

ОРИГИНАЛЬНЫЕ СТАТЬИ

EDN: <https://elibrary.ru/hjvcqg>DOI: <https://doi.org/10.31089/1026-9428-2024-64-1-4-19>

УДК 614.2

© Коллектив авторов, 2024

Коробицына Р.Д., Варакина Ю.И., Трофимова А.Н., Аксенов А.С., Сорокина Т.Ю.

Внедрение системы биомониторинга в крупные научные экспедиции на примере научно-образовательного проекта «Арктический плавучий университет»

ФГАОУ ВО «Северный (Арктический) федеральный университет имени М.В. Ломоносова», Набережная Северной Двины, 17, Архангельск, 163002

В настоящее время идёт активное развитие биомониторинговых исследований в Арктическом регионе, несмотря на это группы людей, временно приезжающие в Арктику, остаются вне национальной системы мониторинга в отличие от местного населения. Участие в экспедициях на судах подразумевает под собой особые бытовые условия, такие как ограниченность пространства, сенсорная депривация. Цель исследования — проанализировать биохимические показатели крови, содержание эссенциальных, токсичных элементов, стойких органических загрязнителей (СОЗ) и витамина D в пробах экспедиционной группы, временно приезжающих работать в экстремальных условиях Арктики. Исследование проведено на борту научно-экспедиционного судна «Михаил Сомов» в рамках проекта «Арктический плавучий университет». Участниками стали 50 человек: 26 мужчин и 24 женщины в возрасте от 20 до 72 лет. В результате анализа были определены: 8 биохимических показателей крови, уровень витамина D методом высокоэффективной жидкостной хроматографии с тандемным масс-спектрометрическим детектированием, содержание эссенциальных (Co, Mn, Se, Cu, Zn), токсичных элементов (As, Cd, Hg, Pb) с помощью масс-спектрометра с индуктивно-связанной плазмой и СОЗ методом газовой хромато-масс-спектрометрии. Почти у 90% участников экспедиции концентрация витамина D была ниже 20 нг/мл, что говорит о недостаточности данного витамина в организме. Проведя сравнительный анализ между экспедиционной группой и постоянно проживающим населением Ненецкого автономного округа (НАО), было установлено, что у экспедиционной группы значительно снижено содержание не только токсичных соединений (As, Cd, Hg, Pb, СОЗ), но и эссенциальных элементов (Co, Mn, Se, Cu, Zn), по сравнению с местным населением. Стоит отметить, что концентрация мышьяка у экспедиционной группы в 65 раз ниже (0,12 мкг/л), чем у постоянных жителей Арктической зоны Российской Федерации (7,29 мкг/л), также в 42 раза ниже была концентрация свинца в группе экспедиционных работников (0,30 мкг/л), чем у местного населения (15,21 мкг/л). Полученные данные дают информацию об элементарном и токсикантном статусе городского населения РФ. Одной из причин таких различий может быть ведение преимущественно традиционного образа жизни местным населением НАО и биомagniфикация токсичных веществ в пищевых цепях. Если на постоянной основе проводить биомониторинговые исследования и накапливать полученные данные, то будет основа для прогнозирования рисков как краткосрочного, так и долгосрочного характера. Проведённое исследование способствует расширению системы биомониторинга на национальном уровне.

Ключевые слова: биомониторинг; тяжёлые металлы; эссенциальные элементы; стойкие органические загрязнители; экспедиционная группа; население Арктической зоны Российской Федерации

Этика. Исследование проведено в соответствии с локальным этическим комитетом Северного государственного медицинского университета (СГМУ) (выписка из протокола заседания от 09.06.2021 № 04-06-2021).

Для цитирования: Коробицына Р.Д., Варакина Ю.И., Трофимова А.Н., Аксенов А.С., Сорокина Т.Ю. Внедрение системы биомониторинга в крупные научные экспедиции на примере научно-образовательного проекта «Арктический плавучий университет». *Мед. труда и пром. экол.* 2024; 64(1): 4–19. <https://elibrary.ru/hjvcqg> <https://doi.org/10.31089/1026-9428-2024-64-1-4-19>

Для корреспонденции: Коробицына Римма Дмитриевна, инженер лаборатории арктического биомониторинга САФУ. E-mail: rimma.korobitsyna@gmail.com

Участие авторов:

Коробицына Р.Д. — концепция и дизайн исследования, сбор и обработка данных, написание текста, редактирование;

Варакина Ю.И. — концепция и дизайн исследования, сбор и обработка данных, написание текста;

Трофимова А.Н. — сбор и обработка данных, написание текста;

Аксенов А.С. — написание текста, редактирование;

Сорокина Т.Ю. — концепция и дизайн исследования, написание текста, редактирование.

Благодарности. Авторы выражают благодарность проекту «Арктический плавучий университет», участникам настоящего исследования, без которых оно бы не состоялось, сотрудникам ФГБОУ ВО «Северный государственный медицинский университет» Министерства Здравоохранения РФ за помощь в отборе, первичной пробоподготовке и проведении биохимического анализа и научному сотруднику МГУ им. М.В. Ломоносова Соболеву Никите Андреевичу за помощь в проведении элементного анализа проб на ИСП-МС. Работа выполнена при поддержке научно-образовательного центра мирового уровня «Российская Арктика: новые материалы, технологии и методы исследования».

Финансирование. Настоящая работа была выполнена при финансовой поддержке Российского научного фонда (договор от 22.03.2022 № 22-15-20076)

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Дата поступления: 18.12.2023 / Дата принятия к печати: 17.01.2024 / Дата публикации: 12.02.2024

Введение. В последнее время внимание научного сообщества к вопросу охраны здоровья коренного населения и людей, временно приезжающих в Арктику, растёт, что находит своё отражение в росте количества публикаций по данной тематике. Активное развитие Арктической зоны Российской Федерации сопряжено с интенсивным привлечением человеческих ресурсов для работы в различных отраслях нефтегазового производства с внедрением вахтово-экспедиционного характера труда. Проблема сохранения здоровья трудоспособного населения человека в условиях Крайнего Севера, приобрела особую актуальность и большое экономическое значение [1, 2]. Арктика характеризуется целым комплексом природно-климатических факторов, создающих определённый и существенный риск для возникновения нарушений здоровья лиц, подвергающихся их воздействию. Условия арктического региона отличаются суровостью: низкими температурами, господством ветренных погод с метелями и ураганами зимой, длительным периодом без солнечного освещения, низкой фитопродукцией ландшафтов [3].

