

МОІСЕЄНКО Є.В.<sup>1,2✉</sup>, РОЗОВА К.В.<sup>2</sup>, ЯНЧИЙ Р.І.<sup>2</sup><sup>1</sup> Національний антарктичний науковий центр МОН України,  
Україна, 01601 м. Київ, б-р Тараса Шевченка, 16, e-mail: moiseyenkoev@gmail.com<sup>2</sup> Інститут фізіології ім. О.О. Богомольця НАН України,  
Україна, 01024, м. Київ, вул. Богомольця, 4

✉ moiseyenkoev@gmail.com, (050) 334-45-58

## АСПЕКТИ ДОСЛІДЖЕННЯ БАГАТОРІВНЕВИХ МЕХАНІЗМІВ АДАПТАЦІЇ ЛЮДИНИ ДО ЕКСТРЕМАЛЬНИХ УМОВ АНТАРКТИКИ

**Мета.** Вивчення механізмів адаптації функцій організму, включаючи молекулярно-генетичний рівень, до екстремальних умов фахової діяльності в Антарктиці. **Методи.** Обстеження антарктичних зимівників за допомогою клінічних, функціональних, психологічних та молекулярно-генетичних методів дослідження. **Результати.** Встановлено негативну динаміку психоневрологічної симптоматики у зимівників, що диктує необхідність постійного удосконалення методики медико-психофізіологічного відбору, залучення додаткових технологій обстеження і тренінгу, а також подальших досліджень спрямованих на визначення біомаркерів, які чутливі до впливу тривалої експедиції в екстремальних умовах Антарктики. Алейний поліморфізм по гену HIF-1α впливає на гіпоксично індуковані зміни ультраструктури і функції клітин крові, що може слугувати маркером формування адаптивних реакцій. **Висновки.** Результати досліджень свідчать про те, що в системі профілактики патології антарктичних зимівників провідне значення має вивчення механізмів адаптації та дизадаптації на всіх рівнях функціонування організму, включаючи молекулярно генетичний. Результати досліджень на українській антарктичній станції можуть використовуватись у практичній медицині та враховуватись при формуванні пропозицій до удосконалення міжнародної системи безпечного перебування людини в Антарктиці.

**Ключові слова:** молекулярна генетика, психофізіологічний відбір, зимівники, Антарктика.

Антарктика – унікальне місце дослідження впливу факторів навколишнього середовища на організм та вивчення механізмів адаптації людини до екстремальних умов із перспективою використання даних медико-психофізіологічного моніторингу у практичній медицині і, зокре-

ма, у професійному відборі фахівців, робота яких пов'язана з надзвичайними умовами. Наразі, до цього часу немає повністю з'ясованих механізмів багатьох захворювань, включаючи хронічний стрес, депресивні і невротичні стани, метеочутливість, тощо [1]. Для вивчення механізмів розвитку патології необхідні особливі умови, які практично неможливо створити в Україні. Тому на антарктичній станції «Академік Вернадський» застосовано систему моніторингу стану здоров'я шляхом використання комплексу методів обстеження антарктичних зимівників з метою всебічного вивчення механізмів адаптації людини до екстремальних умов фахової діяльності.

Наукова робота спрямована на виконання Державної цільової науково-технічної програми проведення досліджень в Антарктиці на 2011–2020 роки, затвердженої постановою Кабінету Міністрів України від 03 листопада 2010 р. № 1002.

### Матеріали і методи

Медико-біологічні дослідження виконувалися за участю зимівників українських експедицій. Обстежувались чоловіки у віці 22–60 років (середній вік екіпажів станції 37 років). Комплекс медичних обстежень при відборі зимівників включав:

-клінічна діагностика, що виконується лікарями-фахівцями (терапевт, хірург, невропатолог, психіатр, дерматолог, ЛОР, стоматолог) з використанням спеціальних методів дослідження (ультразвукове дослідження, рентгенографія, електрокардіографія, магнітокардіографія, зональна реографія, бодіплетизмографія, лабораторні аналізи);

-функціональна діагностика із застосуванням методу велоергометрії (толерантність до фізичного навантаження) та дихання гіпоксичною сумішшю (вміст кисню 12–18 %);

