,3456
27	3,7	$ 3,7-6,14 =2,44$	5,9536
28	5,9	$ 5,9-6,14 =0,24$	0,0576
29	3,5	$ 3,5-6,14 =2,64$	6,9696
30	3,5	$ 3,5-6,14 =2,64$	6,9696

Таблиця 4

Довжина коренів на відстані 1,5 м від мобільного телефона

№	Довжина кореня, см	Δx	Δx^2
1	4,0	$ 4,0-7,19 =3,19$	10,1761
2	5,3	$ 5,3-7,19 =1,89$	3,5721
3	4,3	$ 4,3-7,19 =2,89$	8,3521
4	8,6	$ 8,6-7,19 =1,41$	1,9881
5	7,0	$ 7,0-7,19 =0,19$	0,0361
6	10,2	$ 10,2-7,19 =3,01$	9,0601
7	7,8	$ 7,8-7,19 =0,61$	0,3721
8	7,9	$ 7,9-7,19 =0,71$	0,5041
9	6,3	$ 6,3-7,19 =0,89$	0,7921
10	5,9	$ 5,9-7,19 =1,29$	1,6641
11	8,6	$ 8,6-7,19 =1,41$	1,9881

Продовження таблиці 4

12	10,5	$ 10,5-7,19 =3,31$	10,9561
13	8,7	$ 8,7-7,19 =1,51$	2,2801
14	9,5	$ 9,5-7,19 =2,31$	5,3361
15	10,0	$ 10,0-7,19 =2,81$	7,8961
16	9,1	$ 9,1-7,19 =1,91$	3,6481
17	7,9	$ 7,9-7,19 =0,71$	0,5041
18	8,4	$ 8,4-7,19 =1,21$	1,4641
19	5,2	$ 5,2-7,19 =1,99$	3,9601
20	4,6	$ 4,6-7,19 =2,59$	6,7081
21	6,0	$ 6,0-7,19 =1,19$	1,4161
22	2,4	$ 2,4-7,19 =4,79$	22,9441

Таблиця 5

Довжина коренів на відстані 2,0 м від мобільного телефону

№	Довжина кореня, см	Δx	Δx^2
1	6,4	$ 6,4-6,59 =0,19$	0,0361
2	7,6	$ 7,6-6,59 =1,01$	1,0201
3	5,8	$ 5,8-6,59 =0,79$	0,6241
4	6,4	$ 6,4-6,59 =0,19$	0,0361
5	6,7	$ 6,7-6,59 =0,11$	0,0121
6	7,0	$ 7,0-6,59 =0,41$	0,1681
7	7,3	$ 7,3-6,59 =0,71$	0,5041
8	5,8	$ 5,8-6,59 =0,79$	0,6241
9	5,3	$ 5,3-6,59 =1,29$	1,6641
10	6,3	$ 6,3-6,59 =0,29$	0,0841
11	5,5	$ 5,5-6,59 =1,09$	1,1881
12	9,5	$ 9,5-6,59 =2,91$	8,4681
13	5,2	$ 5,2-6,59 =1,39$	1,9321

Продовження таблиці 5

14	4,2	$ 4,2-6,59 =2,39$	5,7121
15	6,1	$ 6,1-6,59 =0,49$	0,2401
16	7,7	$ 7,7-6,59 =1,11$	1,2321
17	9,0	$ 9,0-6,59 =2,41$	5,8081
18	7,1	$ 7,1-6,59 =0,51$	0,2601
19	6,3	$ 6,3-6,59 =0,29$	0,0841

