

УДК 613: (331.4:316.343,655)

ГІПОГЕОМАГНІТНЕ ПОЛЕ І ЙОГО ВПЛИВ НА БІОЛОГІЧНІ ОБ'ЄКТИ

Никифорок О. І.

Державна установа «Інститут медицини праці Національної академії медичних наук України», м. Київ

Вступ. Магнітне поле Землі (геомагнітне поле) є одним з важливих екологічних чинників і необхідним фоном для нормального функціонування організму людини і тварин. Проблема здоров'я та захисту осіб, які тривалий час знаходяться в екрануючих від геомагнітного поля (ГМП) приміщеннях (у літаках, космічних апаратах, морських судах, закритій військовій техніці, підземних спорудах, метро тощо), є актуальною для сучасної гігієнічної науки.

Мета дослідження – вивчення та узагальнення наукових даних щодо впливу геомагнітного поля на організм людини і тварин з визначенням напрямку подальших досліджень та гігієнічної регламентації даного чинника.

Матеріали та методи дослідження. Аналітичний огляд наукових публікацій з використанням бази даних PubMed, Національної бібліотеки імені В. І. Вернадського, Державної науково-технічної бібліотеки України, Національної медичної бібліотеки України.

Результати. Встановлено, що ГМП є невід'ємним чинником сучасного довкілля та виробничого середовища, який в умовах екранування різноманітними металомісткими конструкціями здатний негативно впливати на організм людини, призводячи до структурно-функціональних змін та чинить потенційні ризики несприятливої дії. Залежно від ступеня ослаблення ГМП і тривалості перебування в цьому середовищі можуть розвиватися адаптаційні, стресові та компенсаторні реакції або незворотні патологічні зміни. За даними літератури критичними системами при дії ГМП є нервова та імунна системи. Сучасні уявлення про біологічну дію гіпогеомагнітного поля не дозволяють оцінити та прогнозувати всі неприємні наслідки, і потрібні додаткові дослідження його впливу.

Висновки. Найперспективними напрямками в області вивчення впливу гіпогеомагнітного поля є дослідження гострих ефектів і результатів хронічного впливу ГМП малих рівнів на організм людини з виявленням відповідних маркерів біологічної дії. Вплив ослабленого ГМП в Україні потребує подальшої регламентації та розробки профілактичних заходів.

Ключові слова: гіпогеомагнітне поле, біологічні об'єкти, організм людини, лабораторні тварини, гігієнічна регламентація

Вступ

Магнітне поле Землі (геомагнітне поле) є одним з важливих екологічних чинників і слугує необхідним фоном для нормального функціонування організму людини та тварин [1,3]. Магнітна індукція геомагнітного поля (ГМП) зростає від магнітного екватора до магнітних полюсів, в середньому від 33,4 до 55,7 мкТл, не враховуючи певні території з аномально високими (до 190 мкТл) або низькими (менше ніж 26 мкТл) природними значеннями магнітної індукції ГМП [4]. За природних умов ГМП є стаціонарним, має високу однорідність і величину модуля вектора індукції в широтній зоні України близько 50 мкТл, варіюючи від 48,2 мкТл на півдні до 50,5 мкТл на півночі країни. Земне органічне життя, починаючи від мікроорганізмів і закінчуючи людиною, відгукується на зовнішні коливання варіаціями своїх фізіологічних властивостей [5].

Гіпогеомагнітне поле (ГГМП) – це ослаблене ГМП всередині технологічного об'єкту. Проблема здоров'я та захисту людей, які за родом своєї діяль-

ності тривалий час знаходяться в екрануючих природні ГМП герметично закритих тонко- і товстостінних приміщеннях (у літаках, космічних апаратах, морських судах, закритій військовій техніці, підземних спорудах, метро тощо) викликає сьогодні все більший інтерес [6, 7]. Наприклад, на морських судах екіпаж тривалий час знаходиться й працює в умовах екранованого приміщення, тобто в умовах суперпозиції постійних полів, що створюються ослабленим геомагнітним полем, полів феромагнітних частин конструкції судна і полів, створюваних постійними струмами, що протікають по цим конструкціям [8]. Гіпогеомагнітні умови будуть важливим чинником перебування людини в далекому космосі, при міжпланетних перельотах, в умовах Місяця і Марса, де рівень магнітного поля в сотні разів менший, ніж на Землі [8, 9].

В останні десятиліття відкрилися нові аспекти проблеми електромагнітної безпеки людини, які свідчать, що тривале перебування в умовах ГМП призводить до зниження працездатності людини,

негативного впливу на її здоров'я. Такі поля є біологічно активним чинником, що викликає ряд змін на фізіологічному, біохімічному та морфологічному рівнях функціонування організму. Встановлено, що при ослабленні ГМП у 2–5 разів спостерігається збільшення на 40 % кількості захворювань у осіб, які працюють у таких умовах [10]. Як показують дослідження, складові техногенних порушень ГМП можуть викликати функціональні розлади нервової та серцево-судинної систем, призводити до розладів поведінкових реакцій, до прискореного старіння організму людини. Виявлено високий відносний ризик розвитку артеріальної гіпертензії та ішемічної хвороби серця. Також виявлено зміни, що свідчать про порушення неспецифічних факторів захисту та імунологічної реактивності організму з формуванням кількісно-функціонального імунодефіциту. Частота захворювань, що супроводжуються синдромом імунологічної недостатності, суттєво перевищує таку серед практично здорових людей [10–12]. Водночас вимогами нашого часу є не лише констатація феномена такого роду взаємодій, а з'ясування механізмів взаємодії біологічних систем із зміненням ГМП.

Мета дослідження – вивчення та узагальнення наукових даних щодо впливу ГМП на організм людини й тварин з визначенням напрямку подальших досліджень та гігієнічної регламентації даного чинника.

Матеріали та методи дослідження

Аналітичний огляд наукових публікацій з використанням бази даних PubMed, Національної бібліотеки імені В. І. Вернадського, Державної науково-технічної бібліотеки України, Національної медичної бібліотеки України.

Результати дослідження та їх обговорення

Дослідження в умовах екранованого простору, тобто в умовах гіпомагнітної камери є одним з сучасних методичних підходів, що дозволяють виявити молекулярні механізми біотропних властивостей ГМП на живий організм. Виявлено, що при екрануванні, яке ослаблює магнітне поле, змінюється стан фізико-хімічних систем [6], бактерій, ізолюваних клітин, клітинних культур [13]. У той самий час вплив цього чинника на тварин і людину вивчений недостатньо, тому дослідження феноме-

нології цих впливів на людину й тварин є актуальною проблемою сьогодення [14].

