

## ВКЛАД ТЕХНОГЕННЫХ И ПРИРОДНЫХ ИСТОЧНИКОВ ИОНИЗИРУЮЩЕГО ИЗЛУЧЕНИЯ В СТРУКТУРУ ЗАБОЛЕВАЕМОСТИ НАСЕЛЕНИЯ МУРМАНСКОЙ ОБЛАСТИ

Н.К. Белишева<sup>1</sup>, Н.А. Мельник<sup>2</sup>, Ю.В. Балабин<sup>3</sup>, Т.Ф. Буркова<sup>4</sup>, Л.Ф. Талыкова<sup>5</sup>

<sup>1</sup> Научный отдел медико-биологических проблем адаптации человека в Арктике КНЦ РАН

<sup>2</sup> Институт химии и технологии редких элементов и минерального сырья им. И.В. Тананаева (ИХТРЭМС) КНЦ РАН

<sup>3</sup> Полярный геофизический институт (ПГИ) КНЦ РАН

<sup>4</sup> ФГУЗ «Центр гигиены и эпидемиологии в Мурманской области»

<sup>5</sup> ФГУН «Северо-западного научного центра гигиены и общественного здоровья» Роспотребнадзора

### Аннотация

Показан вклад техногенных и природных источников ионизирующего излучения в структуру заболеваемости населения Мурманской области. Найдены значимые корреляции между средними годовыми эффективными дозами от радионуклидов, выпавших в северном полушарии после испытания ядерного оружия, показателями младенческой, перинатальной смертностью, мертворожденностью и врожденными пороками развития (ВПР) у детей. Выявлена связь между динамикой ВПР, выбросами благородных газов на Кольской атомной электростанции (КАЭС), а также вариациями интенсивности космических лучей (КЛ). Показаны корреляции между распространенностью онкозаболеваемости и туберкулеза у взрослых и вариациями космических лучей. Загрязнение территории Арктического региона радионуклидами техногенного происхождения является основной причиной возрастания заболеваемости населения. Природные источники ионизирующего излучения модулируют чувствительность организма к воздействию техногенной радиации.

### Ключевые слова:

*ионизирующее излучение, природные и техногенные источники, космические лучи, Be-7, радон, атмосфера, влияние на структуру заболеваемости, Мурманская область.*

### Введение

Жители Арктического региона подвержены комплексному воздействию экстремальных природных факторов среды и техногенных загрязнений, кооперативные эффекты которых отражаются в структуре заболеваемости населения [1–8].

Определенный вклад в загрязнение северных территорий вносят радионуклиды, образовавшиеся в результате ядерных взрывов в атмосфере [9]. Ядерный полигон Новая Земля внес, по-видимому, существенный вклад в структуру заболеваемости и смертности населения Арктического региона. Всего на Новой Земле было произведено 135 ядерных испытаний в атмосфере, под водой и под землей. Из них в атмосфере – 87 взрывов. На полигоне Новая Земля было испытано и самое мощное взрывное устройство за всю историю человечества – термоядерная авиационная бомба АН602 (она же «Царь-бомба», «Кузькина мать») мощностью свыше 50 мегатонн, созданная группой советских физиков-ядерщиков под руководством акад. И.В. Курчатова. Подготовка заряда к испытаниям, подвеска его к фюзеляжу самолета, взлет и посадка самолета-носителя производились на аэродроме «Олений» на Кольском п-ове. Взрыв термоядерной авиационной бомбы оценивался в 58 мегатонн (примерно в 10 тыс. раз больше, чем у бомбы, разрушившей Хиросиму). «Гриб» поднялся на высоту 65 км, диаметр «шляпки» разошелся на 95 км, ударная волна взрыва трижды обогнула Землю, звуковая – дошла до о. Диксон в 800 км от Новой Земли [10, 11]. В результате ядерных взрывов в северном полушарии, в том числе на Новой Земле, загрязнение атмосферы радионуклидами приняло планетарный характер. Среднегодовая концентрация цезия-137 в приземном слое воздуха на территории СССР в 1963 г. достигла уровня 1986 г. [6].

После моратория на проведение ядерных испытаний в воздухе на Новой земле отработывалась технология проведения подземных ядерных взрывов. Два испытания (14.10.1969 и 02.08.1987) сопровождались динамическим истечением в атмосферу продуктов взрыва [11]. При подземном ядерном взрыве 02.08.1987 г. произошел прорыв парогазовой смеси по трещине естественного разлома подтаявшего ледника на склоне горы по оси штольни, в результате в атмосферу, помимо смеси радионуклидов благородных газов (РБГ), попали также радионуклиды бария, йода, цезия, стронция, сурьмы, теллура и др. [11]. 7–8 августа 1987 г., в связи с движением антициклона в районе Новой Земли, радиоактивные продукты начали перемещаться по юго-восточной периферии антициклона на Кольский п-ов и север Скандинавии. Последний ядерный взрыв на полигоне Новая Земля в атмосфере был проведен 25 декабря 1962 г., под землей – 24 октября 1990 г.

На Кольском п-ове осуществлялись также и «мирные» ядерные взрывы на объекте «Днепр» (около г. Кировска Мурманской обл.). Их цель – отработка методов управления распределением радионуклидов в горном массиве. Один взрыв мощностью 2.1 кт произведен 4 сентября 1972 г., а второй – 27 августа 1984 г. – одновременный взрыв 2-х зарядов мощностью 1.7 кт [11]. В результате взрыва по трещинам в горной породе, иногда за пределы камеры захоронения (КЗ), выходили благородные газы Кг-90 и Хе-137, превращаясь затем в Sr-90 и Cs-137 [11].

Мурманская обл. в большей степени, чем другие регионы, подвержена потенциальной опасности радиоактивного загрязнения. На ее территории эксплуатируется свыше 200 ядерных реакторов, более 100 – со списанных атомных подводных лодок (АПЛ). Источниками повышенной радиационной опасности, наряду с АПЛ, являются и объекты, обслуживающие инфраструктуру АПЛ и ледоколов. Особую радиозэкологическую опасность представляет техническое состояние хранилищ отработавшего ядерного топлива (ОЯТ), твердых и жидких радиоактивных отходов (РАО). Недалеко от Мурманска расположен пункт захоронения радиоактивных отходов (ПЗРО) спецкомбината "Радон", который в 1964–1994 гг. принимал на хранение твердые радиоактивные отходы от предприятий двух областей – Мурманской и Архангельской [12].

Под надзором Управления Роспотребнадзора по Мурманской обл. находится 134 субъекта, использующие в своей деятельности источники ионизирующего излучения [13].

Несмотря на широкомасштабное загрязнение северных территорий продуктами ядерного деления, образовавшимися в атмосфере вследствие ядерных испытаний и выпадающими на поверхность Земли с осадками, последствия испытаний ядерного оружия признаны только для здоровья оленеводов, в организме которых накапливались радионуклиды по пищевой цепочке лишайники–олени–человек [6, 9]. Для остального населения Арктических территорий дозы, полученные вследствие наружного, ингаляционного и пищевого поступления радионуклидов, считаются несущественными [9].

Ведущие факторы облучения населения Мурманской обл. – природные источники ионизирующей радиации с суммарным вкладом в коллективную дозу облучения до 82.38% [13, 14]. Основной вклад в формирование мощности дозы гамма-излучения на территории области вносят естественные радиоактивные элементы (уран, торий и калий), содержащиеся в горных породах.

Особенность воздействия природных факторов среды на население Мурманской обл. определяется структурой магнитного экрана Земли в высоких широтах, где магнитосфера Земли при взаимодействии с потоком заряженных частиц, испускаемых Солнцем, обуславливает экстремальные колебания геомагнитного поля (ГМП) и интенсивности КЛ у поверхности Земли. Колебания ГМП и интенсивности КЛ контролируются солнечной активностью (СА), которая имеет циклический характер, с наиболее коротким периодом около 11 лет. В годы низкой СА возрастает интенсивность КЛ и снижается геомагнитная активность (ГМА). И, напротив, в годы высокой СА возрастает ГМА и снижается интенсивность КЛ. А это значит, что долевой вклад вариаций ГМП и ионизирующей компоненты КЛ у поверхности Земли в модуляцию функционального состояния организма человека варьирует вместе с циклами СА. Следовательно, возможные кооперативные эффекты [15–17] воздействия природных физических агентов, ассоциированных с СА, и техногенных загрязнителей также будут варьировать

во времени в зависимости от преобладающего вклада гелиогеофизических факторов геомагнитной или ионизирующей природы.

К природным факторам среды, существенно воздействующим на организм человека, относится и содержание радона в атмосферном воздухе [18–20], колебания которого связаны с СА [21], а определенные его концентрации могут приводить к бесплодию у экспериментальных животных [18]. Вклад уровня радона в модуляцию эффектов воздействия техногенных загрязнителей на организм человека, по сути, не изучен в силу определенных методологических трудностей.

Повышенное облучение работников природными радионуклидами возможно на предприятиях, где осуществляются работы в подземных условиях, добывается и перерабатывается минеральное и органическое сырье и подземные воды, используются материалы или продукция с повышенным содержанием природных радионуклидов [12–14]. Два предприятия области осуществляют обращение с минеральным сырьем и материалами с повышенным содержанием природных радионуклидов – ООО «Ловозерский горно-обогатительный комбинат» (лопаритовый концентрат) и ОАО «Ковдорский горно-обогатительный комбинат» (бадделеитовый порошок). Лопаритовый концентрат и бадделеитовый порошок относятся к IV классу минерального сырья.

На всей территории области преобладают довольно низкие уровни радиации. Повышенными значениями характеризуются участки с выходами коренных пород на поверхность. В районе Хибинского и Ловозерского массивов они достигают максимальных значений – 40 мкР/час.

Однако в отдельных районах Мурманской обл. имеются участки с высокой радиоактивностью. В Терском районе, где на большей части территории величина мощности дозы гамма-излучения менее 6 мкР/час и не отмечается существенных следов выпадения радиоактивных осадков после аварии на Чернобыльской АЭС, есть участки с высоким уровнем гамма-излучения: места с повышенной радиоактивностью отмечаются в верхнем течении р. Паны, в долине р. Варзуги, в прибрежной полосе Белого моря и в окрестностях пос. Умба, где выявлено несколько сотен точек локальных повышенных концентраций урана и тория с интенсивностью гамма-излучения от 15 до 2100 мкР/час. В Печенгском районе повышенные значения мощности дозы гамма-излучения до 100 мкР/час на определенных площадях связаны с отдельными гранитными валунами или их скоплением. В Апатитском районе повышенные значения мощности дозы гамма-излучения отмечаются в долине р. Белая, они совпадают с песчаными отложениями (отходами) от переработки апатит-нефелиновых руд АНОФ-2. Содержание урана и тория в почве этого участка выше среднеевропейских значений. В Мончегорском и Оленегорском районах также отсутствуют следы выпадения радиоактивных осадков после Чернобыльской аварии, однако в разные годы на территории этих районов было выявлено несколько десятков локальных гамма-аномалий интенсивностью от 25 до 10 тыс. мкР/час [12].