-психологічна і психофізіологічна діагностика з обстеженням біоритмики головного мозку за допомогою електроенцефалографії (ЕЕГ) і застосуванням пакету психологічних тестів для з'ясування характеристик особистості (емоційна стійкість, стійкість до втоми, типу вищої нервової діяльності, показників сенсомоторних реакцій, тощо);

-генетична діагностика включала генотипування кисень - залежного домену HIF-1 $\alpha$  (hypoxia-inducible factor), який є ключовим транскрипційним фактором, що забезпечує регуляцію експресії генів-мішеней при гіпоксичних і стресових станах, на наявність алельного поліморфізму гена HIF-1  $\alpha$  [1].

-дослідження морфофункціональних характеристик мітохондрій лейкоцитів з використанням електронної мікроскопії [2].

На антарктичній станції всі дослідження виконувалися лікарем щодня (вимірювання артеріального тиску, пульсу, температури), щомісяця (велоергометрія, електрокардіографія, електроенцефалографія, спірографія, ритмокардіографія), щоквартально (психологічне тестування, біохімічні та клінічні аналізи крові, денситометрія). Рівень статистичної ймовірності міжгрупових відмінностей розраховувався за допомогою критерію однофакторного дисперсійного аналізу ANOVA. Математична обробка даних проводилася за допомогою програми STATISTICA 6.0.

### Результати та обговорення

Багаторічні медичні спостереження на антарктичній станції «Академік Вернадський» дозволили з'ясувати деякі закономірності і структуру традиційної захворюваності зимівників, визначити ефективні шляхи застосування лікувальних і профілактичних заходів, організувати оптимальну для наявних умов систему медичного забезпечення. Однак, випадки розвитку порушень адаптації та прояву симптомокомплексу «антарктичного синдрому» продовжують мати місце і центральна ланка серед невирішених питань залишається у площині з'ясування механізмів адаптації. За останні роки медико-біологічні дослідження на станції «Академік Вернадський» істотно поповнили інформаційну базу, що дозволило зробити нові кроки у вирішенні питань науки про життя і намітити перспективні шляхи подальших наукових розробок. За результатами досліджень медико-фізіологічного напрямку визначені чіткі сезонні

періоди виникнення у зимівників психофізіологічних порушень з пролонгованою зміною психологічних характеристик особистості. Такі порушення можуть призводити до стану хронічного стресу і провокувати виникнення і розвиток конфліктних ситуацій.

Результати аналізу ЕЕГ зимівників показали наявність ознак порушень в структурі біоритмічної організації, особливо, тих проєкцій головного мозку, які мають відношення до психоемоційної сфери. Особливості перебудов церебральної біоритмики зимівників після тривалого перебування в екстремальних умовах Антарктики при сенсорній депривації полягали в посиленні потужності  $\theta$ -,  $\beta_1$ - і  $\beta_2$ -ритмів фонові ЕЕГ, переважно, в відведеннях від проєкцій центральних і лобових областей кори головного мозку (у порівнянні з вихідними даними на 25,6 %, 24,6 %, 33,6 % відповідно). Показники потужності ритмів в середньо- і високочастотному діапазоні ( $\alpha$ - і  $\beta$ -ритми) ЕЕГ, що реєструються при збереженні зорової сенсорики, статистично достовірно збільшувалися, в основному, в відведеннях від проєкцій центральних областей кори головного мозку. При цьому відомо, що посилення активності  $\theta$ - і  $\beta$ -ритмів має відношення до рівня тривожності, стресового стану, розвитку перебудов вегетативної регуляції в організмі людини. Крім того, показники посилення  $\beta_2$ -ритму можуть бути пов'язаними з рівнем емоційного фону. Протягом зимівлі психофізіологічні зрушення учасників експедиції можуть провокуватися чинниками біоритмічної природи. Дійсно, на антарктичній станції звичний біоритм психофізіологічних функцій зимівників змінюється [3].