Стоит отметить, что в отношении постоянно проживающего населения проводятся исследования, включённые в медико-биологический, социально-гигиенический мониторинг и внедрение их результатов на национальном уровне [4, 5–7]. В последнее время стали проводить и мониторинг здоровья вахтовых работников [2, 8–9]. В то время как временно приезжающие в Арктику члены экспедиционной группы остаются вне национальной системы биомониторинга. Неблагоприятные климатогеографические условия Арктической зоны такие как пониженные температуры воздуха, перепады атмосферного давления, штормовые условия, оказывают влияние на самочувствие учёных, выполняющих научно-исследовательскую деятельность. Любой стресс вызывает мобилизацию функциональных резервов, в Арктике это происходит постоянно в связи с особенностями арктического климата и условиями труда. На одно и то же воздействие у одних людей напряжение регуляторных систем невелико (рабочий уровень функционального напряжения), а у других — напряжение может быть резко выраженным [10]. Всё зависит от функциональных резервов организма, от запаса жизненных сил. Участие в экспедициях на судах подразумевает под собой особые бытовые условия, такие как ограниченность пространства, сенсорная депривация, в которых проходит экспедиционная деятельность, поэтому экспедиционная группа может стать объектом исследования.

«Арктический плавучий университет» — научно-образовательный экспедиционный проект, реализуемый с 2012 г., в высоких широтах Российской Арктики. Организаторами проекта являются Северный (Арктический) федеральный университет имени М.В. Ломоносова (САФУ), Северное управление по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды (Росгидромет) и Русское географическое общество. «Арктический плавучий университет» — это площадка, объединяющая молодых людей, исследователей и различные научные проекты со всего мира с целью изучения арктических территорий, подготовки кадров и развития многостороннего диалога и партнёрства в сфере совместного научного и образовательного развития Арктики.

Тринадцатый рейс «Арктического плавучего университета — 2021» состоялся на НЭС «Михаил Сомов» в период с 10 июня по 01 июля 2021 г., за двадцать один день судно прошло по маршруту: Архангельск —

Малые Кармакулы — мыс Желания, архипелаг Новая Земля — разрез «мыс Желания — о. Сальм» — Земля Франца-Иосифа (высадки на о. Гукера, о. Хейса и о. Белл) — Архангельск.

Все вышеописанное определило цель нашего исследования — апробировать протокол биомониторинговых исследований на морских экспедиционных группах, временно приезжающих работать в экстремальных условиях Арктики.

Материалы и методы. Участники исследования были отобраны в соответствии с протоколом, который был утверждён локальным комитетом по этике Северного государственного медицинского университета (СГМУ) (выписка из протокола заседания от 09.06.2021 № 04-06-2021), получившим положительное заключение. К участникам предъявлялись следующие требования: 1) возраст должен быть 18 лет (возраст совершеннолетия по российскому законодательству) и старше; 2) физическое присутствие на борту судна НЭС «Михаил Сомов» в период экспедиции с 10 июня по 1 июля 2021 г. Требования к полу, национальности, профессии, образу жизни и питанию не предъявлялись. В связи с тем, что все участники проходили медицинское освидетельствование перед экспедицией, а члены судовой команды регулярно проходят медицинские обследования, мы исходили из позиции, что все участники исследования являются условно здоровыми.

Участники были проинформированы о протоколе исследования под подпись, также ими было подписано согласие на добровольное участие в исследовании и согласие на обработку персональных данных в соответствии со статьёй 9 Федерального закона «О персональных данных» от 27.07.2006 № 152-ФЗ. Участие в исследовании было добровольным.

Работа исследовательской команды на борту судна состояла из следующих этапов:

- 1) анкетирование участников;
- 2) забор крови у участников;
- 3) первичная пробоподготовка отобранных биообразцов;
- 4) замораживание и хранение.

Анкетирование. Все участники исследования заполнили заранее подготовленные и распечатанные анкеты. Анкеты состояли из следующих вопросов: ФИО, дата рождения, вес, рост, уровень образования, основной вид деятельности и т. д.; вопросы образа жизни — вредные привычки и приём витаминов и БАД и т. д.

В исследовании приняли участие 50 человек (26 мужчин и 24 женщины в возрасте от 20 до 72 лет). К участию в исследовании присоединились участники научно-образовательного экспедиционного проекта «Арктический плавучий университет — 2021», сотрудники Национального парка «Русская Арктика», участники экологического проекта «Хозяин Арктики», сотрудники Института проблем экологии и эволюции имени А.Н. Северцова РАН и члены экипажа НЭС «Михаил Сомов» (табл. 1).

Отбор биообразцов. Отбор цельной крови человека осуществлялся медицинским персоналом в специальном помещении, в течение первых трёх дней экспедиции после отбытия судна из порта Архангельск (с 11 по 13 июня 2021 г.). Забор крови проводился в амбулатории на борту судна. Кровь отбирали в вакуумные пробирки (*Improvacuter*, Россия) для определения следующих показателей: токсичные и эссенциальные элементы, стойкие органические загрязнители (СОЗ), биохимические показатели, а также витамин D (рис. 1).



Рис. 1. Схема отбора биологических образцов

Первичная пробоподготовка отобранных биообразцов. Все три вакутайнера медленно охлаждались в течение 45 минут до комнатной температуры. После охлаждения все вакуумные пробирки, кроме вакутайнера на эссенциальные и токсичные элементы подвергались процедуре центрифугирования (*Biosan*, Латвия) в течение 10 мин, со скоростью 3000 об/мин, для получения сыворотки и плазмы. После центрифугирования из вакуумной пробирки ЭДТА К2 (9 мл) одноразовой пипеткой Пастера отбиралась только плазма, и переносилась в 10 мл стеклянную вилу (*Glasstechnik Grafenroda*, Германия). Сыворотка из пробирки с активатором свертывания переносилась в 3 криопробирки (*SSlbio*, USA) объемом 1,5 мл. Затем все подготовленные пробы (цельная кровь в вакутайнере, плазма в стеклянной виле и сыворотка в криопробирках) замораживались в специально отведенном для этих целей морозильном ларе (*Gorenje*, Сербия) при температуре не выше -18°C .