Таблиця 6

Довжина коренів на відстані 3,0 м від мобільного телефону

№	Довжина кореня, см	Δx	Δx^2
1	8,2	$ 8,2-5,93 =2,27$	5,1529
2	7,8	$ 7,8-5,93 =1,87$	3,4969
3	6,5	$ 6,5-5,93 =0,57$	0,3249
4	7,9	$ 7,9-5,93 =1,97$	3,8809
5	7,0	$ 7,0-5,93 =1,07$	1,1449
6	4,0	$ 4,0-5,93 =1,93$	3,7249
7	6,3	$ 6,3-5,93 =0,37$	0,1369
8	4,3	$ 4,3-5,93 =1,63$	2,6569
9	5,8	$ 5,8-5,93 =0,13$	0,0169
10	3,8	$ 3,8-5,93 =2,13$	4,5369
11	5,0	$ 5,0-5,93 =0,93$	0,8649
12	6,0	$ 6,0-5,93 =0,07$	0,0049
13	6,9	$ 6,9-5,93 =0,97$	0,9409
14	2,2	$ 2,2-5,93 =3,73$	13,9129
15	1,7	$ 1,7-5,93 =4,23$	17,8929
16	6,3	$ 6,3-5,93 =0,37$	0,1369
17	7,7	$ 7,7-5,93 =1,77$	3,1329
18	6,2	$ 6,2-5,93 =0,27$	0,0729

Продовження таблиці 6

19	6,8	$ 6,8-5,93 =0,87$	0,7569
20	7,0	$ 7,0-5,93 =1,07$	1,1449
21	7,0	$ 7,0-5,93 =1,07$	1,1449
22	7,5	$ 7,5-5,93 =1,57$	2,4649
23	8,2	$ 8,2-5,93 =2,27$	5,1529
24	8,4	$ 8,4-5,93 =2,47$	6,1009
25	4,1	$ 4,1-5,93 =1,83$	3,3489
26	1,5	$ 1,5-5,93 =4,43$	19,6249

Таблиця 7

Довжина епікотилів без впливу мобільного телефону (контроль)

№	Довжина кореня, см	Δx	Δx^2
1	9,2	$ 9,2-6,89 =2,31$	5,3361
2	7,3	$ 7,3-6,89 =0,41$	0,1681
3	3,3	$ 3,3-6,89 =3,59$	12,8881
4	6,6	$ 6,6-6,89 =0,29$	0,0841
5	8,2	$ 8,2-6,89 =1,31$	1,7161
6	3,8	$ 3,08-6,89 =3,09$	9,5481
7	9,0	$ 9,0-6,89 =2,11$	4,4521
8	4,0	$ 4,0-6,89 =2,89$	8,3521
9	7,2	$ 7,2-6,89 =0,31$	0,0961
10	3,1	$ 3,1-6,89 =3,79$	14,3641
11	8,1	$ 8,1-6,89 =1,21$	1,4641
12	4,3	$ 4,3-6,89 =2,59$	6,7081
13	8,2	$ 8,2-6,89 =1,31$	1,7161
14	9,1	$ 9,1-6,89 =2,21$	4,8841
15	8,2	$ 8,2-6,89 =1,31$	1,7161
16	9,1	$ 9,1-6,89 =2,21$	4,8841

Продовження таблиці 7

17	7,3	$ 7,3-6,89 =0,41$	0,1681
18	8,7	$ 8,7-6,89 =1,81$	3,2761
19	1,1	$ 1,1-6,89 =5,79$	33,5241
20	10,5	$ 10,5-6,89 =3,61$	13,0321
21	8,5	$ 8,5-6,89 =1,61$	2,5921
22	7,0	$ 7,0-6,89 =0,11$	0,0121
23	4,0	$ 4,0-6,89 =2,89$	8,3521
24	2,5	$ 2,5-6,89 =4,39$	19,2721
25	8,8	$ 8,8-6,89 =1,91$	3,6481
26	8,3	$ 8,3-6,89 =1,41$	1,9881
27	3,3	$ 3,3-6,89 =3,59$	12,8881
28	7,3	$ 7,3-6,89 =0,41$	0,1681
29	9,2	$ 9,2-6,89 =2,31$	5,3361
30	8,7	$ 8,7-6,89 =1,81$	3,2761
31	8,6	$ 8,6-6,89 =1,71$	2,9241
32	4,3	$ 4,3-6,89 =2,59$	6,7081
33	7,5	$ 7,5-6,89 =0,61$	0,3721
34	4,4	$ 4,4-6,89 =2,49$	6,2001
35	9,1	$ 9,1-6,89 =2,21$	4,8841
36	6,5	$ 6,5-6,89 =0,39$	0,1521
37	8,3	$ 8,3-6,89 =1,41$	1,9881
38	9,0	$ 9,0-6,89 =2,11$	4,4521
39	7,5	$ 7,5-6,89 =0,61$	0,3721
40	9,0	$ 9,0-6,89 =2,11$	4,4521
41	4,4	$ 4,4-6,89 =2,49$	6,2001