У роботі Є. А. Бистрової та співавт. досліджувався вплив постійного магнітного та екранованого ГМП на розвиток колоній міксоміцетів. Встановлено, що магнітне поле, що перевищує магнітне поле Землі, з індукцією 8 мТл головним чином впливає на швидкість росту культури, тоді як екрановане магнітне поле величиною 2 мкТл впливає на процеси споронесення та морфологію клітин [15].

В експериментах на щурах В. А. Ямшановим та співавт. (2005 р.) було вивчено вплив часткового екранування тулуба тварин від дії природних ГМП на склад білих клітин крові [16]. Показано, що через 3–5 год впливу достовірно збільшувалася абсолютна кількість гранулоцитів, яка через 24 год відновлювалася до початкового рівня. Зроблено припущення, що часткове екранування електромагнітного поля гальмувало розпад гранулоцитів, що призводило до їх накопичення.

А. Ю. Воронін та В. Ю. Куліков (2004 р.) встановили, що від часу впливу ГМП дуже низької напруженості залежить кількість ендогенних колоній клітин у селезінці мишей [17].

У дослідженні В. Ю. Кулікова та співавт. (2011 р.) експериментально встановлено (миші лінії Balb/C, 40 самців у віці 12–13 тижнів, вагою 47–52 г), що дія ослабленого ГМП на рівні цілісного організму проявляється розвитком класичної стрес-реакції, вплив якої на систему гемостазу проявляється ефектами вазоконстрикції, викидом медіаторів – адреналіну, норадреналіну та серотоніну, стимуляції процесів згортання крові [18].

А. С. Костюк та співавт. (2013 р.) встановили, що вплив помірного феромагнітного екранування гальмує на 8–10 % ріст і розвиток *Drosophila melanogaster* [19].

Л. А. Portelli та співавт. (2012 р.) виявили зниження виживаності дрозофіл, що культивуються в умовах різного ступеня екранування ГМП після одноразової дії на личинок рентгенівського випромінювання. Ефект був більш виражений при більшому ступеню екранування [20].

М. Ю. Ходанович та співавт. (2011 р.) при тривалій дії зниженого ГМП не виявили суттєвих змін поведінки білих щурів згідно з тестом «відкрите поле» [21]. Проте досліджуваний чинник значимо вплинув на параметри біоелектричної активності мозку й викликав зниження абсолютної потужності

основних ритмів ЕЕГ при сенсорному навантаженні на слухову систему.

Н. А. Кривовою та співав. (2008 р.) у хронічних експериментах на щурах-самцях, поміщених в умови гіпогеомагнітного поля (100 нТл) на 10 діб, було встановлено збільшення динаміки середньої рухової активності в нічний час у піддослідних тварин порівняно з контрольними, а також різкі коливання активності щурів протягом однієї доби. На піку рухової активності з 6 до 7 год ранку встановлено різке (у 7–12 разів) збільшення міжіндивідуальних взаємодій агресивного характеру в групі піддослідних щурів порівняно з контрольними тваринами [22].

Проведені Д. В. Девіциним та співав. експерименти показали, що тривала експозиція тварин у гіпогеомагнітному середовищі модифікує фізіологічні та емоційно-поведінкові реакції. Реакція організму на знижене ГМП відповідає «неспецифічному синдрому дезінтеграції функціональних систем»; також спостерігали прояви міжвидової агресії [23].

М. Ю. Ходанович та співав. (2013 р.) виявили значиме підвищення агресивності піддослідних тварин (щури лінії Wistar) порівняно з контролем. Аналіз зрізів мозку показав зниження числа опіоїд-ергічних клітин, найбільш виражене в структурах таламуса та сірій околородопровідній речовині, а також зменшення числа активних, тобто експресуючих c-fos опіоїд-ергічних нейронів. Це могло викликати зниження больового порога в лабораторних щурів і бути причиною збільшення активної поведінки тварин, що тривалий час (21 день) знаходяться в умовах зниженого ГМП [24].

Показано, що одним зі стійких і легко відтворних ефектів слабких магнітних полів, у тому числі й ослаблених, є зміна больової чутливості. У той самий час перспективним для вивчення ефектів ослабленого магнітного поля є дослідження часової організації біологічних систем, яка є важливою характеристикою стану живої матерії [25]. Вплив знижених ГМП викликає амнезію в дрозофілі повністю після шести наступних поколінь [26].

М. Л. Куранова та співавт. (2010 р.) дослідили реакції клітин епітеліоїдної карциноми HeLa та первинних фібробластах людини VH-10 на екрановане (коефіцієнт ослаблення – 250 разів) магнітне поле Землі [30]. Отримані дані свідчать про стабілізацію білка Р-53 в ядрі клітини й вказують, що Р-53 і опосередковані ним сигнальні шляхи активної залучені в адаптацію клітини до умов ГМП. У

всіх клітинах вже за 1 год після поміщення клітин у змінні умови, мітохондріальна мережа розпадалася, утворюючи як поодинокі скупчення, так і великі нерегулярні конгломерати в цитоплазмі клітини. Кількість клітин з такою реорганізованою мережею росла зі збільшенням часу експозиції. Виявлені ефекти виявилися схожими з клітинною відповіддю на ушкодження ДНК [27].

Експерименти, проведені Г. Б. Белостоцькою та співавт. (2010 р.) на скелетних м'язових клітинах в умовах посиленого (120–160 мкТл) штучного постійного магнітного поля й ослабленого екрануванням ($k = 160$) магнітного поля Землі виявили стимулюючий ефект постійного магнітного поля та гальмівний ефект екранування на проліферацію та диференціювання скелетних м'язових клітин [28].