По прибытию НЭС «Михаил Сомов» в порт города Архангельск пробы транспортировались в лабораторию арктического биомониторинга САФУ в медицинских термоконтейнерах (ТермоКонт МК, Россия) без размораживания для дальнейшей работы с образцами.

Лабораторный анализ. Определение 8 биохимических показателей в крови проводили на автоматическом биохимическом анализаторе *Random Access A-15* (*Biosystems*, Испания) в центральной научно-исследовательской лаборатории ГБОУ ВО «СГМУ» (г. Архангельск).

Концентрацию витамина D (25-гидроксивитамина) в сыворотке крови определяли методом высокоэффективной жидкостной хроматографии с tandemным масс-спектрометрическим детектированием (ВЭЖХ-МС/МС). Жидкостной хроматограф *Agilent 1200* (USA), масс-спектрометр *AB Sciex 3200 MD* (*Singapore*), в лаборатории научно-производственной фирмы «Хеликс» (лицензия № Л041-01126-23/00553381 от 10.11.2020). Для обеспечения качества измерений применяли контрольный материал производства *Recipe* (*Munich, Germany*) LOT 1207.

Анализ токсичных и эссенциальных элементов в цельной крови проводились в лаборатории арктического био-

мониторинга САФУ с помощью масс-спектрометра с индуктивно-связанной плазмой *Agilent 7800 ICP-MS* (США). Прибор был откалиброван по азотной кислоте и матрице цельной крови *ClinCal Whole Blood Calibrator I LOT 1458* (Мюнхен). Для обеспечения качества измерений использовался *Seronorm Trace Elements level-1* (LOT: 010010) и *level-2* (LOT: 010011) (Норвегия), как описано в нашей предыдущей статье [6].

Уровень СОЗ в плазме крови проводили методом газовой хромато-масс-спектрометрией (ГХ-МС) в лаборатории арктического биомониторинга САФУ и ЦКП НО «Арктика» САФУ согласно методике, описанной в статье [5].

Всего было проанализировано 150 биологических образцов (цельная кровь, сыворотка и плазма крови) на содержание токсичных (*Pb*, *Cd*, *As*, *Hg*), эссенциальных (*Co*, *Cu*, *Zn*, *Se*, *Mn*), макроэлементов (*P*, *Ca*, *Mg*) и 28 СОЗ (11 полихлорированных бифенилов (ПХБ), 17 хлорорганических пестицидов (ХОП)).

Статистическая обработка данных проводилась с использованием программного обеспечения *SPSS*, версия 23.0 (*IBM Corp.*, США) и *Microsoft Office Excel 2016* (*Microsoft*, США).

Анализ полученных данных был проведен методом сравнения с ранее полученными нами сведениями об актуальных концентрациях токсичных и эссенциальных элементов, а также СОЗ в крови постоянных жителей Северо-Западной части Арктической зоны Российской Федерации [5–6, 11].

Результаты. Анализ антропометрических данных показал, что у 14% участников исследования отмечен высокий индекса массы тела (ИМТ) (больше $30,0 \text{ кг/м}^2$), избыточный ИМТ зафиксирован у 16% ($25\text{--}30 \text{ кг/м}^2$) и у 2% участников был отмечен низкий ИМТ, что соответствует недостаточной массе тела ($<18,5 \text{ кг/м}^2$) (табл. 1).

Более 80% участников исследования имели постоянное трудоустройство, при этом 54% указали, что испытывают во время работы профессиональную вредность. Среди наиболее часто упомянутых вредных факторов

Таблица 1

Антропометрические данные участников исследования

Показатель	Женщины (n=24)	Мужчины (n=26)	Всего (n=50)
	АМ* (min-max)	АМ (min-max)	АМ (min-max)
Возраст, лет	29 (20–55)	33 (20–72)	31 (20–72)
Вес, кг	62 (47–95)	81 (69–115)	71 (47–115)
Рост, см	164 (152–175)	180 (166–194)	171 (152–194)
ИМТ, кг/м ²	23,9 (20,3–31,0)	25,5 (25,0–30,6)	24,7 (18,4–34,9)

Примечание: * — среднее арифметическое значение.

Таблица 2

Результаты биохимического анализа сыворотки крови

Показатель	АМ (min-max)	Допустимый диапазон
Холестерин, ммоль/л	4,7 (2,8–8,4)	5,2–6,2
Триглицериды, ммоль/л	0,85 (0,28–2,53)	<1,70
Мочевая кислота, мкмоль/л	279,5 (158,0–443,0)	10–420
Креатинин, мкмоль/л	91,0 (72,0–128,1)	53–115
ХсЛПВП*, ммоль/л	1,62 (1,08–2,58)	≥1,56
Ферритин, мкг/л	25,8 (2,00–406)	20–250
Железо (Fe), мкмоль/л	13,7 (5,5–32,6)	9,0–31,3
Глюкоза, ммоль/л	5,2 (4,3–6,3)	3,3–5,6

Примечание: * — ХсЛПВП — холестерин липопротеинов высокой плотности.

были: сидячий образ жизни и электромагнитное излучение. В качестве вредной привычки курение указали 12% участников.

Полученные данные биохимического анализа использовались для пересчёта СОЗ и оценки общего состояния участников исследования. Средние арифметические (АМ) показатели биохимического анализа крови у участников, за исключением холестерина, были в пределах допустимого диапазона, представленного сотрудниками центральной научно-исследовательской лаборатории «СГМУ» (табл. 2). Средняя концентрация холестерина была меньше допустимой концентрации почти на 9%.