Таблиця 8

Довжина епікотилів на відстані 0 м від мобільного телефону

№	Довжина епікотиля, см	Δx	Δx^2
1	6,6	$ 6,6-7,15 =0,55$	0,3025
2	3,8	$ 3,8-7,15 =3,35$	11,2225
3	8,2	$ 8,2-7,15 =1,05$	1,1025
4	6,7	$ 6,7-7,15 =0,45$	0,2025
5	9,0	$ 9,0-7,15 =1,85$	3,4225
6	8,3	$ 8,3-7,15 =1,15$	1,3225
7	6,5	$ 6,5-7,15 =0,65$	0,4225
8	9,1	$ 9,1-7,15 =1,95$	3,8025
9	4,4	$ 4,4-7,15 =2,75$	7,5625
10	7,5	$ 7,5-7,15 =0,35$	0,1225
11	9,1	$ 9,1-7,15 =1,95$	3,8025
12	7,8	$ 7,8-7,15 =0,65$	0,4225
13	4,3	$ 4,3-7,15 =2,85$	8,1225
14	8,5	$ 8,5-7,15 =1,35$	1,8225
15	8,6	$ 8,6-7,15 =1,45$	2,1025
16	8,7	$ 8,7-7,15 =1,55$	2,4025
17	9,2	$ 9,2-7,15 =2,05$	4,2025
18	7,3	$ 7,3-7,15 =0,15$	0,0225
19	3,3	$ 3,3-7,15 =3,85$	14,8225
20	8,3	$ 8,3-7,15 =1,15$	1,3225
21	8,8	$ 8,8-7,15 =1,65$	2,7225
22	2,5	$ 2,5-7,15 =4,65$	21,6225
23	4,0	$ 4,0-7,15 =3,15$	9,9225
24	7,0	$ 7,0-7,15 =0,15$	0,0225
25	8,5	$ 8,5-7,15 =1,35$	1,8225

Продовження таблиці 8

26	10,5	$ 10,5-7,15 =3,35$	11,2225
27	9,0	$ 9,0-7,15 =1,85$	3,4225
28	1,1	$ 1,1-7,15 =6,05$	36,6025
29	8,7	$ 8,7-7,15 =1,55$	2,4025
30	7,3	$ 7,3-7,15 =0,15$	0,0225
31	9,1	$ 9,1-7,15 =1,95$	3,8025
32	8,2	$ 8,2-7,15 =1,05$	1,1025
33	9,1	$ 9,1-7,15 =1,95$	3,8025
34	8,2	$ 8,2-7,15 =1,05$	1,1025
35	4,3	$ 4,3-7,15 =2,85$	8,1225
36	8,1	$ 8,1-7,15 =0,95$	0,9025
37	3,1	$ 3,1-7,15 =4,05$	16,4025
38	7,2	$ 7,2-7,15 =0,05$	0,0025
39	9,1	$ 9,1-7,15 =1,95$	3,8025