В Кандалакшском районе большая часть территории характеризуется небольшими значениями мощности дозы гамма-излучения с загрязнением почвы цезием-137 на фоновом уровне, установившемся к 1981 г. без выявленных следов выпадения «чернобыльских» осадков. Однако здесь найдены площади с повышенным содержанием естественных радиоактивных веществ (урана, тория и калия) в горных породах по сравнению с остальной территорией. В пределах этих зон имеется значительное число локальных гамма-аномалий с интенсивностью от 50 мкР/час до 6 тыс. мкР/час, обусловленных повышенным содержанием урана (до десятых долей процента против сотых долей на остальной территории). В Ковдорском районе источниками повышенного гамма-фона являются бедные уран-ториевые руды Ковдорского месторождения, которые при его разработке идут в отвалы или используются для изготовления стройматериалов, и высокорadioактивные отходы переработки комплексных руд на комбинате. Отвалы, хвостохранилища и карьер ОАО Ковдорского ГОКа – источники повышенного гамма-фона, основной вклад в него вносят уран и торий.

В Мурманске и его окрестностях радиационный гамма-фон определяется в основном естественными радионуклидами (уран, торий, калий), содержащимися в почве и в материалах,

которые используются при строительстве города. Однако на отдельных участках отмечаются повышенные значения мощности дозы гамма-излучения [12].

Измерение уровня радиоактивности атмосферных выпадений (2000 г.) показало, что среднемесячные значения суммарной  $\beta$ -активности на станциях Мурманской обл. находились в пределах 0.5–2.6 Бк/м<sup>2</sup>·сут., максимальной – 8.5 Бк/м<sup>2</sup>·сут. В отдельные дни наблюдались случаи высокого загрязнения  $\beta$ -активными продуктами. По данным оперативного мониторинга радиационного загрязнения атмосферы в 1997 г. зарегистрировано 6 случаев кратковременного превышения концентраций над фоновым уровнем, в 1998 г. – 22 случая, в 1999 г. – 14 случаев, в 2000 г. – 9 случаев. Радионуклидный анализ проб с высокими уровнями показал отсутствие в них радионуклидов искусственного происхождения. Из этого следует, что случаи повышенных значений концентраций суммарной  $\beta$ -активности в воздухе вызваны радиоактивными продуктами естественного происхождения [12].

Не исключено, что возрастание  $\beta$ -активности было вызвано космогенным радионуклидом Be-7. Установлено [22, 23], что наибольший вклад в суммарную активность атмосферных осадков и аэрозолей северных широт из природных радионуклидов вносит Be-7 космогенного происхождения. Его содержание в атмосфере определяется погодными-климатическими и космическими условиями. Обнаружено, что эффективность генерации Be-7 зависит от спектра солнечных протонов. Распределение радиоактивности в атмосферных аэрозолях и осадках, обусловленное содержанием Be-7, подвержено временным и сезонным колебаниям, вызванным переносом воздушных масс, вариациями КЛ, СА и другими факторами.

Таким образом, окружающая среда в Мурманской обл. характеризуется вкладом техногенных и природных источников ионизирующего излучения, варьирующих во времени и пространстве и влияющих в той или иной мере на заболеваемость населения.

Цель данного сообщения состоит в анализе вклада техногенных и природных источников ионизирующего излучения в структуру заболеваемости населения Мурманской обл.

## **Материал и методы исследования**

В настоящем исследовании были использованы материалы доклада Государственного комитета по охране окружающей среды Мурманской области «Состояние и охрана окружающей среды Мурманской области», 1999 г.: «Состояние природной среды и проблемы экологии на Кольском п-ове в 1999 г.» [12], атлас «Медико-демографические показатели и санитарно-эпидемиологическая обстановка в Мурманской области в 2010 г.» [14], материалы «О санитарно-эпидемиологической обстановке в Мурманской области в 2012 г.» Управления Роспотребнадзора по Мурманской области [13]. Данные по плотности выпадения радионуклидов, образовавшихся в атмосфере вследствие ядерных испытаний в северном полушарии, взяты из отчета Научного комитета по ядерной радиации ООН за 2000 г. [9]. Информация для оценки врожденных пороков развития и репродуктивного здоровья женщин получена из базы данных, собранных в научно-исследовательской лабораторией ФГУН «Северо-западный научный центр гигиены и общественного здоровья» Роспотребнадзора, г. Кировск, Мурманская обл. Радиологические исследования атмосферных аэрозолей (АЭ), атмосферных осадков (АО), содержания радона и его дочерних продуктов в атмосферном воздухе, измерение гамма-фона были проведены в аккредитованной региональной лаборатории радиационного контроля ИХТРЭМС КНЦ РАН по аттестованным методикам на сертифицированном оборудовании: альфа-бета-радиометре УМФ-2000 и радиологическом комплексе «ПРОГРЕСС». В работе использованы данные, полученные в лаборатории космических лучей ПГИ КНЦ РАН. К настоящему времени, помимо стандартного нейтронного монитора (18-НМ-64), в лаборатории космических лучей работают детектор гамма-квантов на сцинтилляционном кристалле, бессвинцовая секция нейтронного монитора (БССНМ), детекторы заряженной компоненты (ДЗК) и тепловых нейтронов (ДТН). Сцинтилляционный детектор регистрирует кванты с энергиями от 20 кэВ до 5 МэВ, нейтронный монитор (НМ) чувствителен к нейтронам с энергиями более 50 МэВ, БССНМ – к нейтронам с энергиями сотни кэВ – единицы МэВ, ДТН регистрирует тепловые нейтроны (порядка 0.03 эВ), ДЗК – все заряженные частицы (мюоны, электроны, позитроны) с энергиями более 2 МэВ. Статистический анализ всех данных проводили с применением программного обеспечения Statistica 6.0, построение графиков осуществлялось с помощью пакета программ ORIGIN50.

## Результаты и обсуждение

### *Последствия испытания ядерного оружия*

Циркуляция атмосферы над арх. Новая Земля определяется характером взаимодействия главных барических образований – Исландского минимума и Арктического и Азиатского максимумов, приводящих к преобладанию циклонической деятельности, которая достигает наибольшего развития в осенне-зимний период. Характер погоды в районе резко меняется в зависимости от местоположения циклонов, направления и скорости их перемещения. Поэтому распространение радионуклидов при ядерных взрывах трудно было предугадать, и в соответствии с циклонической активностью часть радионуклидов выпала на Кольском п-ове, в Скандинавских странах и даже в Европе [11].

Исследования, проведенные для выявления уровней контаминации цезием-137 и стронцием-90 в цепочке «лишайник–олень–человек» и доз излучения показали, что в течение 30 лет наблюдений дозы излучения никак не зависят от расстояния между пунктом наблюдения и Новоземельным полигоном [6]. Уровни загрязнения этими нуклидами территорий коррелируют более всего с количеством атмосферных осадков, максимум которых приходится на Кольский п-ов (675 мм/год), а минимум – на Якутию (175 мм/год), остальные районы занимают промежуточное положение [6].

Результаты исследований, проведенных в 1991–1992 гг. [6], позволили установить, что в Мурманской обл. (Ловозерский район) и в Ненецком АО после 1986 г. имело место дополнительное поступление радиоцезия в звенья трофической цепочки «лишайник–олень–человек». Взрыв энергоблока на ЧАЭС привел к выбросу больших количеств радионуклидов, длившемся несколько дней. Инжектированное взрывом первое поступление радиоактивных веществ в атмосферу с воздушными потоками двинулось на Север и в первых числах мая частично выпало с дождями в виде локальных контаминаций в северных районах Скандинавии, в Мурманской и Архангельской областях. Плотность осадка радионуклидов на загрязненных территориях была в несколько раз меньше, чем в особо пострадавших районах. Но ситуация на Севере осложнилась загрязнениями лишайников на пастбищах оленей, вследствие чего по пищевой цепи «лишайник–олень–человек», концентрирующей радионуклиды из среды, последние стали поступать в организм человека. По этой причине в некоторых хозяйствах Норвегии, Финляндии, Швеции были забиты тысячи голов оленей [27, 28]. По данным 1986 г. (Госкомгидромет), в отдельных районах приарктической зоны европейской части бывшего СССР имело место увеличение мощности экспозиционной дозы облучения человека на 0.3–3.0 мкР/час, а также контаминация территории радиоцезием на 17–35% от доаварийного уровня [29]. По оценкам радиологических служб Архангельской и Мурманской областных центров СЭН по некоторым районам в пищевых продуктах местного происхождения (оленина, молоко, картофель) в 1987–1988 гг. регистрировалось повышенное по сравнению с доаварийным периодом содержание цезия-137. В апреле-мае 1993 г. радиологической службой Архангельского областного Сельхозуправления обнаружены повышенные уровни содержания радиоцезия в мышцах оленей (от 600 до 1200 Бк/кг) – контаминация мяса на уровне регламентируемых значений. В пробах оленины был найден цезий-134, являющийся прямым доказательством черныбыльской добавки в северную пищевую цепочку.

Ионизирующая радиация при воздействии на организм человека способна вызвать два вида эффектов, которые клинической медициной относятся к болезням: детерминированные пороговые эффекты (лучевая болезнь, лучевой дерматит, лучевая катаракта, лучевое бесплодие, аномалии в развитии плода и др.) и стохастические (вероятностные) беспороговые эффекты (злокачественные опухоли, лейкозы, наследственные болезни) [24]. Источники ионизирующего излучения могут приводить к внешнему, в случае их нахождения вне тела человека, и внутреннему облучению. Сравнительное изучение динамики заболеваемости и вариаций интенсивности источников ионизирующего излучения в окружающей среде позволяют, в определенной мере, оценить вклад ионизирующей радиации в заболеваемость населения на изучаемой территории.

Сделана попытка оценить последствия ядерных испытаний в северном полушарии на заболеваемость населения в Мурманской обл. В качестве индикаторов плотности выпадения и дозовых нагрузок на население в северном полушарии использованы такие показатели, как среднегодовая кумулятивная плотность выпадения радионуклидов, образовавшихся в атмосфере

в результате ядерных испытаний ( $^{106}\text{Ru}$ ,  $^{125}\text{Sb}$ ,  $^{55}\text{Fe}$ ,  $^{90}\text{Sr}$ ,  $^{137}\text{Cs}$ ), Бк/м<sup>2</sup>; средние годовые дозы по северному полушарию при внешнем облучении радионуклидами  $^{125}\text{Sb}$ ,  $^{137}\text{Cs}$ , мкЗв; средние годовые дозы по северному полушарию при внутреннем поступлении радионуклидов ( $^{90}\text{Sr}$ ,  $^{137}\text{Cs}$ ,  $^3\text{H}$ ,  $^{14}\text{C}$ ), мкЗв; полные среднегодовые эффективные дозы по северному полушарию, мкЗв [9].