Диапазон концентрации витамина D в сыворотке крови участников исследования составил от 9,9 нг/мл до 56,2 нг/мл. Почти у 90% участников концентрация витамина D была ниже 20 нг/мл, что говорит о недостаточности данного витамина в организме [12]. У женщин средняя концентрация витамина D составила 19,3 нг/мл, а у мужчин 18,5 нг/мл.

Анкета, которую заполняли участники исследования, содержала вопрос о приёме витаминов. 12 участников исследования заявили о приёме БАД, содержащих витамин D, из них 7 женщин и 5 мужчин. В соответствии с ответом на этот вопрос все участники исследования были разделены на две группы независимо от пола: 1) принимавшие витамин D и 2) не принимавшие его. АМ концентрация 25-гидроксивитамина D у участников, ответивших положительно, была практически в 2 раза выше (29,2 нг/мл), чем у тех, кто не принимал дополнительно БАД, содержащие витамин D (17,0 нг/мл). Если говорить о гендерных различиях, то наше исследование показало, что у женщин максимальная концентрация витамина D (56,2 нг/мл) была в 1,5 раза выше, чем у мужчин (35,7 нг/мл). Обнаружена связь между потреблением БАД, включающих витамин D, с концентрацией витамина D в крови участников. У всех опрошенных, регулярно употребляющих витамин D, была обнаружена

концентрация витамина D в районе нормы (30–100 нг/мл). В то время, как участники с недостаточностью и дефицитом витамина D указали в анкете, что принимали витамин D нерегулярно, сезонно или его не употребляли совсем. Средняя концентрации витамина D у женщин (19,4 нг/мл), и у мужчин (18,5 нг/мл) примерно одинаковые и отвечают недостаточному уровню. Как показал ранее проведённый систематический обзор, в целом большая часть населения России испытывает недостаток витамина D различной степени тяжести [13]. Настоящее исследование подтверждает, что дефицит витамина D остаётся серьёзной проблемой общественного здравоохранения.

Выявлено, что более высокие средние концентрации кобальта (0,09 мкг/л), меди (1,02 мг/л) и кальция (73,1 мкг/л) в цельной крови были характерны для женщин. В то время как максимальная индивидуальная концентрация кобальта (0,1 мкг/л) была обнаружены у мужчины. В пробах крови мужчин отмечены более высокие средние концентрации ртути (1,07 мкг/л), свинца (0,70 мкг/л), селена (105,3 мкг/л) цинка (4,02 мг/л), магния (29,4 мкг/л) и фосфора (271,1 мкг/л). В то время как максимальные индивидуальные концентрации ртути (3,34 мкг/л) и свинца (39,1 мкг/л) были отмечены у женщин. Концентрации остальных элементов в крови женщин и мужчин были на одинаковом уровне (табл. 3).

Проанализированы уровни содержания следующих СОЗ в плазме крови участников: конгенеры 28, 52, 101, 105, 118, 123, 128, 153, 180, 183 ПХБ (ΣПХБ); p,p'-ДДЕ, o,p'-ДДЕ, p,p'-ДДД и o,p'-ДДД (ΣДДТ); α-ГХЦГ, β-ГХЦГ, γ-ГХЦГ, гексахлорбензол (ГХБ), цис-нонахлор, транс-нонахлор, цис-хлордан, транс-хлордан, мирекс, альдрин, 1,2,3,5-ТХБ, и β-гептахлорэпоксид (другие ХОП, Σ другие ХОП). Концентрация всех исследуемых СОЗ была ниже пределов количественного обнаружения (ПКО) (табл. 4).

На основании анкетных данных мы разделили всех участников исследования на две возрастные группы,

Результаты элементного анализа цельной крови участников экспедиции

Элемент	Женщины (n=24)	Мужчины (n=26)	Все (n=50)
	AM (min-max)	AM (min-max)	AM (min-max)
As, мкг/л	0,13 (0,05–17,79)	0,11 (0,05–5,01)	0,12 (0,05–17,79)
Cd, мкг/л	0,06 (0,05–1,05)	0,06 (0,04–0,42)	0,06 (0,04–1,05)
Hg, мкг/л	0,69 (0,15–3,34)	1,07 (0,98–3,06)	0,85 (0,15–3,34)
Pb, мкг/л	0,18 (0,05–9,36)	0,70 (0,05–39,09)	0,30 (0,05–39,09)
Co, мкг/л	0,10 (0,04–0,70)	0,04 (0,04–0,10)	0,06 (0,04–0,70)
Mn, мкг/л	19,1 (16,8–21,7)	18,6 (15,7–23,5)	18,8 (15,7–23,5)
Se, мкг/л	98,8 (58,3–114,4)	105,3 (86,6–133,2)	102,1 (58,3–133,2)
Si, мг/л	1,00 (0,80–1,59)	0,80 (0,64–1,23)	0,89 (0,64–1,59)
Zn, мг/л	3,34 (2,15–5,41)	4,02 (3,00–5,68)	3,66 (2,15–5,68)
Mg, мкг/л	27,2 (24,0–33,3)	29,4 (24,8–36,9)	28,3 (24,0–36,9)
P, мкг/л	253,3 (194,2–317,9)	271,1 (203,4–365,8)	262,2 (194,2–365,8)
Ca, мкг/л	73,1 (59,8–86,5)	66,0 (52,7–85,1)	69,2 (52,7–86,5)