Таблиця 9

Довжина епікотилів на відстані 1,0 м від мобільного телефону

№	Довжина епікотиля, см	Δx	Δx^2
1	3,5	$ 3,5-7,56 =4,06$	16,4836
2	4,7	$ 4,7-7,56 =2,86$	8,1796
3	8,0	$ 8,0-7,56 =0,44$	0,1936
4	9,5	$ 9,5-7,56 =1,94$	3,7636
5	9,0	$ 9,0-7,56 =1,44$	2,0736
6	8,4	$ 8,4-7,56 =0,84$	0,7056
7	8,7	$ 8,7-7,56 =1,14$	1,2996
8	8,5	$ 8,5-7,56 =0,94$	0,8836
9	7,8	$ 7,8-7,56 =0,24$	0,0576

Продовження таблиці 9

10	8,9	$ 8,9-7,56 =1,34$	1,7956
11	7,6	$ 7,6-7,56 =0,04$	0,0016
12	8,4	$ 8,4-7,56 =0,84$	0,7056
13	7,3	$ 7,3-7,56 =0,26$	0,0676
14	10,0	$ 10,0-7,56 =2,44$	5,9536
15	9,0	$ 9,0-7,56 =1,44$	2,0736
16	8,2	$ 8,2-7,56 =0,64$	0,4096
17	10,2	$ 10,2-7,56 =2,64$	6,9696
18	7,9	$ 7,9-7,56 =0,34$	0,1156
19	10,4	$ 10,4-7,56 =2,84$	8,0656
20	6,5	$ 6,5-7,56 =1,06$	1,1236
21	2,3	$ 2,3-7,56 =5,26$	27,6676
22	9,5	$ 9,5-7,56 =1,94$	3,7636
23	10,6	$ 10,6-7,56 =3,04$	9,2416
24	9,3	$ 9,3-7,56 =1,74$	3,0276
25	3,5	$ 3,5-7,56 =4,06$	16,4836
26	8,6	$ 8,6-7,56 =1,04$	1,0816
27	3,5	$ 3,5-7,56 =4,06$	16,4836
28	6,7	$ 6,7-7,56 =0,86$	0,7396
29	4,7	$ 4,7-7,56 =2,86$	8,1796
30	5,5	$ 5,5-7,56 =2,06$	4,2436

Таблиця 10

Довжина епікотилів на відстані 1,5 м від мобільного телефону

№	Довжина епікотиля, см	Δx	Δx^2
1	3,5	$ 3,5-6,77 =3,27$	10,6929
2	2,7	$ 2,7-6,77 =4,07$	16,5649

Продовження таблиці 10

3	4,2	$ 4,2-6,77 =2,57$	6,6049
4	7,4	$ 7,4-6,77 =0,63$	0,3969
5	6,6	$ 6,6-6,77 =0,17$	0,0289
6	9,9	$ 9,9-6,77 =3,13$	9,7969
7	7,2	$ 7,2-6,77 =0,43$	0,1849
8	7,1	$ 7,1-6,77 =0,33$	0,1089
9	5,4	$ 5,4-6,77 =1,37$	1,8769
10	3,6	$ 3,6-6,77 =3,17$	10,0489
11	9,3	$ 9,3-6,77 =2,53$	6,4009
12	9,4	$ 9,4-6,77 =2,63$	6,9169
13	9,7	$ 9,7-6,77 =2,93$	8,5849
14	10,0	$ 10,0-6,77 =3,23$	10,4329
15	10,6	$ 10,6-6,77 =3,83$	14,6689
16	11,0	$ 11,0-6,77 =4,23$	17,8929
17	9,3	$ 9,3-6,77 =2,53$	6,4009
18	9,9	$ 9,9-6,77 =3,13$	9,7969
19	4,1	$ 4,1-6,77 =2,67$	7,1289
20	3,2	$ 3,2-6,77 =3,57$	12,7449
21	3,7	$ 3,7-6,77 =3,07$	9,4249
22	1,1	$ 1,1-6,77 =5,67$	32,1489

Таблиця 11

Довжина епікотилів на відстані 2,0 м від мобільного телефону

№	Довжина епікотиля, см	Δx	Δx^2
1	7,2	$ 7,2-7,50 =0,3$	0,09
2	9,8	$ 9,8-7,50 =2,3$	5,29
3	5,5	$ 5,5-7,50 =2,0$	4,0