Оскільки одним з важливих механізмів впливу магнітних полів на біологічні системи є їхній вплив на реактивність мононуклеарів крові, що реалізується в зміні балансу між оксидантним-прооксидантним потенціалом клітини [29], метою іншого дослідження В. Ю. Кулікова та співавт. є вивчення прооксидантного та антиоксидантного потенціалу мононуклеарів крові людини (мононуклеари 18 здорових осіб) в умовах ослабленого ГМП [30]. ГМП низької напруженості було отримане у феромагнітній камері, що дозволяє екранувати геомагнітне поле та зменшувати його в 105 разів [11]. Отримані дані свідчать про зміни системи «антиоксиданти/прооксиданти» у бік прооксидантів. Також спостерігається зниження мембранного потенціалу мононуклеарів крові людини, що запускає каскад внутрішньоклітинних процесів, що супроводжуються підвищенням виробленням активних кисневих метаболітів і зміною балансу між системами генерації та інгібіції активних форм кисню [30]. Враховуючи важливу роль мононуклеарів крові в регуляції широкого спектра захисних реакцій організму, автори вважають, що виявлена закономірність відкриває нові перспективи як в розумінні молекулярно-клітинних механізмів магнітоточливості та магнітореактивності, так і у побудові стратегій їх корекції в умовах норми та патології [30].

Встановлено що адаптація організму людини до змін напруженості магнітного поля Землі протікає за участю нейроендокринної системи й проявляється переважним реагуванням глюкокортикоїдної функції кори наднирників і активацією симпатичної ланки вегетативної нервової системи [31].

Результати клініко-фізіологічного обстеження осіб, які тривалий час працюють в екранованих та підземних спорудах у гіпогеомагнітних умовах (при ослабленні ГМП у 3–10 разів) у поєднанні з іншими чинниками виробничого середовища, свідчать про їх виражений несприятливий вплив на функціональний стан центральної нервової, серцево-судинної, імунної систем і морфологічний склад периферичної крові. Виявлено несприятливі функціональні зміни в ЦНС, які проявляються в зниженні обсягу інформації що сприймається й переробляється (за показниками ПЗМР), рухливості нервових процесів (зниження КСЧМ) на тлі зростаючої напруги механізмів регуляції вегетативної нервової системи (збільшення амплітуди коливань центру маси тіла, збільшення амплітуди тремору рук). Встановлено порушення неспецифічних факторів захисту та імунної реактивності організму з формуванням кількісно-функціонального імунодефіциту [32].

В умовах ослабленого магнітного поля землі пригнічується й порушується процес когнітивної діяльності людини та виражається в зростанні кількості помилок і уповільненні часу відповіді на тестові завдання [33].

У дослідженнях на людині показано, що зниження ГМП чи створення перемінного магнітного поля змінювало критичну частоту мигтіння, період циркадних ритмів, погіршувало виконання когнітивних завдань, пам'ять і знижувало час реакції [34].

В умовах екранованого ГМП спостерігається зниження мембранного потенціалу мононуклеарів крові людини, що супроводжується змінами балансу між системами генерації та інгібіції активних форм кисню, що пояснює молекулярно-клітинні механізми магніточутливості та магнітореактивності організму [18].

В. Ю. Куліков та співавт. (2010 р.) встановили, що в умовах ослабленого ГМП (до 105 разів) осмотична резистентність еритроцитів збільшується пропорційно коефіцієнту екранування в гіпоосмолярних умовах (0,45 % розчин NaCl) [35].

А. І. Gozhenko та співавт. (2013 р.) на підставі дослідження клінічних (історії хвороби) і морфологічних (протоколи розтину) матеріалів виділили ряд особливостей клініко-морфологічних характеристик розвитку гострих порушень мозкового кровообігу у осіб, що знаходилися впродовж життя в гіпогеомагнітних умовах, які полягали в зниженні середнього віку розвитку гострих порушень мозкового кровообігу, скороченні перебігу хвороби (за рахунок зрос-

тання летальності протягом першої доби), наявності фонового розладу гемодинаміки; зменшенні розмірів вогнища деструкції в мозку, змінах характеру детриту у вогнищі деструкції. Виявлені особливості автори пов'язують з виснаженням адаптаційно-компенсаторних механізмів у осіб, що знаходяться в гіпогеомагнітних умовах [36].

Є. В. Севостьяновою (2008 р.) виявлена залежність реологічних і деяких гемостатичних параметрів крові у хворих на гіпертонічну хворобу (ГХ) від змін геліогеофізичного середовища [37]. При дослідженні *in vitro* встановлено, що при експозиції крові в гіпогеомагнітному середовищі в 64 пацієнтів (61,5 %) з ГХ відбувалося зниження в'язкості крові, у 36 (34,6 %) – підвищення, а в 4 (3,9 %) пацієнтів в'язкість крові не змінилася, тобто зниження в'язкості крові при геомагнітній депривації зустрічалось майже в 2 рази частіше. Також при 30-хв інкубації зразків крові в гіпогеомагнітній установці відбувається зменшення середніх значень агрегації тромбоцитів у пацієнтів з ГХ. На прикладі реагування системи крові як особливо магнітореактивної системи на зміни геліогеофізичних чинників в модельованих умовах підтверджений біотропний вплив гіпогеомагнітного поля на систему крові, що є особливо важливим в екранованому просторі сучасних мегаполісів.

Гігієнічні аспекти в нормуванні геомагнітного поля. На підставі даних літератури та власних досліджень встановлено, що в екранованих приміщеннях військового призначення ГМП ослаблене в 1,5–18,0 разу; у підземних спорудах метрополітену рівні ГМП знижені в 2–5 разів, у броньованих приміщеннях банків – у 2–4 рази; у наземному, водному, повітряному транспорті цивільного та військового призначення – у 1,5 разу [32, 38, 39]; ослаблення ГМП у житлових будинках, де людина перебуває майже 80 % часу, може варіювати в межах 1,04–5,32 разу залежно від конструктивних особливостей, поверху та інших факторів [40].

У світі все більше уваги приділяється проблемі захисту людини від негативного впливу техногенних змін ГМП, все більш широко вводиться державне нормування гранично допустимого санітарного рівня. У той самий час в Україні не впроваджено гігієнічні норми, які б регламентували ослаблення ГМП як фактора ризику ані у виробничому середовищі, ані в місцях проживання людини. Навіть державні будівельні норми України В.1.2-8-2008 «Система забезпечення надійності та безпеки буді-

вельних об'єктів. Основні вимоги до будівель і споруд. Безпека життя і здоров'я людини та захист навколишнього середовища», затверджені наказом Мінрегіонбуду України від 26 січня 2008 року № 38 [40], який гармонізовано з документами Європейського Союзу, не містять якісних критеріїв еколого-гігієнічної оцінки ступеня ослаблення ГМП будівельними матеріалами та конструктивними елементами як потенційного фактора ризику для здоров'я населення, умов праці, відпочинку та проживання людини [40]. Роботи по дослідженню, санітарному нормуванню й нормалізації рівня ослаблення ГМП в Україні продовжуються [41].