Таблица 4

Результаты анализа содержания СОЗ в сыворотке крови участников экспедиции

Показатель	Значение, нг/мл
ΣПХБ	<0,50
ΣДДТ	<0,20
ΣДругие ХОП	<0,75

согласно классификации ВОЗ [14]: 1. Участники до 24 лет включительно (n=15) и 2. Участники 25 лет и старше (n=35). Между двумя группами были различия в уровнях сывороточного ферритина и витамина D, а также элементов в цельной крови. Например, в возрастной группе 25 лет и старше средняя концентрация кобальта была на 30% ниже и составила (0,05 мкг/л). Средние концентрации ртути и свинца в этой возрастной группе были соответственно в 3 раза и на 10% выше, чем концентрации этих элементов в группе до 24 лет. Полученные результаты, согласуются с исследованиями Р. Памфлетта [15], К. Берковица [16] и ВОЗ [17, 18], где выявлены различия в содержании ртути и свинца в зависимости от возраста участников. Также стоит отметить различия в уровне витамина D, в возрастной группе до 24 лет показатель составил 15,9 нг/мл, что соответствует дефицитному состоянию, а для участников старше 25 лет показатель составил 20,6 нг/мл, что соответствует недостаточному уровню [12]. Средняя концентрация ферритина у участников до 24 лет составила 12,6 мкг/л, в то время как в старшей группе данный параметр был выше в 3 раза выше и составил 111,0 мкг/л. Оценивая уровень ферритина, можно сделать вывод, что показатели для обеих групп соответствовали норме [19] при этом стоит иметь в виду, что студенты, возраст которых чаще всего составляет от 18–24 лет, являются одной из основных групп риска по возникновению анемии, в связи с умственным перенапряжением, стрессовыми ситуациями, эндокринной перестройкой организма, несбалансированным питанием [20].

Сравнительный анализ. Произведён сравнительный анализ данных, полученных в рамках настоящего исследования, с ранее опубликованными нами данными о концен-

трации токсичных элементов в крови местного населения Ненецкого автономного округа (НАО). Для корректного сравнения коренного населения с участниками морской экспедиции был выбран посёлок Индига НАО, поскольку в нем приняло участие то же самое количество человек, что и в настоящем исследовании (n=50). Участниками исследования в посёлке Индига стали 35 женщин и 15 мужчин в возрасте от 19 до 86 лет. Стоит отметить, что участники экспедиционной группы были представлены городским населением, в то время как в НАО участники исследования проживали в посёлке. Концентрации магния, фосфора и кальция не были определены в крови коренного населения НАО, в связи с чем сравнить их с полученными данными экспедиционной группы не представляется возможным.

Мышьяк. Как показал сравнительный анализ, концентрация мышьяка (0,11 мкг/л) у мужчин, участвовавших в настоящем исследовании в 65 раз ниже, а у женщин (0,13 мкг/л), участвовавших в настоящем исследовании, в 73 раз ниже, чем у жителей НАО (7,21 и 7,32 мкг/л, соответственно). Как ранее было описано [21], высокие концентрации мышьяка у жителей НАО могут быть связаны с преимущественно традиционным типом питания, а именно потребление морской и анадромной рыбы. Эти виды рыбы способны к накоплению различных форм мышьяка, основные преобладающие из них арсениты, арсенобетаин метилированные соединения мышьяка (V) [22].

Кадмий. Согласно результатам анкетирования, все участники этого исследования были разделены на две группы, независимо от пола: 1. Курящие (n=7) и 2. Некурящие (n=43). Была выявлена разница в уровне кадмия в крови курящих участников (0,11 мкг/л) и некурящих почти в 2 раза ниже. Жители посёлка Индига также были разделены на две группы: 1. Курящие (n=8) и 2. Некурящие (n=42). Концентрация кадмия в крови участников исследования, отметивших факт курения, составила 0,53 мкг/л и была почти в 3 раза выше, чем в крови некурящих (0,19 мкг/л). Полученные результаты согласуются с другими исследованиями [8, 23]. Концентрация кадмия в крови некурящих отражает естественный глобальный фон поступления этого элемента с пищей. Концентрация кадмия в крови курящих участников из НАО была в 5 раз выше, чем у участников морской экспедиции, что, скорее

всего, связано с продолжительностью привычки. Средняя продолжительность курения жителей Индиги составила в среднем 21 год, в то время как средняя продолжительность курения участников экспедиции составила 12 лет. Это подтверждает способность кадмия к биоаккумуляции в организме человека.

Ртуть. Средняя концентрация ртути в экспедиционной группе составила у мужчин 1,07 мкг/л и у женщин 0,69 мкг/л, что в 3–5 раз ниже, чем у жителей Северо-Западной части российской Арктики. Местное население Арктики в первую очередь подвергаются воздействию ртути в основном за счёт традиционного образа жизни арктических популяций, которая включает потребление большого количества морепродуктов, морской и пресноводной рыбы и морских млекопитающих [21, 24–25]. В нашем исследовании не было обнаружено статистически значимых различий между содержанием ртути в крови участников данного исследования в зависимости от курения, что подтверждается исследованием *Pernilla Almerud* [23]. В то время как в исследованиях *Doohee Hong* была выявлена положительная взаимосвязь между курением и накоплением ртути в волосах [26]. Участники данного исследования, заявившие о курении, обладали концентрацией ртути 0,85 мкг/л, а те, кто не курил, 0,82 мкг/л.

Свинец. Содержание свинца в крови участников экспедиционной группы невероятно низкое: в 22–64 раза ниже (0,18–0,70 мкг/л), чем у жителей НАО (11,50 и 15,37 мкг/л). Одной из причин таких высоких концентраций свинца в крови местного населения может быть традиционная охота, которая остается по сей день одним из основных видов деятельности жителей удалённых населённых пунктов АЗРФ, свыше 50% местного населения заявили о занятии ловлей и охотой, тогда как среди участников данного исследования всего лишь 6–10% заявили о данных видах деятельности. Свинцовые пули и грузила, используемые для охоты на птиц и при ловле рыбы, могут загрязнять мясо фрагментами свинца [27]. Второй причиной может быть загрязнение свинцом источников питьевой воды в следствии ранее осуществлённых добыч полезных ископаемых [6].

Произведён также сравнительный анализ данных, полученных в рамках настоящего исследования, с ранее полученными данными о концентрации эссенциальных элементов в крови местного населения НАО.

Кобальт. Кобальт входит в состав витамина B_{12} , последний выполняет несколько важных задач, например, создание эритроцитов. В некоторых случаях может заменять цинк и марганец в биохимических реакциях [28, 29]. При сравнительном анализе были выявлены различия в концентрации кобальта в крови у женщин (0,1 мкг/л) и мужчин (0,04 мкг/л) экспедиционной группы в 6–15 раз соответственно ниже, чем в крови женщин (0,65 мкг/л) и мужчин (0,6 мкг/л), постоянно проживающих в Северо-Западной части российской Арктики. Как было опубликовано ранее [21] мясо и печень северного оленя, богато кобальтом в своём составе, что может повлиять на уровень кобальта в крови местного населения.