Продовження таблиці 11

4	8,0	$ 8,0-7,50 =0,5$	0,25
5	5,9	$ 5,9-7,50 =1,6$	2,56
6	4,8	$ 4,8-7,50 =2,7$	7,29
7	8,7	$ 8,7-7,50 =1,2$	1,44
8	7,5	$ 7,5-7,50 =0$	0
9	7,7	$ 7,7-7,50 =0,2$	0,04
10	9,0	$ 9,0-7,50 =1,5$	2,25
11	6,9	$ 6,9-7,50 =0,6$	0,36
12	11,6	$ 11,6-7,50 =4,1$	16,81
13	8,3	$ 8,3-7,50 =0,8$	0,64
14	3,2	$ 3,2-7,50 =4,3$	18,49
15	6,3	$ 6,3-7,50 =1,2$	1,44
16	8,6	$ 8,6-7,50 =1,1$	1,21
17	10,0	$ 10,0-7,50 =2,5$	6,25
18	9,8	$ 9,8-7,50 =2,3$	5,29
19	3,7	$ 3,7-7,50 =3,8$	14,44

Таблиця 12

Довжина епікотилів на відстані 3,0 м від мобільного телефону

№	Довжина епікотиля, см	Δx	Δx^2
1	9,3	$ 9,3-6,08 =3,22$	10,3684
2	2,3	$ 2,3-6,08 =3,78$	14,2884
3	6,7	$ 6,7-6,08 =0,62$	0,3844
4	6,9	$ 6,9-6,08 =0,82$	0,6724
5	7,5	$ 7,5-6,08 =1,42$	2,0164
6	1,7	$ 1,7-6,08 =4,38$	19,1844
7	4,5	$ 4,5-6,08 =1,58$	2,4964

Продовження таблиці 12

8	4,3	$ 4,3-6,08 =1,78$	3,1684
9	5,7	$ 5,7-6,08 =0,38$	0,1444
10	3,0	$ 3,0-6,08 =3,08$	9,4864
11	9,5	$ 9,5-6,08 =3,42$	11,6964
12	7,0	$ 7,0-6,08 =0,92$	0,8464
13	9,5	$ 9,5-6,08 =3,42$	11,6964
14	0,7	$ 0,7-6,08 =5,38$	28,9444
15	0,3	$ 0,3-6,08 =5,78$	33,4084
16	9,4	$ 9,4-6,08 =3,32$	11,0224
17	8,3	$ 8,3-6,08 =2,22$	4,9284
18	8,2	$ 8,2-6,08 =2,12$	4,4944
19	10,0	$ 10,0-6,08 =3,92$	15,3664
20	1,2	$ 1,2-6,08 =4,88$	23,8144
21	9,5	$ 9,5-6,08 =3,42$	11,6964
22	9,5	$ 9,5-6,08 =3,42$	11,6964
23	10,2	$ 10,2-6,08 =4,12$	16,9744
24	8,7	$ 8,7-6,08 =2,62$	6,8644
25	2,9	$ 2,9-6,08 =3,18$	10,1124
26	1,2	$ 1,2-6,08 =4,88$	23,8144

Формула для розрахунку енергії проростання насіння:

$$E = \frac{n}{N} * 100\%,$$

де: E - енергія проростання насіння, %; N - загальна кількість пророщуваних насінин; n - кількість насінин, що проросли.