Відомо, що стійка біоритмічна структура психофізіологічних функцій людини є одним з показників ефективності адаптації організму. При цьому, швидкість і структура зазначених перебудов мають певні індивідуальні особливості, які можуть позначатися на якості адаптації. Таким чином, адаптація людини в антарктичних умовах відбувається на тлі перебудови добової організації біоритмів і вимагає значного функціонального напруження організму в результаті сезонного інвертування нормальної циркадної архітеконики психофізіологічних функцій. Крім того, процес адаптації розвивається поетапно з мінімальною ефективністю на початку, деяким підвищенням ефективності посеред зимівлі і її зменшенням в кінці зимівлі. Підвищена напруженість функціональних систем організму від-

бивається на психоемоційному стані, про що свідчить динаміка структури рівня тривожності всередині колективу зимівників.

Таким чином, поліморфні перебудови психофізіологічних функцій людини під впливом комплексу надзвичайних чинників в Антарктиці ускладнюють перебіг адаптації, призводять до підвищення напруженості, десинхронних розладів і подовженого стану стресу, може модифікувати численні компенсаторно-приспосувальні механізми в ході адаптації до умов зимівлі. Зростання рівня напруженості і наявність ознак стресу підтверджувалися підвищеною секрецією катехоламінів у зимівників. При цьому, на тлі виявлених загальнофізіологічних закономірностей, період адаптації для кожного зимівника може мати індивідуальні риси.

Після тривалої антарктичної експедиції окремі зимівники проявляли тенденції до зниження відкритості характеру і були виявлені ознаки тотального стану ейфорії. Такий стан характеризувався емоційною виразністю і глибокими суб'єктивними переживаннями навіть тривалим перебуванням в екстремальних умовах антарктичної експедиції. Динаміка показників ритмокардіографії зимівників свідчила про модифікацію балансу вегетативної регуляції. Таким чином, результати досліджень підтверджують наявність у зимівників ознак перенапруги функціональних систем організму. Динаміка таких змін може мати індивідуальні варіації протягом зимівлі. Це може бути пов'язано як з особистісними характеристиками зимівників так і з індивідуальною чутливістю до дії комплексу екстремальних факторів Антарктики.

Є підстави вважати, що процес адаптації до умов зимівлі носить фазний характер. Умовно можна виділити фазу гострої адаптації, функціонального напруги, відносної стабілізації і депресивності. Фаза гострої адаптації (антарктична осінь) характеризується активними процесами біоритмічної природи, підтверджується розладами нормальної циркадної архітектоники психофізіологічних функцій, а також температури тіла, добова динаміка якої є опосередкованим свідченням порушення ритму секреції мелатоніну. Зміни в роботі біологічного годинника можуть супроводжуватися посиленням напруги центральних механізмів регуляції функціональних систем, що проявляється в активації церебрального електрогенезу, а також індивідуальних змінах самооцінки і психофізіологічних якостей. Фаза функціонального напруги (антарктич-

на зима) є результатом комплексного впливу біоритмологічних факторів, депривації, гіподинамії і характеризується закінченням формування міжособистісних відносин у колективі, індивідуальними поліморфними проявами "антарктичного синдрому", характерними змінами співвідношення потужності ритмів електричної активності мозку. Наприклад, у деяких зимівників можуть реєструватися біоритми мозку властиві сплячій людині. У фазу відносної стабілізації (антарктична весна) у колективі сформовані міжособистісні відносини, зменшується кількість десинхронних проявів, оптимізується ритміка ЕЕГ. Заклучна фаза депресивності (антарктична літо) характеризується підвищеними рівнями тривожності, дратівливості, емоційної нестійкості, збільшенням питомої ваги низькочастотних ритмів ЕЕГ, десинхронними розладами [4, 5].

Структура захворюваності у кожній експедиції на станції «Академік Вернадський» характеризується превалюванням хірургічно-травматологічної патології, інфекційних захворювань, патології органів травлення та неврологічної патології, що піддавались лікуванню традиційними засобами. Вивчення розподілу випадків захворювань протягом року дозволило встановити періоди збільшення ризику їх виникнення. Наприклад, інфекційні захворювання стабільно виникали на початку та в кінці зимівлі, психоневрологічні розлади найбільше спостерігались у період антарктичної зими, а хірургічно-травматологічна патологія виникала незалежно від терміну перебування в Антарктиці.