Марганец. Марганец является кофактором ферментов, участвующих в формировании костей и метаболизме глюкозы, углеводов и липидов [30]. Концентрация марганца, наоборот, была выше почти в 1,5 раза у мужчин (18,6 мкг/л) и женщин (19,1 мкг/л) экспедиционной группы, чем у мужчин (12,6 мкг/л) и женщин (11,3 мкг/л), постоянно проживающих в НАО. Лучшими источниками

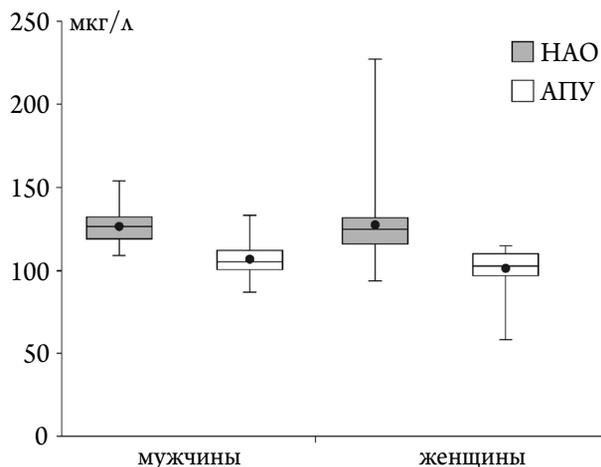


Рис. 2. Диаграммы размаха концентраций селена в крови жителей НАО и участников экспедиции в зависимости от пола

марганца являются овощи [30], но в Арктике традиционная диета не содержит большого количества овощей в своём рационе.

Селен. Уровень селена в крови был чуть выше в группе постоянно проживающего населения (125,3–124,3 мкг/л), чем у экспедиционной группы (98,8–105,3 мкг/л) (рис. 2).

Одним из факторов более высоких концентраций селена в крови местного населения, мог стать преимущественно традиционный образ жизни, с преобладанием пищи животного происхождения [21]. А также полученные результаты согласуются с исследованием *Manisha Banerjee* [31] и др. указывающие на использование селена в качестве защитного медиатора против токсичности ртути. Наличие молярного избытка селена над ртутью вызывает потенциально полезные эффекты, которые включают восстановление окислительно-восстановительной функции селенопротеина, защиту от повреждения ДНК и оттока ртути посредством комплексообразования $Hg:Se$ [32, 33].

Медь. Медь является кофактором для «купроферментов» (например, церулоплазмин), участвующих в производстве энергии, метаболизме железа [34]. Содержание меди у участников настоящего исследования и постоянно проживающего населения было практически на одном уровне. У женщин концентрация меди была выше, чем у мужчин той же самой группы это согласуется с другими исследованиями [6, 35–36]. Согласно литературным данным более высокие концентрации меди в крови женщин, могут быть объяснены приёмом оральных контрацептивов и периодом менопаузы [37], т. к. опросник данного исследования не содержал этих вопросов, то нет достоверных данных подтверждающих этот факт.

Цинк. Цинк связан с более 50 различными металлоферментами, которые имеют разнообразные функции, включая синтез нуклеиновых кислот и специфических белков, таких как гормоны и их рецепторы [38]. По этим причинам цинк играет главную роль в росте, дифференцировке и метаболизме клеток [39]. Концентрация цинка в крови была в 2 раза выше у местного населения (7,75–9,20 мг/л), чем у экспедиционной группы (3,34–4,02 мг/л) (рис. 3). Возможно, это может быть связано с преимущественно традиционным образом жизни.

Стоит отметить, что у мужчин концентрация цинка в крови в обеих группах выше, чем у женщин из той же

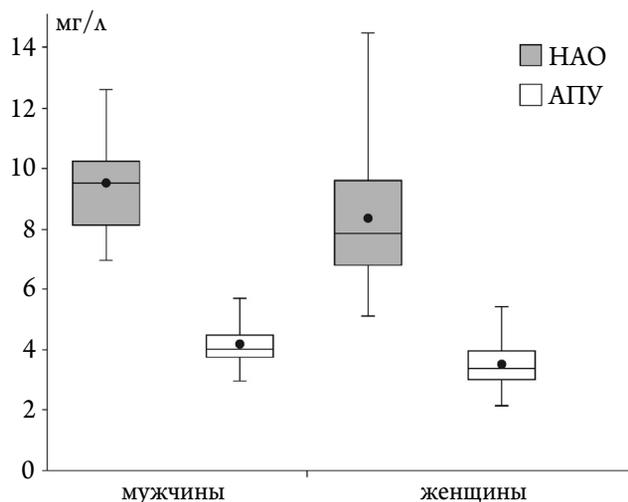


Рис. 3. Диаграммы размаха концентраций цинка в крови жителей НАО и участников экспедиции в зависимости от пола

группы данный факт подтверждается ранее опубликованными данными [40]. Концентрацию цинка измеряют в сыворотке, плазме, цельной крови, последняя содержит примерно в восемь раз больше цинка, чем остальные. В связи с чем цельная кровь является лучшим объектом для оценки статуса цинка [41].

СОЗ. Важным анализируемым показателем биомониторинговых исследований является уровень СОЗ в крови людей. К числу таких токсичных соединений относятся прежде всего хлорорганические, содержание которых в крови жителей Арктического региона мониторируется с конца XX века [42]. Сообщённые ранее концентрации Σ ДДТ и Σ другие ХОП у жителей 7 поселков НАО в 2...5 раз превышают ПКО. Содержание ПХБ в сыворотке населения островных территорий западно-

го сектора российской Арктики и вовсе приближается к 3 нг/мл (о. Вайгач), что вероятно связано с поступлением данных СОЗ в организм человека по пищевой цепи и гораздо большей зависимости жителей НАО от традиционных продуктов питания (рыба, дикая птица) [5, 13]. При этом средний уровень СОЗ в сыворотке крови всех участников экспедиции оказался значительно ниже ПКО.