Полная эффективная доза при всех способах поступления радионуклидов в организм с 1945 по 1999 гг. в северном полушарии составила 1 076 мкЗв или 1.08 мЗв (для сравнения, значение годовой эффективной дозы облучения населения за счет всех источников ионизирующего излучения (в расчете на одного жителя) по данным радиационно-гигиенического паспорта территории Мурманской обл. по состоянию на 2011 г. составило 4.02 мЗв/год [26].

Таблица 1

Коэффициенты корреляции между младенческой, перинатальной смертностью, мертворожденностью в Мурманской области (1991–1999 гг.), суммарной ежегодной плотностью выпадения радионуклидов, внешним и внутренним облучением радионуклидами, средней годовой эффективной дозой облучения радионуклидами (за 1990–1997 гг.), образовавшимися в результате ядерных испытаний в атмосфере

Радионуклиды, изотопы	Средние значения±ст. ошибка	Младенческая смертность	Перинатальная смертность	Мертворожденность
Плотность суммарного выпадения радионуклидов, образовавшихся в атмосфере при ядерных испытаниях, взвешенная на популяцию, (Bq m <sup>-2</sup> ) а				
<i>106Ru</i>	0.049±0.073	0.357	0.707	0.858
<i>125Sb</i>	2.186±1.456	0.546	0.882	0.969
<i>55Fe</i>	2.943±1.953	0.546	0.882	0.968
<i>90Sr</i>	1018.111±68.003	0.675	0.943	0.972
<i>137Cs</i>	1586.667±101.858	0.678	0.940	0.977
Внешнее облучение радионуклидами, образовавшимися в результате испытания ядерного оружия в атмосфере, среднемировая годовая эффективная доза (μSv)				
<i>125Sb</i>	0.003±0.002	0.547	0.879	0.965
<i>137Cs</i>	3.261±0.206	0.673	0.942	0.977
<i>Полная доза</i>	3.262±0.206	0.677	0.940	0.975
Облучение через желудочно-кишечный тракт радионуклидами, образовавшимися в результате испытания ядерного оружия в атмосфере, среднемировая годовая эффективная доза (μSv)				
<i>90Sr</i>	0.770±0.133	0.650	0.933	0.979
<i>137Cs</i>	0.403±0.032	0.656	0.945895	0.982
<i>Полная доза</i>	1.173±0.165	0.652	0.936	0.980
Средняя ежегодная эффективная доза от облучения радионуклидами, образовавшимися в результате испытания ядерного оружия в атмосфере, (μSv)				
<i>Внешнее облучение</i>	3.558± 0.226	0.676	0.941	0.976
<i>Внутреннее облучение</i>	3.269±0.324	0.674	0.939	0.977
<i>Полная доза</i>	6.826±0.548	0.675	0.942	0.976

Исследование эффектов воздействия ядерных испытаний в атмосфере на заболеваемость взрослого населения Мурманской обл. (1995–1999 гг.) показало, что снижение средней годовой эффективной дозы от выпадения радионуклидов, образовавшихся в атмосфере в результате ядерных испытаний, ассоциировано с возрастанием заболеваемости населения. Значимые ( $p < 0.05$ ) коэффициенты корреляции найдены между средними годовыми (от внутреннего и внешнего облучения) дозами от радионуклидов и заболеваемостью взрослого населения: новообразованиями ( $r = -0.89$ ), болезнями эндокринной системы ( $r = -0.99$ ), болезнями крови и кроветворных тканей ( $r = -0.97$ ), болезнями системы кровообращения ( $r = -0.86$ ), болезнями

органов дыхания ( $r = -0.85$ ), болезнями органов пищеварения ( $r = -0.95$ ), болезнями мочеполовой системы ( $r = -0.95$ ), болезнями костно-мышечной системы ( $r = -0.90$ ).

Аналогичный характер связи выявлен между средними годовыми дозами облучения и детской заболеваемостью, в частности, заболеваемостью детей первого года жизни за период 1991–1999 гг. ( $r = -0.93$ ,  $p < 0.05$ ) и заболеваемостью новорожденных ( $r = -0.93$ ,  $p < 0.05$ ). Такая связь, скорее всего, свидетельствует об отдаленных последствиях действия ионизирующего излучения, предполагающих множественные эффекты, которые вызваны хроническим облучением, в том числе геномную нестабильность, снижение иммунорезистентности, повышение сенсibilизации к воздействию токсических соединений и природных факторов среды [24]. С другой стороны, можно предположить, что дополнительное облучение населения вследствие выпадения в Арктическом регионе радионуклидов чернобыльского происхождения [6] могло послужить толчком к возрастанию заболеваемости населения.

Прямая корреляция существует между средними годовыми эффективными дозами от радионуклидов, выпавших в северном полушарии после испытания ядерного оружия, и показателями младенческой ( $r = 0.68$ ,  $p < 0.05$ ), перинатальной ( $r = 0.94$ ,  $p < 0.05$ ) смертности и мертворожденностью ( $r = 0.98$ ,  $p < 0.05$ ) за период с 1991 по 1999 гг. (табл. 1). Кроме того, найдена значимая корреляция между частотой случаев врожденных аномалий органов пищеварения у детей (Q38-Q45, в соответствии с классификацией болезней по МКБ-10) ( $r = 0.44$ ,  $p < 0.05$ ) за период 1973–1999 гг. Эти данные подчеркивают факт относительного увеличения риска при облучении с уменьшением возраста на момент облучения [9, 24]. Не исключено, что рост заболеваемости, и, в частности, онкологии, связан с тем, что в период пика ядерных испытаний (1956–1965) часть населения была облучена внутриутробно, в силу чего приобрела потенциально большую чувствительность к индукции опухолей.

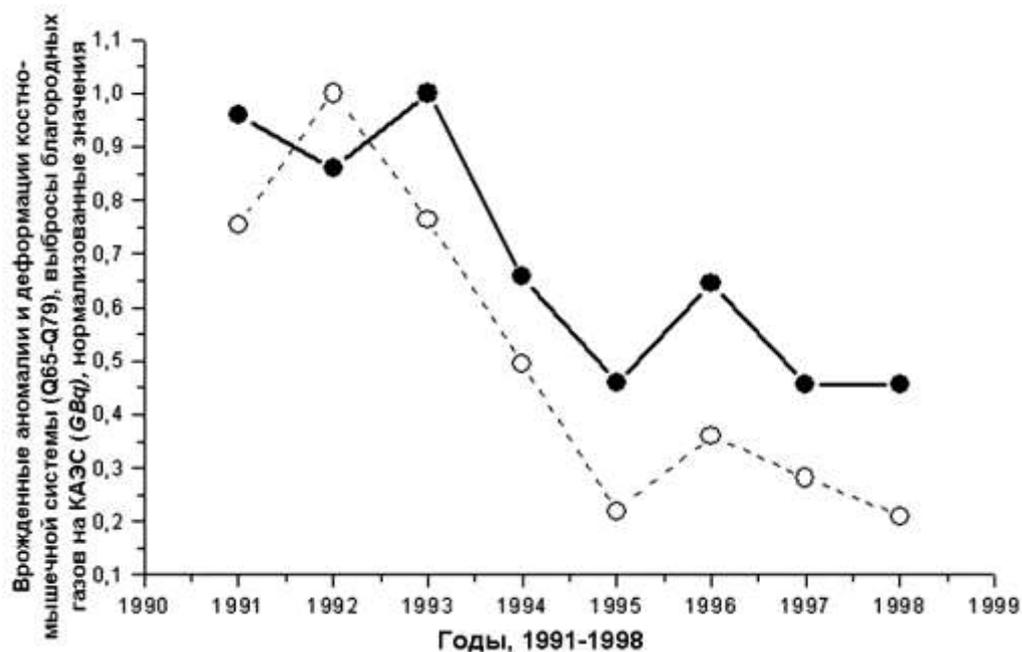
### ***Последствия выбросов инертных газов в атмосферу в результате деятельности Кольской атомной электростанции***

О высокой чувствительности детского организма в период пренатального развития к облучению свидетельствуют также результаты оценки влияния залповых выбросов в атмосферу благородных газов и иода-131 на КАЭС.

Дополнительное облучение населения Мурманской области в период с 1990 по 1997 гг. произошло в результате выбросов в атмосферу благородных газов и иода-131 на КАЭС. Наши исследования показали, что выбросы благородных газов ( $GBq$ ) ассоциированы с возрастанием случаев перинатальной смертности ( $r = 0.87$ ,  $p < 0.05$ ) и мертворожденности ( $r = 0.92$ ,  $p < 0.05$ ). Более того, оказалось, что возрастание выбросов благородных газов (со сдвигом в год до рождения ребенка) связано с возрастанием частоты случаев врожденных аномалий и деформаций костно-мышечной системы (Q65-Q79),  $r = 0.84$ ,  $p < 0.05$  (рис. 1А), а также с возрастанием всех классов врожденных пороков развития у детей  $r = 0.73$ ,  $p < 0.05$ . Выбросы иода-131 привели к увеличению частоты случаев других врожденных аномалий (Q80-Q89),  $r = 0.98$ ,  $p < 0.05$  (рис. 1Б).

В ядерных реакторах в больших количествах нарабатывается церий-144 (период полураспада 285 суток), который представляет собой один из продуктов деления урана-235. Радиоактивный церий проходит через плаценту и выделяется с молоком. Наибольшие количества введенного изотопа обнаруживаются в печени (40–50%) и скелете (7–35%). Среди большого перечня искусственных радионуклидов, создающихся при работе ядерного реактора, важнейшее значение имеет группа биологически активных радионуклидов. Разные по своим дозиметрическим характеристикам, эти радионуклиды имеют одну общую способность – все они являются «двойниками» или близкими аналогами химических элементов, выполняющих важные биологические функции в живых организмах. Так, литий и углерод-14 могут входить в любые биомолекулы, в том числе в генетические структуры; стронций-90 есть близкий аналог кальция и входит в состав костных тканей; радиоцезий – химический аналог калия и включается в мышечные ткани; йод необходим для функционирования щитовидной железы; фосфор играет важную роль в энергетике клеток; железо, кобальт, цинк и их радионуклиды имеются в составе ферментов (катализаторов биохимических реакций), например, железо входит в состав гемоглобина, кобальт – в витамин В<sub>12</sub>. Попадая в организм матери, эти радионуклиды могут вызывать ВПР у детей.