Застосування інструментальних методів дослідження дозволило виявити деякі зміни морфофункціональних характеристик внутрішніх органів у зимівників після повернення із експедиції. Поглиблене обстеження зимівників методом ультразвукової локації внутрішніх органів до та після експедиції показало наявність негативних змін переважно у системі органів травлення. Негативні зміни саме у системі органів травлення можуть бути свідченням наслідкових ознак хронічного стресу у окремих зимівників. Тому, на поточний момент, проблеми психологічного тренінгу та підготовки зимівників ускладнена, очевидно, наявністю прихованих ознак психоемоційного напруження, що може, саме на антарктичній станції, перетворюватися на стан хронічного стресу, внаслідок чого провокується активація латентних форм патології та розвиваються депресивні стани,

симптоматика яких подібна до наслідків посттравматичного стресового синдрому. Такі проблеми здоров'я в окремого зимівника можуть негативно впливати на психологічний стан всього колективу та порушувати нормальний ритм всієї діяльності на станції. У експедиціях останніх 2-х років, спостерігались випадки психологічної патології і невротичних станів (по одному випадку у кожній експедиції).

Приміром, у другій половині зимівлі у зимівника Д. поволі виникла симптоматика депресії, що утримувалось до кінця експедиції, незважаючи на застосування комплексу симптоматичної терапії та фізіотерапевтичних методів. Після експедиції проведено обстеження **психіатром**: *«В Антарктичній експедиції знаходився протягом року, перші місяці переживав “чи справлюсь з роботою, думаю про дім, дружину, дітей”. Через деякий час загальний стан погіршився, відчував тривогу, напругу, біль у шлунку, затерпали руки, шия, “вночі під час сну прокидався від страху смерті, не вистачало повітря, не міг вдихнути” На момент огляду: Вираз обличчя сумний, при відповіді на задані запитання помітно тривожиться, розгублений, напружується. Скарги іпохондричного характеру (парестезії шкіри голови, “поганий” чутливий сон, безсоння, відчуття напруги, тривоги за сім'ю, фон настрою продовж розмови пригнічений). Мислення послідовне, розладів не виявлено. Пам'ять, увага збережені. Критика адекватна, заперечує суїцидні думки. Дав згоду на призначення медикаментозного лікування. Діагноз: **Посттравматичний стресовий розлад, тривожний синдром з панічними атаками та іпохондрією. Рекомендовано: спостереження та лікування у психотерапевта.**»*

Таким чином, негативна динаміка виникнення психоневрологічної патології диктує необхідність постійного удосконалення методики медико - психофізіологічного відбору, залучення додаткових технологій обстеження і тренінгу, а також подальших досліджень спрямованих на визначення біомаркерів чутливих до негативного впливу тривалої експозиції в екстремальних умовах Антарктики [6–8].

Зокрема відомо, що формування адаптивних реакцій обумовлюється набором молекулярно-генетичних механізмів, що запускаються експресією відповідних генів [9]. Наприклад, при адаптації зимівників до антарктичних умов важлива роль належить гену HIF-1 $\alpha$  (hypoxia-inducible factor), експресія якого може виклика-

ти внутрішньоклітинні ультраструктурні зміни і впливати на реалізацію функціональних резервів в організмі. При цьому у осіб гомо - або гетерозиготних по даному гену можуть формуватися різні відповіді з боку систем, органів, тканин і клітин організму. Отже, можна припустити, що реакції організму на гіпоксичний стимул у зимівників і кандидатів до експедиції можуть у значній мірі обумовлюватись генетичними факторами, зокрема рівнем експресії гена HIF-1 $\alpha$ , а точніше його алельним поліморфізмом. HIF-1 $\alpha$  вважається провідним транскрипційним регулятором експресії великої кількості генів, відповідальних за розвиток адаптивних реакцій. Як відомо, він активується в фізіологічно важливих місцях регуляції кисневих шляхів, забезпечуючи швидкі і адекватні відповіді на гіпоксичний стрес, включає гени, що регулюють процес ангиогенезу, вазомоторний контроль, енергетичний метаболізм, еритропоез і апоптоз. Субодинація HIF-1 $\alpha$  є кисеньчутливою, вона має специфічну функцію в стимульованій гіпоксією генній регуляції і є мішенню для кисеньчутливих сигнальних шляхів. Саме тому при гіпоксичному навантаженні можлива наявність відмінностей у змінах ультраструктури клітин крові у осіб при наявності алельного поліморфізму даного гена. Тому, досліджували ультраструктуру тромбоцитів зимівників до і після тривалого перебування в Антарктиці та оцінювали вплив гіпоксичної стимуляції на морфофункціональні характеристики тромбоцитів у залежності від наявності алельного поліморфізму гена HIF-1 $\alpha$ . До проведення гіпоксичного навантаження у обстежуваних зимівників С/С-генотипу і С/Т-генотипу ультраструктура тромбоцитів (Т) і їх морфометричні характеристики достовірно не відрізнялися (табл. 1).