Ограничения исследования. Ограничениями данного исследования являются: 1) небольшой размер выборки; 2) неоднородность возрастных групп; 3) необходимость усовершенствования опросника.

Заключение. В ходе исследования получены данные о содержании токсичных, эссенциальных элементов и СОЗ в крови участников Арктической морской экспедиционной группы. Выполнен сравнительный анализ результатов, полученных в рамках текущего исследования, с соответствующими данными, полученными в НАО Российской Арктики. Проведено сравнение уровней химических соединений в крови городских жителей России и сельских жителей Арктики. Обнаружено, что содержание токсичных соединений (мышьяк, кадмий, ртуть, свинец), а также эссенциальных элементов (кобальт, селен, цинк) в крови городских жителей было значительно ниже по сравнению с сельским населением. Концентрация СОЗ в плазме крови городских жителей была ниже, чем ПКО, в то время как в крови жителей Индиги были обнаружены следовые концентрации некоторых химических веществ. Предполагается, что эти различия связаны с диетой и образом жизни участников исследования. В крови жителей Арктики были обнаружены более высокие уровни кадмия, что может быть связано с продолжительностью курения. Различия в содержании других элементов связаны с привычками питания. С одной стороны, традиционный образ жизни вносит свой вклад в поступление токсичных элементов с питанием, с другой стороны способствует поступлению и эссенциальных элементов необходимых для человека в суровых условиях Арктики.

Список литературы

- Иконникова Н.В., Гребеньков С.В., Бойко И.В., Никанов А.Н. Риски утраты профессионального здоровья у работников газотранспортного предприятия, действующего в условиях, приравненных к Крайнему Северу. *Медицина труда и промышленная экология*. 2023; 63(4): 218–225. <https://doi.org/10.31089/1026-9428-2023-63-4-218-225>
- Охотников С.В., Васильев М.Ю., Поваженко А.А. Иммунологическая реактивность у вахтовых работников в условиях Крайнего Севера и ее коррекция. *Медицинская иммунология*. 2020; 2(1): 93–96.
- Бужилова А.П., Бацевич В.А., Бердиева А.Ю., Зорина Д.Ю., Ясина О.В. Оценка взаимосвязи морфологических характеристик и концентраций микроэлементов у современных представителей арктического адаптивного типа. *Вестник археологии, антропологии и этнографии*. 2013; 4(23): 59–70.
- Белоножко М.Л., Белоножко Л.Н., Овейн М.М. Влияние человеческого потенциала на развитие Арктики. *Известия высших учебных заведений. Социология. Экономика. Политика*. 2020; 13(3): 9–21.
- Varakina Y., Lahmanov D., Aksenov A. et al. Concentrations of Persistent Organic Pollutants in Women's Serum in the European Arctic Russia. *Toxics*. 2021; 9(1): 6. <https://doi.org/10.3390/toxics9010006>
- Sobolev N., Ellingsen D.G., Belova N. et al. Essential and non-essential elements in biological samples of inhabitants residing in Nenets Autonomous Okrug of the Russian Arctic. *Environ Int*. 2021; 152: 106510. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2021.106510>
- Дударев А.А., Одланд Й.О. Здоровье человека в связи с загрязнением Арктики — результаты и перспективы международных исследований под эгидой АМАП. *Экология человека*. 2017; 9: 3–14.
- Корнеева Я.А., Симонова Н.Н. Особенности психологической адаптированности вахтового персонала в условиях Крайнего Севера. *Национальный психологический журнал*. 2021; 4(44): 63–74. <https://doi.org/10.11621/npj.2021.0406>
- Гудков А.Б. Адаптивные реакции организма вахтовых рабочих в Арктике. *Вестник САФУ. Сер.: Естественные науки*. 2012; 2: 65–70.
- Миллер Л. *Спортивная медицина: учебное пособие*. Издательство: Литагент Спорт; 2015.
- Коробицына Р.Д., Сорокина Т.Ю. Статус витамина D населения России репродуктивного возраста за последние 10 лет: систематический обзор. *Российская Арктика*. 2022; 18: 44–55. <https://doi.org/10.24412/2658-4255-2022-3-44-55>
- Holick M.F., Binkley N.C., Bischoff-Ferrari H.A., Gordon C.M., Hanley D.A., Heaney R.P., Murad M.H., Weaver C.M. Evaluation, treatment, and prevention of vitamin D deficiency: An Endocrine Society clinical practice guideline. *J Clin. Endocrinol. Metab*. 2011; 96: 1911–1930.
- Varakina Y., Aksenov A., Lakhmanov D. et al. Geographic and Ethnic Variations in Serum Concentrations of Legacy Persistent