А



Б

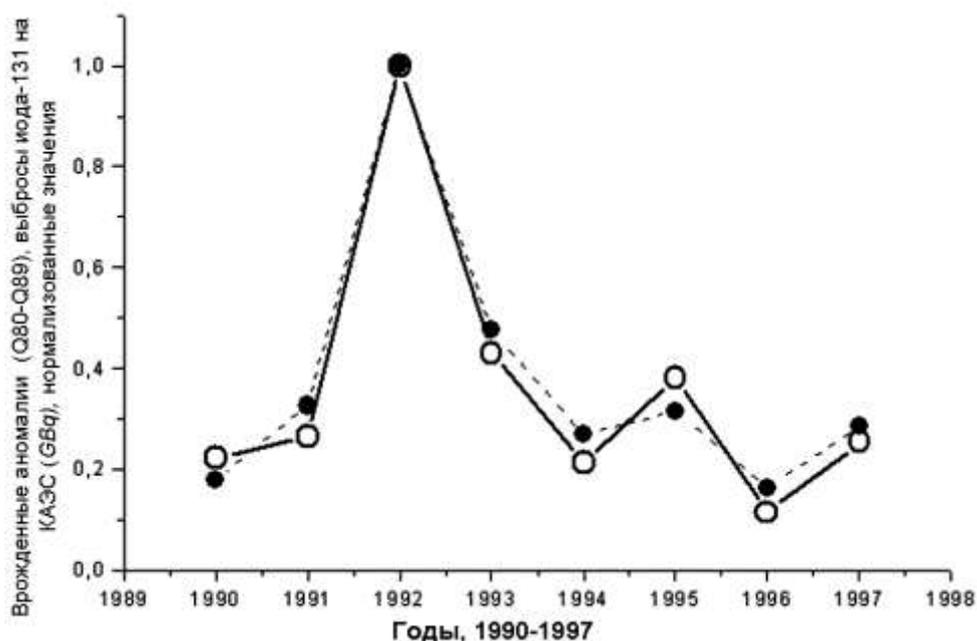


Рис. 1. Сравнение кривых выбросов благородных газов (А) и иода-131 (Б) на КАЭС, с динамикой врожденных аномалий и деформаций костно-мышечной системы (Q65-Q79) (А) – штриховые линии, и других врожденных аномалий (Q80-Q89) (Б) – сплошные линии

### Последствия профессионального облучения

Поскольку в Мурманской обл. определенный контингент населения относится к персоналу, работающему с техногенными источниками излучения (группа А) или находящемуся по условиям работы в сфере их воздействия (группа Б), оценен характер связи между среднегодовыми эффективными дозами, полученными этим персоналом, и общей заболеваемостью населения Мурманской обл. Оказалось, что динамика среднегодовых доз облучения персонала группы А за 2004–2009 гг. коррелирует с показателями смертности

населения. И несмотря на то, что средние индивидуальные годовые эффективные дозы облучения персонала ( $1.56 \pm 0.24$  и  $0.23 \pm 0.04$  мЗв/год, группа А и группа Б соответственно), не превышают основных пределов доз, регламентированных НРБ-99/2009 [25, 26], дополнительное (к фоновым значениям уровня ионизирующего излучения в Мурманской обл.) облучение повышает риск смертности у персонала группы А.

Таким образом, данные по зависимости заболеваемости населения Мурманской обл. от техногенных источников ионизирующего излучения свидетельствуют в пользу беспороговой и линейной модели воздействия ионизирующей радиации, принятой Научным Комитетом по действию атомной радиации (НКДАР) ООН [9], в соответствии с которой любая, даже самая низкая, доза ионизирующего излучения потенциально способна увеличить риск для здоровья человека.

### ***Медицинское облучение***

Медицинское облучение населения (пациентов) занимает второе место после облучения природными источниками ионизирующего излучения, но несмотря на это, оценить его вклад в заболеваемость населения пока представляется трудновыполнимым. Можно считать, что диагностическое облучение пациентов повышает вероятность стохастических эффектов, приводящих к возникновению онкозаболеваний, если следовать линейной и беспороговой концепции действия ионизирующей радиации [9, 24]. Вклад в коллективную дозу медицинского облучения составляет 17.4% по данным радиационно-гигиенического паспорта территории за 2011 г. (в 2010 г. – 17.51%, в 2009 г. – 17.74%) [25].

В структуре медицинского облучения населения преобладают рентгенографические, рентгеноскопические исследования и компьютерная томография, доля которых в коллективной дозе облучения населения соответственно составила: 32.54% (47.69 % – 2010 г.; 36.76% – 2009 г.), 24.65% (15.51% – 2010 г.; 24.13 – 2009 г.) и 23.47% (18.68 % – 2010 г.; 18.33% – 2009 г.) [25].

Коллективная годовая эффективная доза облучения населения Мурманской обл. за счет диагностического использования всех медицинских источников ионизирующего излучения по данным радиационно-гигиенической паспортизации территории Мурманской обл. в 2011 г. составила 553.890 чел.-Зв/год, что соответствует средней эффективной дозе 0.70 мЗв/год в среднем на одного жителя области и 0.37 мЗв – в среднем на одну процедуру [26].

Суммарное количество всех диагностических рентгенорадиологических процедур, выполненных в 2011 г., достигло 1486.548 тыс. (1501.844 тыс. – в 2010 г., 1633.311 тыс. – в 2009 г.), это означает, что в среднем на 1 жителя в Мурманской обл. приходилось 1.88 процедуры (в 2010 г. – 1.80, в 2009 г. – 1.95) против 1.69 процедуры в среднем по России.

Средняя индивидуальная доза пациента при рентгенорадиологических исследованиях по данным радиационно-гигиенического паспорта территории за 2011 г. составила 0.37 мЗв (2009–2010 гг. – 0.35 мЗв) [26]. Таким образом, дозы облучения в результате медицинских процедур в Мурманской обл. превышают среднероссийские. Можно полагать, что дополнительное (к природному фону) облучение, даже в малых дозах, может проявиться в возрастании заболеваемости населения, в том числе, различными формами онкологии.

### ***Природные источники ионизирующего излучения в Мурманской области***

Природные источники ионизирующего излучения в Мурманской обл. представлены на рис. 2. Фоновые источники ионизирующего излучения складываются из: вариаций космических лучей у поверхности Земли, регистрируемых посредством детектирования скорости счета нейтронного монитора; излучения от природных радионуклидов, рассеянных в земной коре, воздухе и других объектах внешней среды, это уран (U-238), торий (Th-232), калий-40, рубидий-87; от продуктов распада элементов уранового ряда: радона-220, радона-222 и других элементов. В трех радиоактивных семействах: урана (238U), тория (232Th) и актиния (235Ac) в процессах радиоактивного распада постоянно образуется 40 радиоактивных изотопов. Средняя эффективная эквивалентная доза внешнего облучения, которую человек получает за год от земных источников, составляет около 0.35 мЗв, т.е. чуть больше средней индивидуальной дозы, обусловленной облучением из-за космического фона на уровне моря.

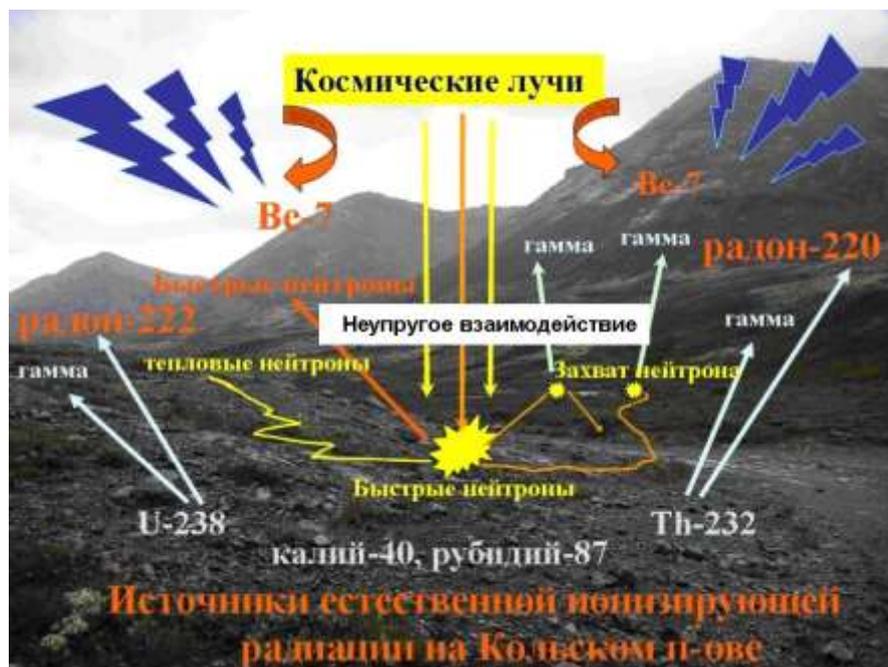


Рис. 2. Источники фоновых вариаций ионизирующего излучения в Мурманской области

В организме человека постоянно присутствуют радионуклиды земного происхождения, поступающие через органы дыхания и пищеварения. Наибольший вклад в формирование дозы внутреннего облучения вносят  $^{40}\text{K}$ ,  $^{87}\text{Rb}$  и нуклиды рядов распада  $^{238}\text{U}$  и  $^{232}\text{Th}$ . Средняя доза внутреннего облучения за счет радионуклидов земного происхождения составляет 1.35 мЗв/год. Наибольший вклад (около 3/4 годовой дозы) дают газ радон и продукты его распада. Поступив в организм при вдохе, он вызывает облучение слизистых тканей легких. Радон высвобождается из земной коры повсеместно, но его концентрации в наружном воздухе существенно отличаются для различных точек Земного шара. Однако большую часть дозы облучения от радона человек получает, находясь в закрытом непроветриваемом помещении. В зонах с неблагоприятным климатом в конце дня уровень радона в закрытых помещениях в среднем примерно в 8 раз выше, чем в наружном воздухе. Радон выделяют также строительные материалы. Так, например, большой удельной радиоактивностью обладают гранит и пемза, силикаты, шлак и ряд других материалов. Радон проникает в помещение из земли и через различные трещины в межэтажных перекрытиях, через вентиляционные каналы и др. Источниками поступления радона в жилые помещения являются также природный газ и вода [9].

Космическое излучение складывается из частиц, захваченных магнитным полем Земли, галактического космического излучения и корпускулярного излучения Солнца. В его состав входят в основном электроны, протоны и альфа-частицы. Это так называемое первичное космическое излучение, взаимодействуя с атмосферой Земли, порождает вторичное излучение. В результате на уровне моря излучение состоит почти полностью из мюонов (отрицательно заряженных элементарных частиц, подавляющая часть) и нейтронов.