У Російській Федерації встановлено гранично допустимі рівні послаблення геомагнітних полів, а також вимоги до методів контролю та лікувально-профілактичних заходів, спрямованих на запобігання несприятливому впливу гіпогеомагнітних полів на здоров'я людини [29]. Гранично допустимий рівень ослаблення інтенсивності геомагнітного поля при роботі в гіпогеомагнітних умовах до 2 год за 1 зміну встановлюється рівним 4; при роботі в гіпогеомагнітних умовах понад 2 год за 1 зміну встановлюється рівним 1. Гранично допустимий рівень послаблення ГМП у приміщеннях житлових і громадських будівель (житлові кімнати та кухні квартир і гуртожитків, житлові приміщення будинків відпочинку, пансіонатів, будинків-інтернатів для престарілих і інвалідів, спальні та ігрові приміщення в дитячих дошкільних установах і школах-інтернатах, учбові кімнати в загальноосвітніх установах і установах професійної освіти, палати лікарень і санаторіїв) встановлюється рівним 1,5 [42]. Недоліком цього підходу є те, що коефіцієнт ослаблення ГМП встановлюється відповідно до його рівня зовні приміщення, який може бути спотворений різноманітними факторами.

Аналогічні обмеження по екстремальному відхиленню статичного магнітного поля від природного в житлових приміщеннях (не більше ніж на 20 мкТл) рекомендовані міжнародним стандартом SBM-2008, SBM-2015 [43]. Цей стандарт містить регламентовані принципи по біологічних ризиках, що виникають в спальних районах, і широко використовується як керівний документ при незалежному тестуванні будинків у Європі, США, Канаді, Австралії.

Дослідження В. Ю. Розова та співавт. (2013 р.) свідчать, що в більшості приміщень житлових і громадських будівель і споруд м. Харкова, Харківської області та м. Києва рівень ослаблення

ГМП не перевищує допустимих значень за даними світової літератури [44]. Виняток становлять висотні (20 поверхів і вище) каркасно-монолітні житлові будинки (ослаблення ГМП до 23 мкТл при допустимому рівні 30 мкТл), офісні та торгово-розважальні центри з каркасами будівель із сталевих труб (ослаблення ГМП до 20 мкТл при допустимому рівні 25 мкТл).

Висновки

1. ГМП є невід'ємним чинником сучасного довкілля та виробничого середовища, який за умов екранування різноманітними металомісткими конструкціями здатний негативно впливати на організм людини, призводячи до структурно-функціональних змін та несучи потенційні ризики несприятливої дії.
2. Залежно від ступеня ослаблення ГМП і тривалості перебування в цьому середовищі можуть розвиватися адаптаційні, стресові та компенсаторні реакції або незворотні патологічні зміни. Згідно з даними літератури, критичними системами при дії ГМП є нервова та імунна системи. Проте вплив на систему АОЗ/ПОЛ вивчено не достатньо, що потребує подальших досліджень. Сучасні уявлення про біологічну дію ГМП не дозволяють оцінити та прогнозувати всі неприємні наслідки, і потрібні додаткові дослідження їхнього впливу на людину та інші біооб'єкти з метою подальшої регламентації впливу ослабленого ГМП на організм людини.
3. Найперспективнішими напрямками в області вивчення впливу ГМП є дослідження гострих ефектів і результатів хронічного впливу ГМП малих рівнів на організм людини з виявленням відповідних маркерів; вивчення можливих віддалених наслідків (канцерогенний вплив, вплив на потомство, нейродегенеративні захворювання), вдосконалення методів і засобів контролю електромагнітного середовища при проектуванні, будівництві, прийманні в експлуатацію, реконструкції виробничих об'єктів, житлових і громадських будівель, при організації нових робочих місць, атестації робочих місць, у транспортних і транспортно-технологічних засобах тощо.
4. Вплив ослабленого ГМП в Україні потребує подальшої регламентації та розробки профілактичних заходів.