Розрахунок енергії проростання:

$$E = \frac{41}{150} * 100\% = 27,3\%$$

$$E = \frac{39}{150} * 100\% = 26\%$$

$$E = \frac{30}{150} * 100\% = 20\%$$

$$E = \frac{22}{150} * 100\% = 14,6\%$$

$$E = \frac{19}{150} * 100\% = 12,6\%$$

$$E = \frac{26}{150} * 100\% = 17,3\%$$

Формули для розрахунку похибки середньо-арифметичних значень для довжини проростків (нормальне розподілення):

$$Scp \pm Sx * ts$$

$$Sx = \sqrt{\frac{\sum (Scp - Si)^2}{n(n-1)}}$$

де: Scp - середнє арифметичне значення довжини проростків; Sx*tst – похибка середнього арифметичного значення; tst - критерій Стюдента, який визначається за таблицею; n – об'єм вибірки (кількість проростків, довжина яких вимірювалась); Si – довжина і-проростка.

Розрахунок похибки середньо-арифметичних значень для довжини коренів (нормальне розподілення):

$$Sx = \sqrt{\frac{168,962}{41(40-1)}} = \sqrt{\frac{168,962}{1640}} = \sqrt{0,103} = 0,321$$

$$0,321 * 2,02 = 0,648$$

$$Sx = \sqrt{\frac{314,700}{39(39-1)}} = \sqrt{\frac{314,700}{1482}} = \sqrt{0,212} = 0,460$$

$$0,460 * 2,02 = 0,929$$

$$Sx = \sqrt{\frac{72,496}{30(30-1)}} = \sqrt{\frac{72,496}{870}} = \sqrt{0,083} = 0,288$$

$$0,288 * 2,05 = 0,590$$

$$S_x = \sqrt{\frac{105,6182}{22(22-1)}} = \sqrt{\frac{105,6182}{462}} = \sqrt{0,229} = 0,479$$

$$0,479 * 2,08 = 0,996$$

$$S_x = \sqrt{\frac{29,6979}{19(19-1)}} = \sqrt{\frac{29,6979}{342}} = \sqrt{0,087} = 0,295$$

$$0,295 * 2,10 = 0,620$$

$$S_x = \sqrt{\frac{101,7714}{26(26-1)}} = \sqrt{\frac{101,7714}{650}} = \sqrt{0,157} = 0,396$$

$$0,396 * 2,06 = 0,816$$

Розрахунок похибки середньо-арифметичних значень для довжини епікотелів

(нормальне розподілення):

$$S_x = \sqrt{\frac{224,616}{41(40-1)}} = \sqrt{\frac{224,616}{1640}} = \sqrt{0,137} = 0,370$$

$$0,370 * 2,02 = 0,747$$

$$S_x = \sqrt{\frac{197,3575}{39(39-1)}} = \sqrt{\frac{197,3575}{1482}} = \sqrt{0,133} = 0,365$$

$$0,365 * 2,02 = 0,737$$

$$S_x = \sqrt{\frac{151,834}{30(30-1)}} = \sqrt{\frac{151,834}{870}} = \sqrt{0,175} = 0,418$$

$$0,418 * 2,05 = 0,857$$

$$S_x = \sqrt{\frac{198,8478}{22(22-1)}} = \sqrt{\frac{198,8478}{462}} = \sqrt{0,430} = 0,656$$

$$0,656 * 2,08 = 1,364$$

$$S_x = \sqrt{\frac{88,14}{19(19-1)}} = \sqrt{\frac{88,14}{342}} = \sqrt{0,258} = 0,508$$

$$0,508 * 2,10 = 1,067$$

$$S_x = \sqrt{\frac{289,5864}{26(26-1)}} = \sqrt{\frac{289,5864}{650}} = \sqrt{0,446} = 0,668$$

$$0,668 * 2,06 = 1,376$$

Формула для розрахунку достовірності для нормальних розподілень:

$$t = \frac{|Scp_1 - Scp_2|}{\sqrt{Sx_1^2 + Sx_2^2}}$$

При $t > t_{st}$, відмінності достовірні. Де: S_1, S_2 – середні значення показника для нормального розподілення в варіантах 1 і 2; Sx_1^2, Sx_2^2 – похибки середніх значень; t_{st} - критерій Стьюдента.