Поглощенная мощность дозы космического излучения в воздухе на уровне моря равна 32 нГр/час и формируется в основном мюонами. Для нейтронов на уровне моря мощность поглощенной дозы составляет 0.8 нГр/час и мощность эквивалентной дозы составляет 2.4 Зв/час. За счет космического излучения большинство населения получает дозу, равную около 0.35 мЗв в год [9].

Интенсивность космического излучения зависит от широты, географического положения объекта и возрастает с высотой над уровнем моря. Наиболее интенсивно оно на Северном и Южном полюсах, менее интенсивно в экваториальных областях. Космические лучи, идущие от Солнца, в основном состоят из протонов широкого энергетического спектра (энергия протонов до 100 МэВ), заряженные частицы от Солнца способны достигать Земли через 15–20 мин. после того, как вспышка на его поверхности становится видимой. Длительность вспышки может достигать нескольких часов. В наших работах показаны эффекты солнечных протонных

событий на поверхности Земли [30], которые коррелируют с возрастанием распространенности врожденных пороков развития у детей в Мурманской обл. [31].

Кроме того, в результате ядерных реакций, идущих в атмосфере (а частично и в литосфере) под влиянием космических лучей, образуются радиоактивные ядра – космогенные радионуклиды. В создание дозы наибольший вклад вносят  $^3\text{H}$ ,  $^7\text{Be}$ ,  $^{14}\text{C}$  и  $^{22}\text{Na}$ , которые поступают вместе с пищей в организм человека. Взрослый человек потребляет с пищей 95 кг углерода в год при средней активности на единицу массы углерода 230 Бк/кг. Суммарный вклад космогенных радионуклидов в индивидуальную дозу составляет около 15 мкЗв/год.

Исследования показали, что приземный естественный гамма-фон существенно варьирует и зависит от сезона. В течение 2012 г. выявлены вариации приземного гамма-фона, связанные с атмосферными осадками. Эти данные получены на усовершенствованной системе регистрации гамма-излучения. Основа системы – набор из трех приборов для измерения радиации: малого и большого сцинтилляционных детекторов на основе кристаллов  $\text{NaI(Tl)}$ , а также детектора заряженных частиц на основе счетчиков Гейгера-Мюллера.

Проведенная серия экспериментов состояла в том, что один из детекторов полностью закрывали свинцовым экраном (закрытое состояние). Малый детектор под свинцовой защитой не показывал возрастных во время осадков. В открытом же состоянии детектор регистрирует возрастание гамма-активности практически при каждом случае выпадения осадков. Детектор заряженных частиц как в открытом, так и в закрытом состоянии не обнаруживал никаких возрастных. Большой детектор в открытом состоянии показывал такие же вариации гамма-фона, как и малый, однако и в закрытом состоянии регистрировал вариации, связанные с осадками, но амплитудой в несколько раз меньше. Измерения дифференциальных спектров гамма-излучения на большом детекторе в закрытом и открытом состояниях показали, что форма спектров добавочного излучения, вызывающего возрастания, не изменяется, лишь уменьшается абсолютное значение потока [32, 33].

Толщина свинцового экрана (5 см) такова, что ни электроны, ни гамма-кванты с энергиями до десятков МэВ проникнуть через нее не могут. Следовательно, результаты серии проведенных экспериментов указывают на то, что в наблюдаемых вариациях гамма-фона первичные источники – мюоны, рождающиеся в атмосфере от первичных КЛ и обладающие высокой проникающей способностью. Это свидетельствует, что во время осадков возрастает облучение населения дополнительной дозой естественного гамма фона вследствие возрастания энергии мюонов (вторичного космического излучения), которые ускоряются в электрических полях облаков и переносят ее в нижние слои атмосферы. Дополнительный поток энергии, возникающий при возрастании гамма-фона, составляет около  $23 \text{ кэВ}\cdot\text{см}^2\cdot\text{с}$ .

Исследования, проведенные в лаборатории космических лучей ПГИ КНЦ РАН, показали, что ионизирующее излучение от природных источников, обусловленных вкладом космических лучей, проявляет сезонные вариации. На рис. 3 показана средняя годовая вариация нейтронного счета на ст. Апатиты за период 2009–2012 гг. (НМ), данные бессвинцового нейтронного монитора (БССНМ), а также вариации гамма-квантов (рис. 3А). Среднегодовые данные вариаций указанных компонент получены методом наложения эпох. На рис. 3Б представлена зависимость среднегодовой вариации ионизирующего излучения космического происхождения от высоты снежного покрова.

Обнаружено, что на интенсивность нейтронного счета БССНМ влияют локальные условия, связанные с состоянием почвы. После схода снега и оттаивания почвы интенсивность нейтронного счета БССНМ возрастает. Возвращение счета БССНМ к уровню НМ совпадает с появлением снежного покрова и началом промерзания почвы. Это позволяет заключить, что вариации на БССНМ связаны с эманацией радона из почвы. В то же время, вариации в электромагнитной компоненте имеют существенно иную форму. По-видимому, на эту компоненту влияет совокупность нескольких факторов. Поскольку происхождение мягкого гамма-излучения в приземном слое атмосферы связано с потоком мюонов, одним из таких факторов могут быть сезонные вариации высотного температурного профиля атмосферы.

Таким образом, показано, что ионизирующее излучение природного происхождения, обусловленное взаимодействием первичных компонент космических лучей с атмосферой, приводит к сезонным вариациям дозы облучения населения, вклад которой необходимо учитывать при оценке эффективной дозы.

Измерение  $\beta$ -активных продуктов в атмосфере в Мурманской обл. выявило, что в отдельные дни в атмосфере наблюдается высокое содержание  $\beta$ -активности естественного происхождения [12]. По данным оперативного мониторинга Мурманской обл., высокое радиационное загрязнение атмосферы регистрировалось в 1997 г. (6 случаев), в 1998 г. – 22 случая, в 1999 г. – 14 случаев, в 2000 г. – 9 случаев. Радионуклидный анализ проб с высокими уровнями показал отсутствие в них радионуклидов искусственного происхождения. Из этого следует, что случаи повышенных значений концентраций суммарной  $\beta$ -активности в воздухе обусловлены радиоактивными продуктами естественного происхождения. Можно полагать, что причиной такого повышения является увеличение концентрации Be-7, который в определенных условиях образуется в атмосфере.

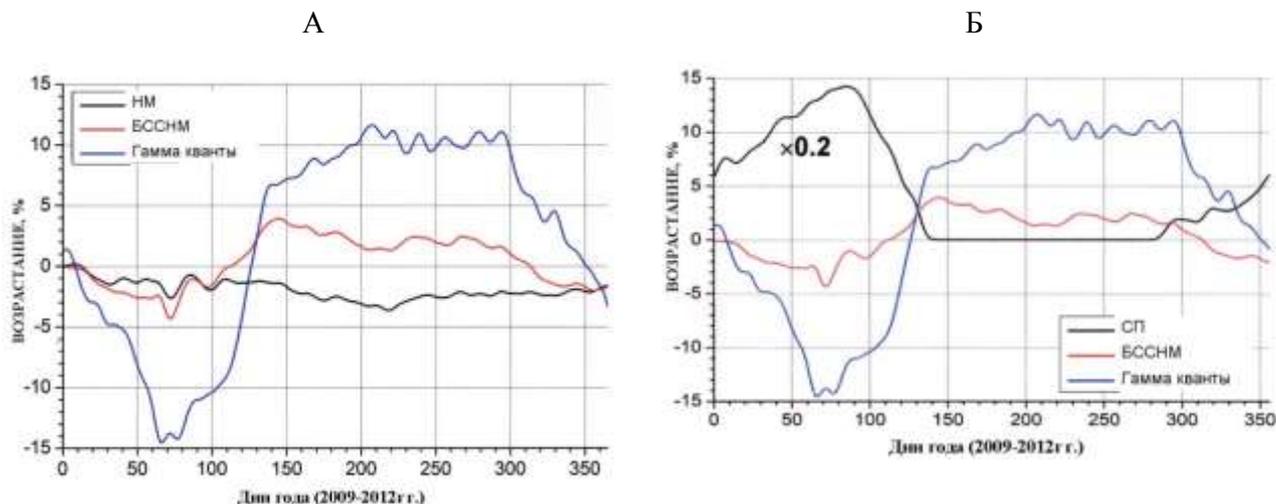


Рис. 3. Средние годовые вариации ионизирующих компонент, детектируемых на ст. нейтронного монитора ПГИ КНЦ РАН в г. Апатиты (А), и среднегодовые профили вариаций ионизирующих компонент и высоты снежного покрова (Б). А: нейтронный монитор 18-НМ-64, бессвинцовый нейтронный монитор 4-НМ-64, детектор гамма квантов с энергией более 20 кэВ. Б – счет бессвинцового нейтронного монитора гамма-квантов, высота снежного покрова (СП). По оси абсцисс – дни года (2009-2012 гг.), по оси ординат – возрастание вариаций ионизирующих компонент, % (А, Б); высота снежного покрова, см (Б)

Исследования показали [22], что наибольший вклад в суммарную активность атмосферных осадков и аэрозолей северных широт вносит радионуклид космогенного происхождения бериллия (Be-7), концентрация которого связана с погодно-климатическими и космическими условиями. В частности, обнаружено, что эффективность генерации Be-7 зависит от спектра солнечных протонов. Распределение радиоактивности в атмосферных аэрозолях и осадках, обусловленное содержанием Be-7, подвержено временным и сезонным колебаниям, вызванным переносом воздушных масс, вариациями космических лучей, солнечной активностью и другими факторами (рис. 4).

На рис. 4 отображены вариации содержания Be-7, выявленные в различных пробах (рис. 4А) и в различные сезоны года (рис. 4Б).

Было показано, что средние значения суммарной радиоактивности атмосферных аэрозолей и осадков составили  $0.066 \pm 0.002$  мкБк/л и  $0.385 \pm 0.019$  мкБк/л соответственно. В периоды межсезонья наблюдалось резкое увеличение концентрации Be-7 в атмосферных аэрозолях за счет поступления его из верхних слоев атмосферы при интенсивном стратосферно-тропосферном обмене воздушных масс; в период усиления солнечной активности (вспышки на солнце) концентрация Be-7 в атмосферных осадках и аэрозолях также увеличивалась в 4 и более раза.