Література

1. Vastag B. *Frontiers in science. How did life on Earth get started?* / V. Vastag // *US News World Rep.* – 2008. – V. 145, № 3. – P. 43–44.
2. Баранов М. И. Постоянное магнитное поле планеты Земля. Новая гипотеза происхождения и его приближенный расчет / М. И. Баранов // *Электротехника і електромеханіка.* – 2010. – № 5. – С. 39–42.
3. Аксенов В. В. Основы геомагнетизма / В. В. Аксенов. – Новосибирск : ИВМиМГ СО РАН, 2012. – 132 с.
4. Матусевич К. Н. О магнетизме Земли и магнитном склонении : пособие / К. Н. Матусевич, Н. К. Матусевич. – Ровно : Волинські береги, 2004. – 81 с.
5. Адаменко О. М. Екологічна геофізика : підручник / О. М. Адаменко, Г. Й. Квятковський. – Івано-Франківськ : Полум'я, 2003. – 426 с.
6. Шапиро Д. Н. Электромагнитное экранирование / Д. Н. Шапиро. – Долгопрудный : Интеллект, 2010. – 115 с.
7. Реакция организма на воздействие «нулевого» магнитного поля / З. Н. Нахильницкая, В. М. Мاستрюкова, Л. А. Андрианова, А. Г. Бородкина // *Косм. биология и авиакосм. медицина.* – 1978. – № 2. – С. 74–76.
8. Beaulieu P. A. *Marine medicine* / P. A. Beaulieu // *Am. J. Med.*, Qual. – 2011. – V. 26, № 4. – P. 323.
9. Rowe W. J. As with space flight, a magnesium deficit may be responsible for both peripheral vascular dysfunction and kidney disease / W. J. Rowe // *Am. J. Cardiol.* – 2010. – V. 105, № 8. – P. 1203–1204.
10. Пальцев Ю. П. Современное состояние гигиенической регламентации электромагнитных полей и перспективы гармонизации с зарубежными стандартами / Ю. П. Пальцев, А. В. Походзей, Н. Б. Рубцова // *Медицина труда и пром. экология.* – 2008. – № 6. – С. 62–65.
11. Биотропные свойства ослабленного геомагнитного поля / под ред. В. А. Шкурупия. – Новосибирск : РИЦ, 2005. – 140 с.
12. Clément G. *Space physiology II: adaptation of the central nervous system to space flight – past, current, and future studies* / G. Clément, J. T. Ngo-Anh // *Eur. J. Appl. Physiol.* – 2013. – V. 113, № 7. – P. 1655–1672.
13. Juutilainen J. Developmental effects of electromagnetic fields / J. Juutilainen // *Bioelectromagnetics.* – 2005. – Suppl. 7. – P. S107–S115.
14. Anderson L. E. ELF: exposure levels, bioeffects, and epidemiology / L. E. Anderson // *Health Phys.* – 1991. – V. 61, № 1. – P. 41–46.
15. Влияние постоянного магнитного и экранированного геомагнитного полей на развитие колоний микромицетов / Е. Ю. Быстрова, Е. В. Богомолова, Ю. В. Гаврилов [и др.] // *Микология и фитопатология.* – 2009. – № 5. – С. 438.
16. Гематологические реакции у крыс с частичным экранированием от природных электромагнитных полей / В. А. Ямшанов, Е. Г. Кованько, В. К. Кошелевский [и др.] // *Радиация, биология, радиоэкология.* – 2005. – № 3. – С. 320–323.
17. Воронин А. Ю. Колониеобразование в селезенках экспериментальных животных под воздействием геомагнитного поля очень низкой напряженности / А. Ю. Воронин, В. Ю. Куликов // *Бюл. Сиб. отд-ния Рос. акад. мед. наук.* – 2004. – № 1. – С. 73–76.
18. Куликов В. Ю. Влияния слабых экологических факторов на систему гемостаза и реактивность клеток эффекторов воспаления в эксперименте / В. Ю. Куликов, Е. А. Козяева, О. В. Сорокин // *Мир науки, культуры, образования.* – 2011. – № 3. – С. 320–326.
19. Влияние умеренного ферромагнитного экранирования на рост и развитие беспозвоночных животных / А. С. Костюк, Е. Л. Лапченко, К. Н. Туманянц, Н. С. Ярмолюк // *Сучасні проблеми фізики, хімії та біології. «ФізХімБіо-2013»: матеріали 2 міжнар. наук.-техн. конф., 27-29 листоп. 2013 р.* – Севастополь: СевНТУ, 2013. – С. 120–121.
20. Reduction of the background magnetic field inhibits ability of *Drosophila melanogaster* to survive ionizing radiation / L. A. Portelli, D. R. Madapatha, C. Martino [et al.] // *Bioelectromagnetics.* – 2012. – V. 33, № 8. – P. 706–709.
21. Влияние долговременного снижения уровня геомагнитного поля на биоэлектрическую активность мозга лабораторных крыс / М. Б. Ходанович, Н. А. Кривова, Е. В. [и др.] // *Вестн. Томск. гос. ун-та.* – 2011. – № 348. – С. 155–160.
22. Повышение агрессивности крыс при экспозиции в условиях гипогеомагнитного поля / Н. А. Кривова, К. А. Труханов, Т. А. Замощина [и др.] // *Авиакосм. и экол. медицина.* – 2008. – № 6. – С. 30–32.
23. Динамика физиологических характеристик и эмоционально-поведенческой реактивности животных в преформированной геомагнитной среде / Д. В. Девицин, Н. А. Пальчикова, А. В. Трофимов [и др.] // *Бюл. Сиб. отд-ния Рос. акад. мед. наук.* – 2005. – № 3. – С. 71–77.
24. Влияние долговременного ослабления геомагнитного поля на агрессивность лабораторных крыс и активацию опиоидергических нейронов / М. Б. Ходанович, Е. В. Гудь // *Вестн. Томск. гос. ун-та.* – 2013. – № 1. – С. 146–160.
25. Extremely low frequency magnetic field exposure modulates the diurnal rhythm of the pain threshold in mice / Y. M. Choi, J. N. Jeong, J. S. Kim [et al.] // *Bioelectromagnetics.* – 2003. – V. 24, № 3. – P. 206–210.
26. Effects of hypomagnetic field on noradrenergic activities in the brainstem of golden hamster / X. Zhang, J. P. Li, Q. J. Wu [et al.] // *Bioelectromagnetics.* – 2007. – V. 28, № 2. – P. 155–158.

27. Воздействие гипомангнитного поля на живые системы / М. Л. Куранова, А. Е. Павлов, И. М. Спивак [и др.] // Вестн. Санкт-Петербург. ун-та. Сер. 3. Биология. – 2010. – № 4. – С. 99–107.

28. Уровень внутриклеточного кальция как показатель физиологического состояния мышечных клеток / Г. Б. Белостоцкая, Т. А. Голованова, И. С. Елдашев [и др.] // Высокие технологии, фундаментальные и прикладные исследования в физиологии и медицине : сб. тр. 1 междунар. науч.-практ. конференции, 23-26 нояб. 2010 г. – Санкт-Петербург : Изд-во Политехн. ун-та, 2010. – Т. 3. – С. 191–198.

29. Extremely low frequency magnetic field induces oxidative stress in mouse cerebellum / L. Y. Chu, J. H. Lee, Y. S. Nam [et al.] // General Physiology and Biophysics. – 2011. – V. 30, № 4. – P. 415–421, View at Publisher · View at Google Scholar · View at Scopus

30. Проксидантный и антиоксидантный потенциал мононуклеаров в условиях ослабленного геомагнитного поля / В. Ю. Куликов, О. В. Сорокин, С. К. Орумбаева [и др.] // Сиб. мед. обозрение. – 2011. – № 4. – С. 11–16

31. Бурькин Ю. Г. Взаимодействие внешних геомагнитных возмущений и систем регуляции внутренней среды организма с позиций синергетики / Ю. Г. Бурькин, В. А. Карпин, Ю. И. Неголюк // Вестн. новых мед. технологий. – 2007. – № 1. – С. 52–55.

32. Походзей Л. В. Современное состояние гигиенического нормирования гипогеомагнитных полей в производственных и бытовых условиях / Л. В. Походзей, Ю. П. Пальцев // Здоровье нации – основа процветания России : материалы науч.-практ. мероприятий V Всерос. форума. – Москва, 2009. – Т. 1. – С. 58–59.