Після проведення гіпоксичного тренування виявлені істотні відмінності в ультраструктурі Т. У осіб з С/С -генотипом значно збільшувалася кількість  $\delta$ -гранул, в той же час зменшувалася кількість  $\alpha$ -гранул і каналців внутрішнього скелету. Такі зміни можуть свідчити, поперше, про збільшення депо серотоніну, і, опосередковано, про підвищення скорочувальної активності судинної стінки; по-друге, про значне вичерпування депо АДФ і АТФ, зменшення активності гліколітичних ферментів і істотної напруги функціонування Т; по-третє, про зниження інтенсивності обмінних процесів у клітині. Такий набір, в достатній мірі, різноспрямованих змін може бути причиною для включення

адаптивних реакцій, спрямованих на формування збалансованого гомеостазису [10].

Ультраструктурні особливості мітохондрій (МХ) в тромбоцитах (Т) осіб з С/С-генотипом у відповідь на гіпоксію підтверджують таке трактування отриманих даних. Відзначено помірне набухання МХ з проясненням матриксу, збільшенням їх середнього діаметра на 31 % і площі на 26 % (табл. 1). Такі зміни вказують на зростання енергетичної потужності мітохондріального апарату з метою поповнення запасів АДФ і АТФ і забезпечення включення адаптивних реакцій. У осіб з С/Т-генотипом Т містили поодинокі щільні гранули, велика кількість великих  $\alpha$ -гранул, заповнених білковим дебрисом, тобто ферментами, подібними ферментам лізосом, крім того, клітини також містили і велику кількість каналців внутрішнього скелета значного діаметра. Отже, можна припустити, що гіпоксичне навантаження у зимівників з С/Т-генотипом призводило до перенапруження функціонування Т зі зниженням скоротливої активності судинної стінки, напрацювання максимально можливої кількості макроергів. Такі зміни, в певній мірі, можуть свідчити і про зменшення резервних можливостей клітини [10]. Про перенапруження функцій свідчить також поява МХ невеликого розміру з везикулярним кристами (свідчення енергізованого стану органел).

Різна динаміка змін мітохондріального апарату у осіб з С/С і С/Т-генотипом у відповідь на гіпоксичне навантаження спостерігалася і в лейкоцитах (табл. 2). Вихідні морфометричні характеристики мітохондріального апарату лейкоцитів (Л), також як і Т, достовірно не розрізнялися. Під впливом гіпоксії у Л зимівників з

С/С-генотипом кількість МХ достовірно (на 24 %) збільшувалася. При цьому активувався не тільки морфогенез МХ, а й динамічні процеси (об'єднання органел з виразною поздовжньою асоціацією). Про це ж свідчить і розташування МХ у навіколоядерній зоні, що забезпечує взаємодію ядра і органел. Середній діаметр МХ зростав на 27,5 %, а площа – на 21 %, що характеризує активацію синтезу макроергів. Слід підкреслити, що у Л осіб даної групи виявлено лише незначна кількість структурно пошкоджених МХ ( $10,8 \pm 0,7$  % від загальної кількості органел).

В лейкоцитах зимівників із С/Т-генотипом зміни мітохондріального апарату носили дещо інший характер. Загальна кількість МХ також зростала. Однак при цьому їх просторове розташування було на периферії клітини. Крім того, діаметр і площа МХ мали лише тенденцію до збільшення, і для підтримки адекватного енергозабезпечення клітин були задіяні інші механізми, а саме, поява МХ з везикулярними кристами. Поряд з цим, виявлялися явні ознаки гіпоксичного пошкодження МХ – конденсація (ущільнення) їх матриксу, розширення міжмембранних просторів..