Розрахунок достовірності довжин коренів для нормальних розподілень:

$$t = \frac{|7,97 - 8,07|}{\sqrt{0,321^2 + 0,460^2}} = \frac{0,1}{\sqrt{0,314641}} = \frac{0,1}{0,561} = 0,178 < t_{st} - \text{Дані недостовірні}$$

$$t = \frac{|8,07 - 6,11|}{\sqrt{0,460^2 + 0,288^2}} = \frac{1,96}{\sqrt{0,294544}} = \frac{1,96}{0,543} = 3,610 > t_{st} - \text{Дані достовірні}$$

$$t = \frac{|6,11 - 7,19|}{\sqrt{0,288^2 + 0,479^2}} = \frac{1,08}{\sqrt{0,312385}} = \frac{1,08}{0,559} = 1,932 < t_{st} - \text{Дані недостовірні}$$

$$t = \frac{|7,19 - 6,59|}{\sqrt{0,479^2 + 0,295^2}} = \frac{0,60}{\sqrt{0,316466}} = \frac{0,60}{0,563} = 1,066 < t_{st} - \text{Дані недостовірні}$$

$$t = \frac{|6,59 - 5,93|}{\sqrt{0,295^2 + 0,396^2}} = \frac{0,66}{\sqrt{0,243841}} = \frac{0,66}{0,494} = 1,336 < t_{st} - \text{Дані недостовірні}$$

$$t = \frac{|8,07 - 5,93|}{\sqrt{0,460^2 + 0,396^2}} = \frac{2,14}{\sqrt{0,368416}} = \frac{2,14}{0,607} = 3,526 > t_{st} - \text{Дані достовірні}$$

$$t = \frac{|7,97 - 6,59|}{\sqrt{0,321^2 + 0,288^2}} = \frac{1,38}{\sqrt{0,185985}} = \frac{1,38}{0,431} = 3,199 > t_{st} - \text{Дані достовірні}$$

Розрахунок достовірності довжин епікотелів для нормальних розподілень:

$$t = \frac{|6,89 - 7,15|}{\sqrt{0,370^2 + 0,365^2}} = \frac{0,26}{\sqrt{0,270125}} = \frac{0,26}{0,520} = 0,5 < t_{st}$$

– Дані недостовірні

$$t = \frac{|7,15 - 7,56|}{\sqrt{0,365^2 + 0,418^2}} = \frac{0,41}{\sqrt{0,307949}} = \frac{0,41}{0,555} = 0,739 < t_{st}$$

– Дані недостовірні

$$t = \frac{|7,56 - 6,77|}{\sqrt{0,418^2 + 0,656^2}} = \frac{0,79}{\sqrt{0,60506}} = \frac{0,79}{0,779} = 1,014 < t_{st}$$

– Дані недостовірні

$$t = \frac{|6,77 - 7,50|}{\sqrt{0,656^2 + 0,508^2}} = \frac{0,73}{\sqrt{0,6884}} = \frac{0,73}{0,830} = 0,880 < t_{st}$$

– Дані недостовірні

$$t = \frac{|7,50 - 6,08|}{\sqrt{0,508^2 + 0,668^2}} = \frac{1,42}{\sqrt{0,731408}} = \frac{1,42}{0,855} = 1,660 < t_{st}$$

– Дані недостовірні

Таблиця 13

**Вплив електромагнітного випромінювання від мобільного телефону у
фітотесті «проростаюче насіння»**

Відстань від мобільного телефону, м	Довжина кореня, см	Довжина епікотиля, см	Енергія проростання, %
Контроль, без телефону	7,97 ± 0,66	6,89 ± 0,75	27,3
0	8,07 ± 0,93	7,15 ± 0,74	26,0
1	6,11 ± 0,59*	7,56 ± 0,86	20,0
1,5	7,19 ± 0,99	6,77 ± 1,36	14,6
2	6,59 ± 0,62*	7,50 ± 1,07	12,6
3	5,93 ± 0,82*	6,08 ± 1,38	17,3

* – дані достовірно відрізняються від відповідних контрольних значень.