33. Binhi V. N. Zero magnetic field effect observed in human cognitive processes / V. N. Binhi, R. M. Sarimov // Electromagn. Biol. Med. – 2009. – V. 28, № 3. – P. 310–315.

34. Бинги В. Н. Влияние компенсации геомагнитного поля на когнитивные процессы человека / В. Н. Бинги, Р. М. Саримов, В. А. Миляев // Биофизика. – 2008. – № 5. – С. 856–866.

35. Осмотическая резистентность эритроцитов в условиях различной напряженности геомагнитного поля и при действии дигоксина в условиях *in vitro* / В. Ю. Куликов, Е. А. Козяева, Ю. С. Тимофеева, Т. А. Емельяненко // Медицина и образование в Сибири. – 2010. – № 3. – С. 10–18.

36. Features of clinical and morphologic manifestation of severe violations of cerebral circulation in people living in hypogeomagnetic conditions / A. I. Gozhenko, Y. V. Mase-

vich, B. A. Nasibullin, W. Zukow // J. Health Sci. – 2013. – V. 3. № 5. – P. 101–112.

37. Севостьянова Е. В. Оценка зависимости реологических и гемостатических параметров крови человека от изменений гелиогеофизических факторов в современных мегаполисах / Е. В. Севостьянова // Вестн. новых мед. технологий. – 2008. – № 4. – С. 13–16.

38. Методичне та технічне забезпечення експериментальних досліджень впливу геомагнітних полів на біологічні об'єкти / О. І. Никифорок, В. А. Глива, В. І. Назаренко, В. В. Коваленко // Гігієна населених місць. – 2013. – В. І.

39. Никифорок О. І. Гіпогеомагнітне поле як фактор виробничого середовища / О. І. Никифорок // «Безпека життєдіяльності людини – освіта, наука, практика» збірник наукових праць Міжнародної науково-методичної конференції 19-20 травня 2016 – С. 47.

40. Система забезпечення надійності та безпеки будівельних об'єктів. Основні вимоги до будівель і споруд. Безпека життя і здоров'я людини та захист навколишнього середовища : державні будівельні норми України В. 1.2-8-2008; розроб. : Ю. Немчинов, В. Тарасюк, Г. Шарапов [та ін.]; Мінрегіон буд України. – Київ, 2008. – 22 с.

41. Анализ техногенных искажений геомагнитного поля в помещениях и нормирование их допустимых уровней / В. Ю. Розов, М. М. Резинкина, Ю. Д. Думанский, С. В. Биткин // Гігієна населених місць : зб. наук. праць. – Київ, 2008. – Вип. 55. – С. 98–104.

42. Гипогеомагнитные поля в производственных, жилых и общественных зданиях и сооружениях : СанПиН 2.1.8/2.2.4.2489-09 : постановление Главного государственного санитарного врача Российской Федерации от 02.03.2009 г. № 14. – Москва : Федеральная служба по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека, 2009. – 5 с.

43. Standard of building biology testing methods: SBM-2008 [Електронний ресурс]. – Way of access : URL : <http://www.createhealthyhomes.com/SBM-2008.pdf>. – Title from the screen.; Standard of building biology testing methods: SBM-2015. – Режим доступу <http://www.maes.de/20ENGLISCH/STANDARD-201520ENGLISCH.PDF>

44. Розов В. Ю. Экспериментальные исследования явления ослабления статического геомагнитного поля в помещениях / В. Ю. Розов, Д. Е. Пелевин, С. В. Левина // Електротехніка і електромеханіка. – 2013. – № 6. – С. 72–76.

Никифорок А. И.

ГИПОГЕОМАГНИТНОЕ ПОЛЕ И ЕГО ВЛИЯНИЕ НА БИОЛОГИЧЕСКИЕ ОБЪЕКТЫ

Государственное учреждение «Институт медицины труда Национальной академии медицинских наук Украины», г. Киев

Введение. Магнитное поле Земли (геомагнитное поле) является одним из важных экологических факторов и необходимым фоном для нормального функционирования организма человека и животных. Проблема здоровья и

защиты людей, которые длительное время находятся в экранирующих геомагнитные поля (ГМП) помещениях (в самолетах, космических аппаратах, морских судах, закрытой военной технике, подземных сооружениях, метро и т. д.) является актуальной для современной гигиенической науки.

Цель исследования – изучение и обобщение научных данных о влиянии геомагнитного поля на организм человека и животных с определением направления дальнейших исследований и гигиенической регламентации данного фактора.

Материалы и методы исследования. Аналитический обзор научных публикаций с использованием базы данных PubMed, Национальной библиотеки имени В. И. Вернадского, Государственной научно-технической библиотеки Украины, Национальной медицинской библиотеки Украины.

Результаты. Установлено, что ГМП поле является неотъемлемым фактором современной окружающей и производственной среды, которое в условиях экранирования различными металлосодержащими конструкциями способно негативно влиять на организм человека, приводя к структурно-функциональным изменениям и неся потенциальные риски неблагоприятного воздействия. В зависимости от степени ослабления ГМП и продолжительности пребывания в этой среде могут развиваться адаптационные, стрессовые и компенсаторные реакции или необратимые патологические изменения. По данным литературы критическими системами при воздействии ГМП является нервная и иммунная системы. Современные представления о биологическом действии гипогомагнитного поля не позволяют оценить и прогнозировать все неприемлемые последствия, и нужны дополнительные исследования его влияния.

Выводы. Наиболее перспективными направлениями в области изучения влияния ГМП есть исследования острых эффектов и результатов хронического воздействия ГМП малых уровней на организм человека с выявлением соответствующих маркеров биологического действия. Влияние ослабленного ГМП в Украине нуждается в дальнейшей регламентации и разработке профилактических мероприятий.

Ключевые слова: гипогомагнитное поле, биологические объекты, организм человека, лабораторные животные, гигиеническая регламентация

Nikiforuk O. I.

GEOMAGNETIC FIELD AND ITS ACTION ON BIOLOGICAL OBJECTS

State Institution «Institute for Occupational Health of the National Academy of Medical Sciences of Ukraine», Kyiv

Introduction. The Earth's magnetic field (geomagnetic field) is one of the most important environmental factors and the necessary background for normal functioning of the human body and animals. The problem of people's human health and its protection, who are being for a long time in premises exposed to the geomagnetic field (GMF) (airplanes, space vehicles, marine vessels, closed military equipment, underground constructions, metro, etc.) is important for modern occupational science.