Оскільки внутрішня мембрана МХ збережена, такі зміни вважаються зворотніми. Спостерігалися також частково або повністю вакуолізовані МХ

Таким чином, отримані результати вказують на те, що у зимівників наявність алельного поліморфізму гену HIF-1 $\alpha$  відчутно впливає на гіпоксично індуковані зміни ультраструктури і функції клітин крові, що може слугувати маркером для оцінювання формування адаптивних реакцій у відповідь на гіпоксичний стимул.

Таблиця 1. Морфометричні характеристики тромбоцитів у зимівників із С/С і С/Т генотипами у вихідному стані (до) та після гіпоксичної стимуляції ( $M \pm m$ )

Зимівники, генотип	Кількість $\delta$ -гранул, шт.	Кількість $\alpha$ -гранул, шт.	Кількість каналців, шт.	Діам. МХ, мкм	Площа МХ, $10^{-2}$ мкм <sup>2</sup>
С/С-до гіпокс	6,5 $\pm$ 0,9	5,1 $\pm$ 1,3	7,3 $\pm$ 0,7	0,56 $\pm$ 0,02	51,8 $\pm$ 2,9
С/Т-до гіпокс	5,8 $\pm$ 0,8	6,0 $\pm$ 1,1	6,6 $\pm$ 1,0	0,53 $\pm$ 0,04	56,6 $\pm$ 3,3
С/С- після	8,6 $\pm$ 0,7*	2,8 $\pm$ 1,5*	5,1 $\pm$ 0,8*	0,73 $\pm$ 0,07*	65,3 $\pm$ 3,8*
С/Т- після	3,3 $\pm$ 0,4*	8,1 $\pm$ 1,2*	9,0 $\pm$ 0,9*	0,61 $\pm$ 0,04	55,5 $\pm$ 3,1

Примітка. \* – відмінності достовірні відносно контрольних величин до гіпоксії ( $p < 0,05$ ).

Таблиця 2. Морфометричні характеристики мітохондрій лейкоцитів у зимівників із С/С і С/Т генотипами у вихідному стані (до) та після гіпоксичної стимуляції ( $M \pm m$ )

Зимівники, генотип	Кількість МХ, од. / $\mu\text{м}^2$	Середній діаметр МХ, $\mu\text{м}$	Середня площа МХ, $10^{-2} \mu\text{м}^2$
С/С- до гіпоксії	7,3±0,3	0,42±0,02	28,4±2,1
С/Т- до гіпоксії	7,7±0,5	0,47±0,04	34,0±1,9
С/С- після гіпоксії	9,1±0,5*	0,54±0,03*	34,4±1,3*
С/Т- після гіпоксії	9,7±0,6*	0,51±0,03	40,3±2,0

Примітка. \* – відмінності достовірні відносно контрольних величин до гіпоксії  $p < 0,05$ .

### Висновки

Результати досліджень свідчать про те, що в системі профілактики патології антарктичних зимівників провідне значення має вивчення механізмів адаптації та дизадаптації на всіх рівнях функціонування організму, включаючи мо-

лекулярно генетичний. Результати досліджень на українській антарктичній станції можуть використовуватись у практичній медицині та враховуватись при формуванні пропозицій до удосконалення міжнародної системи безпечного перебування людини в Антарктиці.