Радиологические исследования, выполненные в аккредитованной региональной лаборатории радиационного контроля, ИХТРЭМС им. И.В. Тананаева КНЦ РАН (г. Апатиты, Мурманский регион), позволили рассчитать среднее значение дозы облучения населения от природных источников ионизирующего излучения за счет атмосферного воздуха. Оказалось, что в г. Апатиты облучение за счет атмосферного воздуха в 12.5 раз выше, чем по России (0.006 мЗв/год).

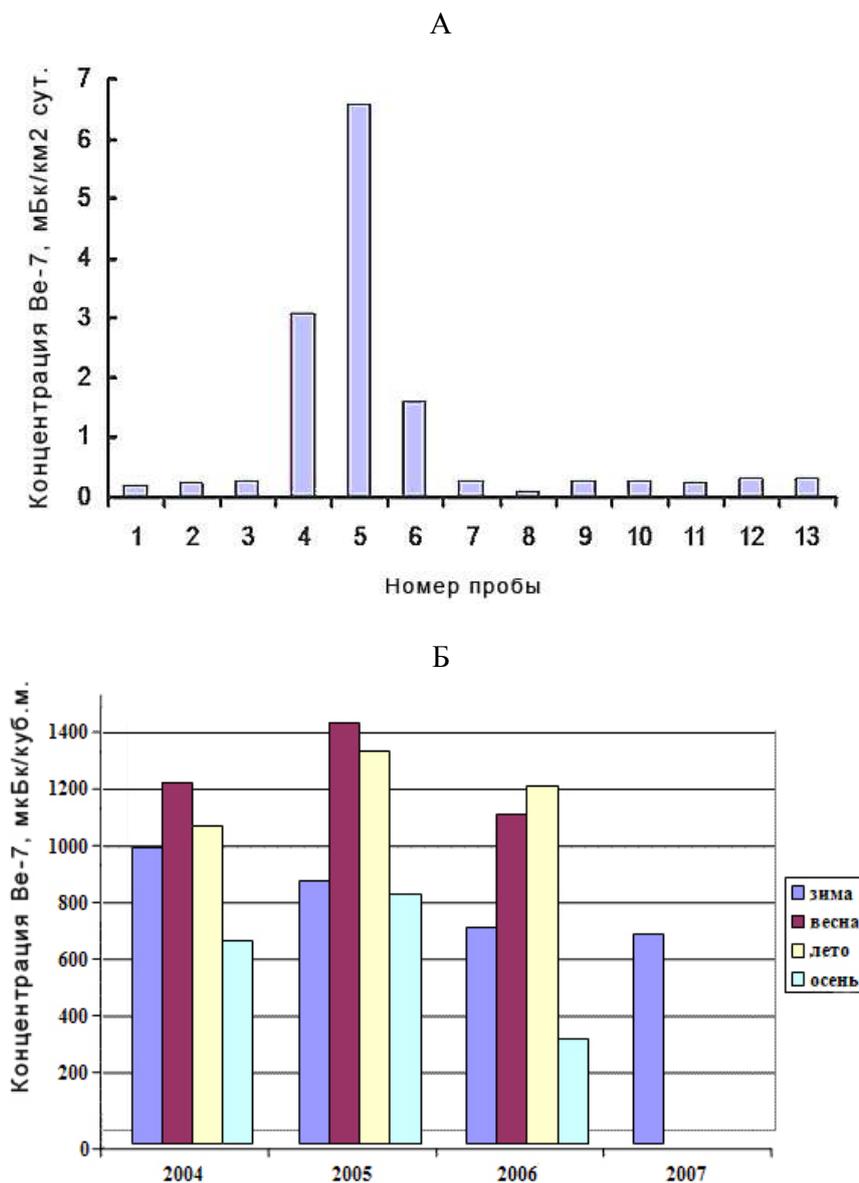


Рис. 4. Вариации концентрации Ве-7 в отдельных пробах (А) и в различные сезоны года (Б)

Данные, приведенные на рис. 4, свидетельствуют о дополнительном вкладе природных источников ионизирующего излучения, ассоциированного с Ве-7, в годовые дозы облучения населения Мурманской обл.

**Вклад природных источников ионизирующего излучения в заболеваемость населения Мурманской области**

Качество окружающей среды находит отражение, прежде всего, в заболеваемости населения, в репродуктивном здоровье женщин, числе случаев осложнений беременности и родов. Поэтому изучение динамики медико-статистических показателей, как одного из аспектов медико-биологического мониторинга, может дать информацию о характере влияния гелиогеофизических показателей в различных фазах цикла СА на здоровье населения.

В настоящей работе проанализирована распространенность ВПР у детей (рис. 5А) и перинатальная смертность (рис. 5Б) в различных фазах солнечной активности. Значимость различий между средними значениями ВПР в годы высокой и низкой СА –  $p = 0.08$ .

Оценка связи между ВПР у детей за период с 1975 по 2005 гг. и фоновыми вариациями нейтронной компоненты КЛ у поверхности Земли выявила связь между скоростью счета нейтронного монитора, динамикой распространенности врожденных пороков органов дыхания (Q30-Q34),  $r = 0.35$ ,

$p < 0.05$  и аномалиями развития, проявляющимися в расщелине губы и нёба (заячья губа и волчья пасть) (Q35-Q37),  $r = 0.48$ ,  $p < 0.05$  (рис. 6А). Связь ( $p < 0.05$ ) между вариациями нейтронной компоненты КЛ и заболеваемостью взрослого населения (2003–2009 гг.) показана на рис. 6Б.

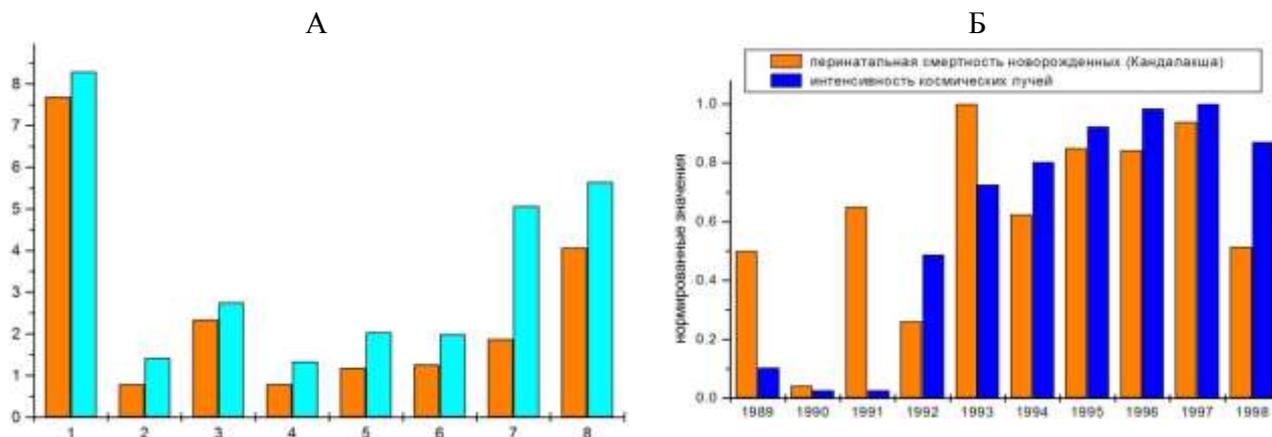


Рис. 5. Распространенность ВПП у детей (А) и перинатальная смертность (Б) в различных фазах цикла солнечной активности. А – оранжевые столбцы – в годы высокой СА и геомагнитной активности; голубые – низкой СА и высокой интенсивности нейтронной компоненты КЛ: 1 – врожденные новообразования; 2 – врожденные аномалии глаза, уха, лица и шеи (Q10-Q18); 3 – врожденные аномалии системы кровообращения (Q20-Q28); 4 – врожденные аномалии органов дыхания (Q30-Q34); 5 – расщелина губы и нёба (заячья губа и волчья пасть) (Q35-Q37); 6 – другие врожденные аномалии органов пищеварения (Q38-Q45); 7 – врожденные аномалии мочевыделительной системы (Q60-Q64); 8 – другие врожденные аномалии (Q80-Q89). Б – оранжевые столбцы – перинатальная смертность, синие столбцы – интенсивность нейтронной компоненты космических лучей у поверхности Земли

Изучение зависимости заболевания взрослого населения злокачественными новообразованиями и туберкулезом от вариаций космических лучей (1989-1999 гг.) выявило значимую ( $p < 0.05$ ) связь между распространенностью случаев этих нозологических форм и интенсивностью КЛ (рис. 7, 8). Возрастание онкологических и инфекционных заболеваний служит своеобразным индикатором воздействия ионизирующего излучения на организм. На основе полученных данных можно предположить, что в годы низкой СА, когда возрастает доза КЛ, дополнительное приращение дозы облучения способно приводить к возрастанию риска онкологических и инфекционных заболеваний.

Сходные наблюдения о связи онкологических заболеваний с СА сделаны авторами работы [6]. Анализируя материалы многолетних медико-профилактических исследований, замечено, что динамические ряды показателей онкориска для коренного населения Ненецкого округа, Республики Коми и Чукотки определенным образом соотносятся с динамикой СА и указывают на возможное проявление общих закономерностей [34, 35], связывающих уровень онкологической заболеваемости (смертности) с географическими особенностями регионов. Так, в четырехлетних зонах повышенной СА 20- и 21-го солнечных циклов отмечается неуклонное снижение смертности от рака пищевода и легких. В зоне пониженной СА 19- и 20-го циклов за два года до начала зоны повышенной СА уровень смертности от рака этих локализаций увеличивается до наивысших значений на границах зон [6].

Таким образом, авторы, во-первых, отмечают связь онкозаболеваемости с циклами СА, а во-вторых, обнаруживают возрастание онкозаболеваемости при снижении СА, т.е. именно в тот период, когда возрастает интенсивность нейтронной компоненты КЛ. Наши данные однозначно показывают, что онкозаболеваемость в Мурманской обл. (по крайней мере, за периоды 1989–1999 и 2003–2009 гг.) ассоциирована с СА и возрастает при ее снижении и параллельном повышении интенсивности КЛ.