The aim of research – to study and summarize the scientific evidence on the impact of the geomagnetic field on humans and animals in order to define further research and hygienic regulation of the mentioned determinant.

Materials and methods of research. The analytical review of scientific publications, using the databases of the PubMed, the National Library named after V.I. Vernadsky, State Scientific and Technical Library of Ukraine, National Medical Library of Ukraine.

Results. It is found that GMF is an essential factor of the modern surroundings and work environment, which in conditions of various metal-shielding structures is able to adversely affect the human body, leading to structural and functional changes and to potential risks of incurring adverse effects. Depending on the degree of GMF weakening and the duration of staying in this environment there can be developed adaptive, stress and compensatory reactions or irreversible pathological changes. According to the literature data, nervous and immune systems are critical systems for GMF exposure. Current views on biological effects of the hypogeomagnetic field fail to assess and predict all unacceptable consequences. So, additional studies of its effect are necessary.

Conclusions. The most promising directions in the study of the effect of the hypogeomagnetic field is to study acute effects and results of chronic influences of low levels of GMF on the human body and to identify corresponding markers of their biological action. The effect of the weakened GMF in Ukraine needs further regulation and development of preventive measures.

Key words: geomagnetic field, biological objects, human body, laboratory animals, hygienic regulation

References

1. Vastag, B. 2008, «Frontiers in science. How did life on Earth get started?», US News World Rep., v. 145, no. 3, pp. 43–44.
2. Baranov, M. I. 2010, «Constant magnetic field on the Earth planet. A new hypothesis on origin and its

approximal calculation», *Elekrotehnika i elektromekhanika*, no. 5, pp. 39–42 (in Russian).

3. Aksenov, V. V. 2012, *Basis of geomagnetism*, Novosibirsk: IV MI I MG SO RAS, 132 p. (in Russian).

4. Marusevich, K. H., Matusevich N. K. 2004, *About Earth magnetism and magnetic declination: a Manual*. Rovno: Volynski obereg, 81 p. (in Russian).

5. Adamenko, O. M., Kyvatkovskiy, G.I. 2003, *Ecological geophysics: a textbook*. Ivano-Frankivsk : Polum'ya, 426 p. (in Ukrainian).
6. Shapiro, D. N. 2010, *Electromagnetic screening*. Dolgoprudny i: Intellekt, 115 p. (in Russian).
7. Nakhilnitskaya, Z. N., Mastryukova, V. M., Andrianova, L. A., Borodkina, A. G. 1978, «Body reaction on the exposure to a "null" magnetic field», *Kosm. biologiya i aviakosm. meditsina*, no. 2, pp. 74–76 (in Russian).
8. Beaulieu, P. A. 2011, «Marine medicine», *Am. J. Med. Qual.*, v. 26, no. 4, p. 323.
9. Rowe, W. J. 2010, «As with space flight, a magnesium deficit may be responsible for both peripheral vascular dysfunction and kidney disease», *Am. J. Cardiol.*, v. 105, no. 8, pp. 1203–1204.
10. Paltsev, Yu. P., Pokhodzei, A. V., Rubtsova, N. B. 2008, «Actual state of the hygienic regulation of electromagnetic fields and perspectives of harmonization with foreign countries», *Meditsina truda i prom. ekologiya*, no. 6, pp. 62–65 (in Russian).
11. Biotropic properties of the weakened magnetic field, 2005, Ed. V. A. Shkurupii. Novosibirsk : RIC, 140 p. (in Russian).
12. Clément, G., Ngo-Anh, J. T. 2013, «Space physiology II: adaptation of the central nervous system to space flights – past, current, and future studies», *Eur. J. Appl. Physiol.*, v. 113, no. 7, pp. 1655–1672.
13. Juutilainen, J. 2005, «Developmental effects of electromagnetic fields», *Bioelectromagnetics*, Suppl. 7, pp. S107–S115.
14. Anderson, L. E. 1991, «ELF: exposure levels, bioeffects, and epidemiology», *Health Phys.*, v. 61, no. 1, pp. 41–46.
15. Bystrova, E. Yu., Bogomolova, E. V., Gavrilov, Yu. V. 2009, «Effect of constant magnetic and screening geomagnetic fields on development of micromycetes colonies», *Mikologiya i fitopatologiya*, no. 5, p. 438 (in Russian).
16. Yamshanov, V. F., Kovanko, E. G., Koshelevskiy, V. R. 2005, «Hematological reactions in rats in partial screening of natural electromagnetic fields», *Radiat. Biologia. Radioekologia*, no. 3, pp. 320–323 (in Russian).
17. Voronin, A. Yu., Kulikov, V. Yu. 2004, «Colonies-formation in spleens of experimental animals, exposed to geomagnetic field of a very low voltage», *Bull. Sib. Depart. of Russian AMS*, no. 1, pp. 73–76 (in Russian).
18. Kulikov, V. Yu., Kozyayeva, E. A., Sorokin, O. V. 2011, «Influence of weak ecological factors on the hemostasis system and cell reactivity under inflammations in experiments», *Mir nauki, kultury, obrazovaniya*, no. 3, pp. 320–326 (in Russian).
19. Kostyuk, A. S., Lapchenko, E. L., Tumanyants, K. N., Yarmolyuk, N. S. 2013, Effect of moderate ferromagnetic screening on growth and development of invertebrates, *Modern problems of physics, chemistry and biology*, Materials of the 2nd Intern. Conf., Sevastopol: Sev.NTU, pp. 120–121 (in Russian).
20. Portelli, L. A., Madapatha, D. R., Martino, C. [et al.] 2012, «Reduction of the background magnetic field inhibits ability of *Drosophila melanogaster* to survive in ionizing radiation», *Bioelectromagnetics*, v. 33, no. 8, pp. 706–709.
21. Khodanovich, M. B., Krivova, N. A. 2011, «Effect of a long-term decrease of the level of the geomagnetic field on the bioelectric brain activity in laboratory rats», *Vest. Mosk. Univ.*, no. 348, pp. 155–160 (in Russian).
22. Krivova, N. A., Trukhanov, K. A., Zamoshina, T. A. 2008, «Increase of rats' aggressiveness in exposure to hypogeomagnetic field», *Aviakosm. i ekol. meditsina*, no. 6, pp. 30–32 (in Russian).
23. Devitsina, D. V., Palchikova, N. A., Trofimov, A. V. 2005, «Dynamics of physiological characteristics and emotionally behavioric reactivity of animals in preformed geomagnetic environment», *Bull. Sib. Depart. RAMS*, no. 3, pp. 71–77 (in Russian).
24. Khodanovich, M. B., Gul, E. V. 2013, «Effect of a long-term weakening of geomagnetic field on aggressiveness of laboratory rats and activation of opium idergetic neurons», *Vestnik Tomsk Univer*, no. 1, pp. 146–160 (in Russian).
25. Choi, Y. M., Jeong, J. N. Kim, J. S. 2003, «Extremely low frequency magnetic field exposure modulates the diurnal rhythm of the pain threshold in mice», *Bioelectromagnetics*, v. 24, no. 3, pp. 206–210.
26. Zhang, X., Li, J. P. Wu, Q. J. et al. 2007, «Effects of hypomagnetic field on noradrenergic activities in the brainstem of golden hamster», *Bioelectromagnetics*, v. 28, no. 2, pp. 155–158.
27. Kuranova, M. L., Pavlov, A. E., Spivak, I. M. et al. 2010, «Effect of hypomagnetic field on living systems», *Vestnik Sankt-Peter. Univ., Series 3. Biology*, no. 4, pp. 99–107 (in Russian).
28. Belostotskaya, G. B., Golovanova, T. A., Yeldashev, I. S. et al. 2010, Level of intracellular calcium as an indicator of the physiological state of muscle cells, *High technologies, fundamental and applied studies in physiology and medicine*, Collection of papers, Sankt-Peter: Edition of Polytechnical Univer., v. 3, pp. 191–198 (in Russian).
29. Chu, L. Y., Lee, J. H., Nam, Y. S. et al. 2011, «Extremely low frequency magnetic field induces oxidative stress in mouse cerebellum», *General Physiology and Biophysics*, v. 30, no. 4, pp. 415–421.
30. Kulikov, V. Yu., Sorokin, O. V., Orumbayeva, S. K. et al. 2011, «Prooxidant and antioxidant potential of mononuclears in conditions of a weakened geomagnetic field», *Sib. med. obozreniye*, no. 4, pp. 11–16 (in Russian).
31. Burykin, Yu. G., Karpin, V. A., Negolyuk, Yu. I. 2007, «Interaction of external geomagnetic perturbations and regulation systems of the inner body media from the