### Література

- Bubnov R.V., Moiseyenko Y.V., Spivak M.Ya. The influence of environmental factors and stress on human health and chronic diseases: PPPM lessons from Antarctica. *EPMA Journal*. 2017. P. 13–23. doi: 10.1007/s13167-017-0108-4.
- Rozova E.V. Structural and Dynamic Changes in Mitochondria of Rat Myocardium under Acute Hypoxia: Role of Mitochondrial ATP-Dependent Potassium Channel. *Biochemistry*. 2015. Vol. 80, No. 8. P. 1186–1194.
- Arendt J., Middleton B. Human seasonal and circadian studies in Antarctica (Halley, 75°S). *General and Comparative Endocrinology*. 2017. Vol. III. P. 34. doi: 10.1016/j.ygcen.2017.05.010.
- Lutsenko D.G., Danylenko K.M., Babychuk G.O., Shylo I.O.V., Moiseyenko Y.V. Features of heart rate variability in humans during wintering in the Antarctica. *SLTB Science Meeting: abstr. booklet* (Cambridge, 19–20th Sept.). Cambridge, 2017. P. 67.
- Moiseyenko Y.V., Sukhorukov V.I., Pyshnov G.Yu., Mankovska I.M., Rozova K.V., Miroshnychenko O.A., Kovalevska O.E., Madjar S.-A.Y., Bubnov R.V., Gorbach A.O., Danylenko K.M., Moiseyenko O.I. Antarctica challenges the new horizons in predictive, preventive, personalized medicine: preliminary results and attractive hypothesis for multi-disciplinary prospective studies in the Ukrainian `Akademik Vernadsky` Station. *EPMA Journal*. 2016. P. 45. doi: 10.1186/s13167-016-0060-8. URL: <http://epmajournal.biomedcentral.com/> (дата звернення: 15.02.2018).
- Moiseyenko Y.V. Proposals on the special education, organization and training of operators in Antarctica. Council of Managers of National Antarctic Program XXV AGMeeting COMNAP-AGM (Seoul, Republic of Korea, 7–10 July, 2013). Seoul, 2013, P. 87.
- Moiseyenko E.V., Liashchuk O.I., Karyagin E.V. Study of the interrelationship of human circulatory function and level infrasound background in the antarctic. *Ukrainian Antarctic Journal*. 2015. No. 14. P. 189–196.
- Moiseenko E.V. Medical and Biological Researches of Ukraine In Antarctic. In “Astroeco-2002: Current Status and Prospects of International Research in Observational Astronomy and Extreme Physiology in the Elbrus Region”. *Hypoxia, Ecology: abstracts* (Terskol, Russia, august 12–16 2002). Kyiv-Terskol, 2002. P. 151.
- Rushkovsky S.R., Afanasieva E.S., Bezrukov V.E., Moiseenko E.V. The impact of the Antarctic stressful conditions on human genome stability. *2nd SCAR Open Science Conference: abstracts* (Hobart, Australia, July 12–14th, 2006). Australia, 2006.
- Clauser S., Cramer-Borde E. Role of platelet electron microscopy in the diagnosis of platelet disorders. *Semin. Thromb. Hemost.* 2009. Vol. 2, № 35. P. 213–223.

### MOISEYENKO Y.V.<sup>1,2</sup>, ROZOVA K.V.<sup>2</sup>, YANCHIY R.I.<sup>2</sup>

<sup>1</sup> National Antarctic Scientific Center of Ministry of Education of Ukraine, Ukraine, 01601, Kyiv, Taras Shevchenko Boulevard, 16, e-mail: moiseyenkov@gmail.com

<sup>2</sup> Bogomoletz Institute of Physiology, National Academy of Sciences of Ukraine, Ukraine, 01024, Kyiv, Bogomoletz str., 4

### ASPECTS OF THE STUDY OF MULTI-LEVEL MECHANISMS OF HUMAN ADAPTATION TO THE EXTREME CONDITIONS OF ANTARCTICA

**Aim.** Study of mechanisms of adaptation of organism functions, including molecular genetic level, to extreme conditions of professional activity in Antarctica. **Methods.** Survey of Antarctic winterers with clinical, functional, psychological and molecular genetic research methods. **Results.** The negative dynamics of psy-

choneurotic symptoms in winterers is established, which dictates the necessity of continuous improvement of the method of medical – psychophysiological selection, the use of additional technologies of examination and training, as well as further research aimed at identifying biomarkers that are sensitive to the impact of a long expedition in extreme conditions in the Antarctic. The allelic polymorphism of the HIF-1 $\alpha$  gene affects hypoxic induced changes in the ultrastructure and function of the blood cells, which can serve as a marker for the formation of adaptive reactions. **Conclusions.** The results of the research indicate that the study of adaptation and dysadaptation mechanisms at all levels of the functioning of the organism, including molecular genetic, is of prime importance in the system of prevention of pathology of Antarctic winterers. The results of research at the Ukrainian Antarctic station can be used in practical medicine and taken into account when formulating proposals to improve the international system of safe human habitation in Antarctica.

*Keywords:* molecular genetic, psychophysiological selection, winterers, Antarctic.