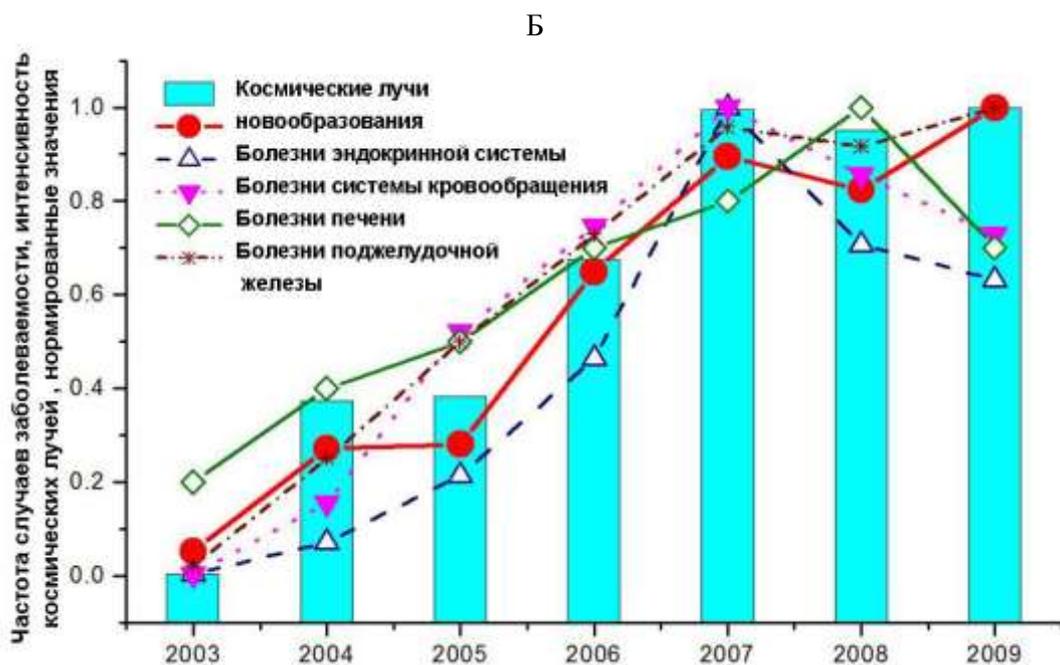
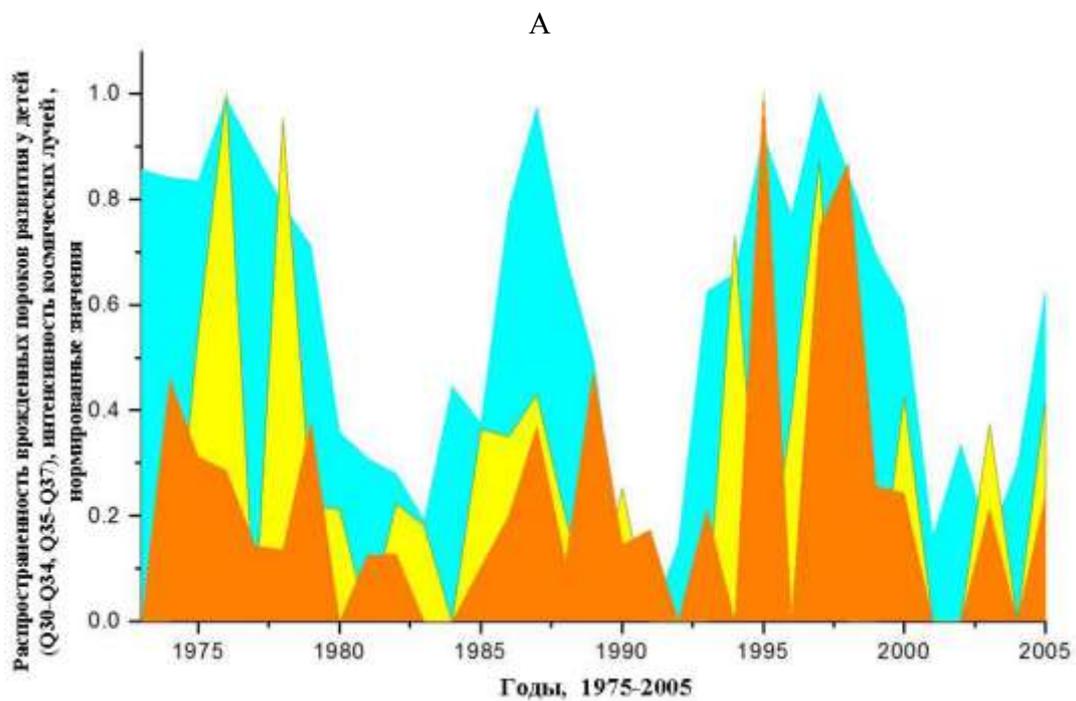


Рис.6. Связь вариаций нейтронной компоненты КЛ у поверхности Земли с врожденными пороками развития у детей (А) и заболеваемостью взрослого населения (Б). А – скорость нейтронного счета, голубая область; врожденные аномалии органов дыхания (Q30-Q34), оранжевая область; расщелина губы и нёба (заячья губа и волчья пасть) (Q35-Q37), желтая область. Б – скорость счета нейтронного монитора (космические лучи), частота случаев новообразований, болезней эндокринной системы, системы кровообращения, печени и поджелудочной железы, нормированные значения.

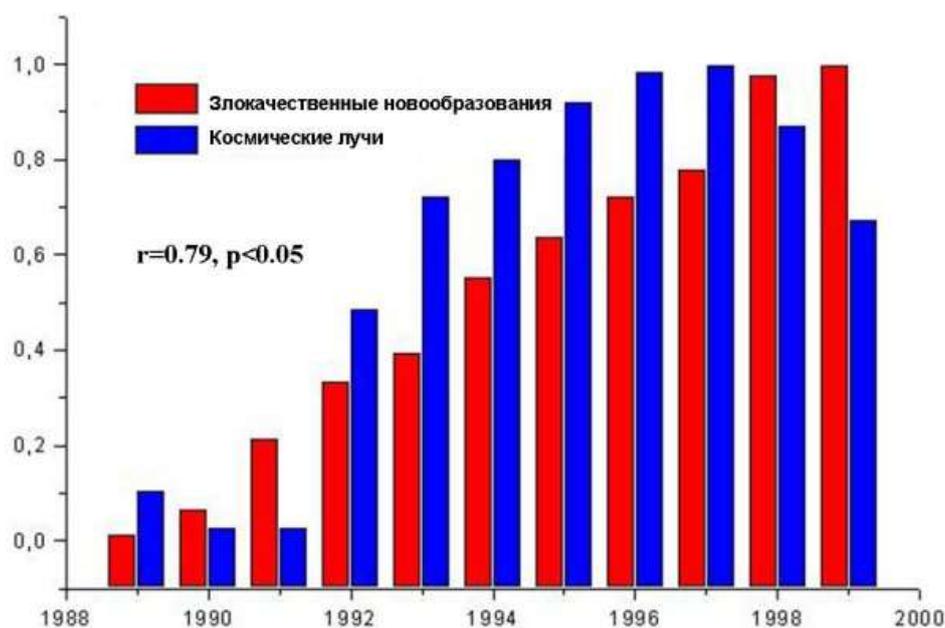


Рис. 7. Заболеваемость злокачественными новообразованиями (красные столбцы) и интенсивность нуклонной компоненты КЛ у поверхности Земли (синие столбцы). По оси абсцисс – годы, по оси ординат – нормированные значения

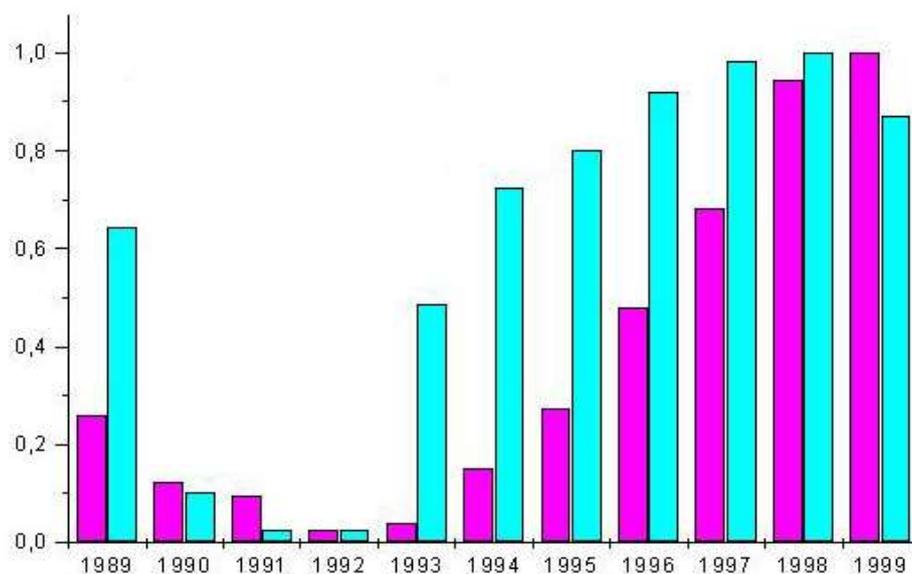


Рис. 8. Заболеваемость туберкулезом (фиолетовые столбцы) и интенсивность нуклонной компоненты КЛ у поверхности Земли (голубые столбцы). По оси абсцисс – годы, по оси ординат – нормированные значения

Полученные данные свидетельствуют, что заболеваемость жителей Евро-Арктического региона связана с воздействием ионизирующей радиации техногенного и природного происхождения. Можно предполагать, что генотоксические агенты со сходным спектром биологических эффектов, воздействуя на одни и те же мишени и в одно и то же время, взаимодействуют аддитивным образом [9], способствуя росту заболеваемости населения.

В рамках совершенствования методических подходов к оценке интегральных (многосредовых, многофакторных) рисков для здоровья населения и методологии оценки риска для здоровья населения от воздействия микробиологических и физических факторов

(<http://admin.rosпотреbnadzor.ru/documents/proto/19776/>), авторы исследования полагают, что учет воздействия природных факторов среды, обусловленных исключительно высокоширотной спецификой воздействия на организм человека, может внести существенный вклад в улучшение методических подходов к оценке интегральных рисков для здоровья населения на Севере.

## Выводы

1. Основная причина неуклонного повышения заболеваемости населения в Арктическом регионе – загрязнение окружающей среды радионуклидами, образовавшимися в атмосфере в результате ядерных испытаний и выпадающими с осадками на Землю. Распространение радионуклидов техногенного происхождения в окружающей среде порождает дестабилизацию генетического материала (нестабильность генома), это повышает риск возникновения онкозаболеваний и преждевременной смерти.

2. Сопутствующие агенты (техногенное загрязнение среды канцерогенами, химическими мутагенами, радионуклидами, источником которых могут быть промышленные предприятия, атомные взрывы в «мирных» целях, выбросы АЭС и др.) приводят к аддитивному эффекту, ускоряя процессы разрушения организма.

3. Природные факторы среды гелиогеофизического происхождения модулируют состояние организма (степень чувствительности к радионуклидам или, наоборот, устойчивости), что проявляется в преобладании тех или иных заболеваний в различных фазах цикла СА.

4. Дети наиболее уязвимы к действию источников ионизирующего излучения. Их заболеваемость отражает качество окружающей среды.