positions of synergy», *Vestnik novykh med. tekhnol.*, no. 1, pp. 52–55 (in Russian).

32. Pokhodzei, L. V., Paltsev, Yu. P. 2009, Actual state of hygienic rating of hypomagnetic fields in industrial and domestic conditions, *Zdorovye natsii, Materials of the Conf.*, Moscow, v. 1, pp. 58–59 (in Russian).

33. Bingi, V. N., Sarimov, R. B. M. 2009, «Zero magnetic field effect observed in human cognitive processes», *Electromagn. Biol. Med.*, v. 28, no. 3, pp. 310–315.

34. Binhi, V. N., Sarimov, R. M., Milyaev, V. A., 2008, «Effect of magnetic field compensation on human cognitive processes», *Biofizika*, no. 5, pp. 856–866 (in Russian).

35. Kulikov, V. Yu., Kozyaeva, E. A., Timofeyeva, Yu. S., Yemelyanenko, T. A. 2010, «Osmotic erythrocyte resistance in conditions of different geomagnetic field voltage and under the effect of digoxin in vitro conditions», *Meditsina i obrazovanie v Sibiri*, no. 3, pp. 10–18 (in Russian).

36. Gozhenko, A. I., Masevich, Y. V., Nasibullin, V. A., Zukow, W. 2013, «Features of clinical and morphologic manifestation of severe violations of cerebral circulation in people living in hypogeomagnetic conditions», *J. Health Sci.*, v. 3, no. 5, pp. 101–112.

37. Sevostyanova, E. V. 2008, «Assessment of the dependence of rheological and hemostatic parameters of human blood on changes of geiogeographic factors in modern megapolices», *Vestnik novykh med. tekhnol.*, no. 4, pp. 13–16 (in Russian).

38. Nikiforuk, O. I., Glyva, V. A., Nazarenko, D. I., Kovalenko, V. V. 2014, «Methodical and technical provi-

sion of experimental studies on the effect of geomagnetic fields on biological objects», *Ukr. J. Occup. Health*, no. 1, pp. 74–79 (in Ukrainian).

39. Nikiforuk, O. I. 2016, Hypogeomagnetic field as a factor of the work environment, Safety of human life activity– education, science, practice, Collection of papers, Int. Conference, p. 47. (in Ukrainian)

40. Nemchinov, Yu., Tarasyuk, V., Sharapov, G. E., et al. 2008, A system on providing reliability and safety at building objects. Main requirements to buildings and constructions. State sanitary norms of Ukraine, Kyiv, 22 p. (in Ukrainian)

41. Rozov, V. Yu., Resinkina, M. M., Dumanskiy, Yu. D., Bitkin, S. V. 2008, «Analysis of technogenic distortions of the geomagnetic field in premises and rating their permissible levels», *Gigiyena nasel. mest*, Collection of papers, Kyiv, Issue 55, pp. 98–104 (in Russian).

42. Hypogeomagnetic fields in production, living and social buildings. 2009, Sanitary rules 1.8/2.2.4.2489–09, Decree of the State sanitary doctor of the Russian Federation of 02.03.2009 г. no. 14, Moscow, 5 p. (in Russian).

43. Standard on building biology testing methods: SBM-2008 [Electronic resource]. Mode of access: URL: <http://www.createhealthyhomes.com/SBM-2008.pdf>.

44. Rozov, V. Yu., Pelevin, D. E., Levina, S. V. 2013, «Experimental studies on the phenomenon of weakening the geomagnetic field in premises», *Elektrotehnika i elektromekhanika*, no. 6, pp. 72–76 (in Russian).

Надійшла: 29 березня 2017 р.

Контактна особа: Никифорук Олександр Іванович, молодший науковий співробітник, лабораторія проблем медицини праці на транспорті, ДУ «Інститут медицини праці НАМН України», буд. 75, вул. Саксаганського, м. Київ, 01033. Тел.: + 38 0 66 216 61 65. Електронна пошта: expertmoz@gmail.com