- Organic Pollutants among Men in the Nenets Autonomous Okrug, Arctic Russia. *Int. J. Environ. Res. Public Health*. 2022; 19: 1379. <https://doi.org/10.3390/ijerph19031379>
14. *Provisional guidelines on standard international age classifications*. Publisher: United nations, New York; 1982.
 15. Pamphlett R. The prevalence of inorganic mercury in human cells increases during aging but decreases in the very old. *Sci Rep*. 2021; 11: 16714. <https://doi.org/10.1038/s41598-021-96359-8>
 16. Bercovitz K., Laufer D. Age and gender influence on lead accumulation in root dentine of human permanent teeth. *Archives of Oral Biology*. 1991; 36(9): 671–673. [https://doi.org/10.1016/0003-9969\(91\)90020-U](https://doi.org/10.1016/0003-9969(91)90020-U)
 17. Всемирная организация здравоохранения. Отравление свинцом. <https://www.who.int/ru/news-room/fact-sheets/detail/lead-poisoning-and-health>
 18. Всемирная организация здравоохранения. Ртуть и здоровье. <https://www.who.int/ru/news-room/fact-sheets/detail/mercury-and-health>
 19. Al-Naseem A., Sallam A., Choudhury S., Thachil J. Iron deficiency without anaemia: a diagnosis that matters. *Clin Med (Lond)*. 2021; 21(2): 107–113. <https://doi.org/10.7861/clinmed.2020-0582>
 20. Орынханова М.О., Жанузаков М.А. Особенности железодефицитной анемии у студентов и методы ее коррекции. *Наука о жизни и здоровье*. 2019; (4): 86–96. <https://doi.org/10.24411/1995-5871-2019-10056>
 21. Sorokina T., Sobolev N., Belova N. et al. Diet and Blood Concentrations of Essential and Non-Essential Elements among Rural Residents in Arctic Russia. *Nutrients*. 2022; 14: 5005. <https://doi.org/10.3390/nu14235005>
 22. Новиков М.А., Горбачева Е.А., Лаптева А.М. Содержание мышьяка в промысловых рыбах Баренцева моря (по многолетним данным). *Известия ТИИРО*. 2021; 201(4): 833–844. <https://doi.org/10.26428/1606-9919-2021-201-833-844>
 23. Almerud P., Zamaratskaia G., Lindroos A.K. et al. Cadmium, total mercury, and lead in blood and associations with diet, sociodemographic factors, and smoking in Swedish adolescents. *Environ Res*. 2021; 197: 110991. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2021.110991>
 24. Berglund M., Lind B., Björnberg K.A. et al. Inter-individual variations of human mercury exposure biomarkers: A cross-sectional assessment. *Environ. Health*. 2005; 4: 20. <https://doi.org/10.1186/1476-069X-4-20>
 25. Wiseman C., Parnia A., Chakravarty D. et al. Total, methyl and inorganic mercury concentrations in blood and environmental exposure sources in newcomer women in Toronto, Canada. *Environ. Res*. 2019; 169: 261–271. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2018.11.011>
 26. Hong D., Cho S.H., Park S.J. et al. Hair mercury level in smokers and its influence on blood pressure and lipid metabolism. *Environ Toxicol Pharmacol*. 2013; 36(1): 103–7. <https://doi.org/10.1016/j.etap.2013.03.007>
 27. Verbrugge L.A., Wenzel S.G., Berner J.E. et al. Human exposure to lead from ammunition in the circumpolar north. Ingestion of lead from spent ammunition: Implications for wildlife and humans. 2009; 10: 1–11. <https://doi.org/10.4080/ilsa.2009.0110>
 28. Shelestun A., Eliseeva T. Cobalt (Co) — importance for the body and health, where it contains. *Journal of Healthy Nutrition and Dietetics*. 2022; 2(20): 83–90.
 29. Shimakoshi H. Chapter Two — Application of bioorganometallic B₁₂ in green organic synthesis. *Vitamins and Hormones*. 2022; 119: 23–42. <https://doi.org/10.1016/bs.vh.2022.01.015>
 30. Manganese. *National Institutes of Health*. <https://ods.od.nih.gov/factsheets/Manganese-HealthProfessional/>
 31. Banerjee M., Chakravarty D., Kalwani P. et al. Voyage of selenium from environment to life: Beneficial or toxic? *Journal of Biochemical and Molecular Toxicology*. 2022; 36(11): e23195. <https://doi.org/10.1002/jbt.23195>
 32. Spiller H.A. Rethinking mercury: the role of selenium in the pathophysiology of mercury toxicity. *Clin. Toxicol*. 2018; 56(5): 313–326. <https://doi.org/10.1080/15563650.2017.1400555>
 33. Gochfeld M., Burger J., Environ. Sci. Mercury interactions with selenium and sulfur and the relevance of the Se:Hg molar ratio to fish consumption advice. *Pollut. Res. Int*. 2021; 28: 18407. <https://doi.org/10.1007/s11356-021-12361-7>
 34. National institutes of Health. Fact Sheet for Health Professionals. Copper. <https://ods.od.nih.gov/factsheets/Copper-HealthProfessional/>
 35. Bocca B., Madeddu R., Asara Y., Tolu P., Marchal J.A., Forte G., Assessment of reference ranges for blood Cu, Mn, Se and Zn in a selected Italian population. *J. Trace Elem. Med. Biol*. 2011; 25(1): 19–26. <https://doi.org/10.1016/j.jtemb.2010.12.004>
 36. Kim H.-J., Lim H.-S., Lee K.-R., Choi M.-H., Kang N.M., Lee C.H., Oh E.-J., Park H.-K. Determination of trace metal levels in the general population of Korea. *Int. J. Environ. Res. Public Health*. 2017; 14(7): 702. <https://doi.org/10.3390/ijerph14070702>
 37. Hinks L.J., Clayton B.E., Lloyd R.S. Zinc and copper concentrations in leucocytes and erythrocytes in healthy adults and the effect of oral contraceptives. *J. Clin. Pathol*. 1983; 36(9): 1016–1021. <https://doi.org/10.1136/jcp.36.9.1016>
 38. Cousins R.J., Zinc., In: Ziegler E.E., Filer L.J., Jr. Present knowledge in nutrition. 7th ed. Washington, DC, USA: International Life Sciences Institute Press. 1996: 293–306.
 39. Brown K.H., Wuehler S.E., Peerson J.M. The Importance of Zinc in Human Nutrition and Estimation of the Global Prevalence of Zinc Deficiency. *Food and Nutrition Bulletin*. 2001; 22(2): 113–125. <https://doi.org/10.1177/156482650102200201>
 40. Arnaud J., Touvier M., Galan P. et al. Determinants of serum zinc concentrations in a population of French middle-age subjects (SUVI.MAX cohort). *Eur J Clin Nutr*. 2010; 64: 1057–1064. <https://doi.org/10.1038/ejcn.2010.118>
 41. Prohaska C., Pomazal K., Steffan I. Determination of Ca, Mg, Fe, Cu, and Zn in blood fractions and whole blood of humans by ICP-OES. *Fresenius J Anal Chem*. 2000; 367: 479–484. <https://doi.org/10.1007/s002160000383>
 42. Sorokina T.Y. A national system of biological monitoring in the Russian Arctic as a tool for the implementation of the Stockholm Convention. *Int Environ Agreements*. 2019; 19: 341–355. <https://doi.org/10.1007/s10784-019-09436-9>