5. Повышение качества жизни населения требует совместных усилий медиков, биологов, социологов, экономистов с целью создания государственной междисциплинарной программы, призванной разработать подходы к снижению заболеваемости населения Арктических территорий.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Марей А.Н. Содержание стронция-90 в костной ткани населения Советского Союза 1974–1975 гг. / А.Н. Марей, Б.К. Борисов // Документ НК ДАР ООН. М.: Атомиздат, 1976. 12 с.
2. Прокофьев О.Н. Результаты исследований радиационно-гигиенической обстановки в РСФСР после стратосферных выпадений стронция-90 и цезия-137 в период 1963 по 1978 г. // Доклады НКР 318031. М.: Атомиздат, 1982. 13 с.
3. Рамзаев П.В. Гигиеническое исследование радиационной обстановки на Крайнем Севере СССР, обусловленной глобальными выпадениями: диссертация доктора мед. наук. Л., 1967. 397 с.
4. Радиозология ландшафтов Крайнего Севера / М.Н. Троицкая [и др.] // Радиозология. М.: Медицина, 1971. С. 325–253.
5. Троицкая М.Н. Гигиеническая оценка повышенных уровней облучения населения Крайнего Севера: автореферат дис. ... доктора мед. наук. Л., 1981. 23 с.
6. Радиационный фактор на Крайнем Севере России / Г.И. Мирецкий [и др.]. Санкт-Петербург: ГНИКИ СКУ «Система», 1999. 132 с.
7. Медико-биологические исследования на Шпицбергене как действенный подход для изучения биоэффективности космической погоды / Н.К. Белишева [и др.] // Вестник Кольского научного центра РАН. 2010. № 1. С. 26–33.
8. Белишева Н.К. Медико-биологический мониторинг – как средство оценки качества окружающей среды для здоровья населения на Севере / Н.К. Белишева, Л.В. Талыкова, Н.А. Мельник // Материалы VII Северного социально-экологического конгресса, Архангельск, 27–28 июня, 2011. М.: ООО "Первая Оперативная Типография", 2012. С. 93–111.
9. United Nations. Sources and Effects of Radiation. Vol. I: Sources; Vol. 2: United Nations Scientific Committee on Atomic Radiation, 2000 Report to the Assembly, with scientific annexes. ANNEX C. Exposures to the public from man-made sources of radiation. United sales publications E.00.IX.3 and Nations, New York, 2000.
10. Ядерные испытания в Арктике: научно-публицистическая монография: в 2 т. Т. 1. Арктический ядерный полигон / под общ. ред. науч. рук. РФЯЦ ВНИИЭФ акад. РАН В.Н. Михайлова. Режим доступа: [http://www.iss-atom.ru/ksenia/YI\\_t1/ch1\\_4.htm](http://www.iss-atom.ru/ksenia/YI_t1/ch1_4.htm).
11. Ядерные испытания СССР: в 4 т. Т. 2. Технологии ядерных испытаний СССР. Воздействие на окружающую среду. Меры по обеспечению безопасности. Ядерные полигоны и площадки / редгруппа специалистов Минатома, Минобороны России и РАН во главе с рук. ядерной отрасли акад. РАН В.Н. Михайловым. © РФЯЦ – ВНИИЭФ. Режим доступа: <http://www.iss-atom.ru/sssr2/index.html>.
12. Доклад Государственного комитета по охране окружающей среды Мурманской области «Состояние и охрана окружающей среды Мурманской области» 1999 г.: «Состояние природной среды и проблемы экологии на Кольском п-ове в 1999 году». Режим доступа: <http://www.murman.ru/ecology/comitet/report99/index.html>.
13. Материалы «О санитарно-эпидемиологической обстановке в Мурманской области в 2012 году» / Управление Роспотребнадзора по Мурманской области / под ред. гл. государственного санитарного врача по Мурманской области, заслуженного врача Российской Федерации к.м.н. Л.А. Лукичевой. Мурманск, 2013.
14. Атлас «Медико-демографические показатели и санитарно-эпидемиологическая обстановка в Мурманской области в 2010 году» Управления федеральной службы по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека по Мурманской области. Мурманск, 2011. Режим доступа: [http://www.murmanpotrebnadzor.ru/activities/view\\_item/25816/364](http://www.murmanpotrebnadzor.ru/activities/view_item/25816/364).
15. Белишева Н.К. Эндогенная и экзогенная причинность заболеваемости на Севере // Адаптация человека к экологическим и социальным условиям Севера.

Сыктывкар. УрО РАН, 2012. С. 73–83. **16.** *Manti L.* Cooperative biological effects between ionizing radiation and other physical and chemical agents / *L. Manti, A. D'Arco* // Mutation Research. 2010. Т. 704. С. 115–122. **17.** Cooperative influence of geo-cosmical agents on human organism. In: Physics of Auroral Phenomena / Belisheva N.K. [et al.]; eds. I.V. Golovchanskaya, N.V. Semenova. 2007. Apatity. P. 221–224. **18.** *Ramboiu S.* Effect of Radon-222 and its daughter inhalation on reproduction in rats exposed under natural conditions. Radon in the Living Environment, 19–23 April 1999 / *S. Ramboiu, E. Bordas, A. Olinic*. Athens, Greece, 1999. P. 869–872. **19.** Micronuclei Induced by Radon and Its Progeny in Deep-Lung Fibroblasts of Rats In Vivo and In Vitro / *M.A. Khan* [et al.] // Radiation Research. Jul. 1994. Vol. 139, № 1. P. 53–59. **20.** Johnson N. F. and G. J. Newton. Estimation of the Dose of Radon Progeny to the Peripheral Lung and the Effect of Exposure to Radon Progeny on the Alveolar Macrophage / *N.F. Johnson, G.J. Newton* // Radiation Research. Aug. 1994. Vol. 139, № 2. P. 163–169. **21.** *Шемью-Заде А.Э.* Радон и солнечная активность // Природа. 1992. № 7. С. 31–35. **22.** *Мельник Н.А.* Радиационный мониторинг естественных радионуклидов в северных широтах // Север – 2003: Проблемы и решение. Апатиты: КНЦ РАН, 2004, С. 77–89. **23.** *Tremblay J.* Beryllium-7 as a tracer of stratospheric ozone: a case study / *J. Tremblay, R. Servanckx* // Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry, Articles. 1993. Vol. 172, № 1. P. 49–56. **24.** Health Effects of Exposure to Low Levels of Ionizing Radiation. BEIR V. Committee on Biological Effects of Ionizing Radiation // National Research Council. National Academy Press. Washington, D.C. 1996. 436 p. **25.** Информационный сборник: «Дозы облучения населения Мурманской области в 2010 году» / *Лукичева Л.А.* [и др.]. **26.** Информационный сборник «Дозы облучения населения Мурманской области в 2011 году» / *Лукичева Л.А.* [и др.]. **27.** The transfer of radionuclides along foodchains to man in Finnish Lapland / *T. Rahola* [et al.] // Arctic and Antarctic. Ostersund. 1993. P. 381–386. **28.** *Rissanen K.* Radiocesium in lichens and reindeers after Chernobyl accident / *K. Rissanen, T. Rahola* // Rangefer. Finnish Centre for Radiation and Nuclear Safety 1990. № 3. P. 55–61. **29.** Глобальное и региональное радиоактивное загрязнение цезием-137 европейской территории бывшего СССР / *Ю.А. Израэль* [и др.] // Метеорология и гидрология. 1994. №5. С. 5–9. **30.** The effects of cosmic rays on biological systems – an investigation during GLE events / *N.K. Belisheva* [et al.] // Astrophys. Space Sci. Trans., 8, 7–17, 2012. [www.astrophys-space-sci-trans.net/8/7/2012/doi:10.5194/astra-8-7-2012](http://www.astrophys-space-sci-trans.net/8/7/2012/doi:10.5194/astra-8-7-2012). **31.** *Белишева Н.К.* Эффекты солнечных протонных событий в распространенности врожденных пороков развития у детей / *Н.К. Белишева, Л.В. Талыкова* // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. 2012. Т. 14, № 5(2). С. 323–325. **32.** *Балабин Ю.В.* Сезонные вариации в различных компонентах вторичных космических лучей / *Ю.В. Балабин, А.В. Германенк* // Тезисы. Физика авроральных явлений. 36-й ежегодный семинар, 26 февраля – 1 марта. Кольского научного центра России Академии наук. Апатиты, КНЦ РАН, 2013. С. 65. Режим доступа: <http://pgia.ru/seminar>. **33.** Баланс энергии и происхождение возрастных приземного гамма-фона / *Ю.В. Балабин, А.В. Германенко, Е.В. Вашенюк, Б.Б. Гвоздевский* // Тезисы. Физика авроральных явлений. 36-й ежегодный семинар, 26 февраля – 1 марта. Кольский научный центр РАН. Апатиты, КНЦ РАН, 2013. С. 65. Режим доступа: <http://pgia.ru/seminar>. **34.** *Геринг-Галактионова И.В., Куприянов С.Н.* Влияют ли изменения солнечной активности на онкологическую заболеваемость? / *И.В. Геринг-Галактионова, С.Н. Куприянов* // Воздействие солнечной активности на атмосферу и биосферу Земли: сборник науч. тр. М.: Наука, 1971. С.198-210. **35.** *Juckett D.A.* Correlation of a 140-year global time signature in cancer mortality birth cohorts with galactic cosmic ray variation, Int. J. Astrobiol., 6, 307–319, 2007.

### Сведения об авторах

*Белишева Наталья Константиновна* – д.б.н., чл.-корр. МАНЭБ, зав. научным отделом медико-биологических проблем адаптации человека в Арктике КНЦ РАН;  
e-mail: [natalybelisheva@mail.ru](mailto:natalybelisheva@mail.ru)

*Мельник Наталья Александровна* – к.х.н., зав. аккредитованной региональной лаборатории радиационного контроля (РЛРК) Института химии и технологии редких элементов и минерального сырья им. И.В. Тананаева КНЦ РАН;  
e-mail: [melnik@chemy.kolasc.net.ru](mailto:melnik@chemy.kolasc.net.ru)

*Балабин Юрий Васильевич* – к.ф.-м.н., научный сотрудник лаборатории космических лучей Полярного геофизического института КНЦ РАН;  
e-mail: [balabin@pgia.ru](mailto:balabin@pgia.ru)

*Буркова Татьяна Федоровна* – сотрудник ФГУЗ «Центр гигиены и эпидемиологии в Мурманской области»; e-mail: [fgu@fguzmo.ru](mailto:fgu@fguzmo.ru)

*Талыкова Людмила Васильевна* – д.м.н., зав. отделом гигиены и профпатологии НИЛ ФБУН СЗНЦ гигиены и общественного здоровья;  
e-mail: [talyk@mail.ru](mailto:talyk@mail.ru)