

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ
СТАТЬИ

ОЦЕНКА ФИЗИОЛОГИЧЕСКИХ ИЗМЕНЕНИЙ У ЛИКВИДАТОРОВ
ПОСЛЕДСТВИЙ АВАРИИ НА ЧЕРНОБЫЛЬСКОЙ АТОМНОЙ
ЭЛЕКТРОСТАНЦИИ, ПРОЖИВАЮЩИХ В УСЛОВИЯХ ВЫСОКОГОРЬЯ

© 2019 г. А. Г. Карапетян*

Научный центр радиационной медицины и ожогов, Ереван, Армения

**E-mail: ncrmio@web.am*

Поступила в редакцию 13.08.2018 г.

После доработки 09.03.2019 г.

Принята к публикации 28.03.2019 г.

В работе исследовано влияние гипоксии, повышенного радиационного фона и других факторов высокогорных условий проживания на ликвидаторов последствий аварии на Чернобыльской АЭС, изучено нарушение функционального состояния дыхательной и сердечно-сосудистой систем. Установлено, что с 1995 до 2010 гг. у ликвидаторов, проживающих в горных районах, наблюдается значительное понижение уровня заболеваемости по сердечно-сосудистой системе (ССС), хронических неспецифических заболеваний легких (ХНЗЛ), заболеваний желудочно-кишечного тракта (ЖКТ), что говорит о наличии защитных механизмов у лиц, проживающих в условиях высокогорья. Лишь по нервным заболеваниям на протяжении всего периода исследований заболеваемость у “горцев” несколько превышала заболеваемость ликвидаторов, проживающих в низменных районах. В раннем поставарийном периоде наблюдалось также достоверное различие между показателями легочной функции у равнинных и высокогорных ликвидаторов. У ликвидаторов, проживающих в высокогорных районах Армении, было обнаружено значительно меньше случаев нарушения питания миокарда, аритмии, гипертрофии желудочков сердца, нарушения проводимости, больных с сердечной недостаточностью и инфарктом миокарда. У 68% ликвидаторов-горцев наблюдалась гипертрофия правого желудочка, что для них является приспособительным механизмом. Были зарегистрированы также достоверные различия по эритроцитам и иммунологическим показателям у вышеперечисленных 2 групп.

Ключевые слова: ликвидаторы аварии, гипоксия, заболеваемость, гипертрофия миокарда, функциональное состояние организма

DOI: 10.1134/S0869813919060025

Известно, что организм человека находится под постоянным воздействием окружающей среды, которая при длительном влиянии видоизменяет его физиологические функции, постепенно адаптируя к данным условиям. Климатические факторы – пониженное атмосферное давление, пониженное парциальное давление кислорода, температура, влажность, высокая интенсивность солнечной радиации и др. – воздействуют на человека через кожу, легкие, органы чувств, вызывая разные физиологические сдвиги [1–5].

Как установлено многими авторами [6, 7], в горных условиях развивается комплекс адаптационных перестроек, прежде всего связанных с кислородной недостаточностью, расширяются функциональные возможности, что приводит к повышению выносливости. Основными приспособительными реакциями гипоксии у жителей вы-

сокогорных районов (“горцев”) со стороны дыхания и газообмена являются: некоторое учащение дыхания и увеличение легочной вентиляции; повышение остаточного объема воздуха за счет увеличения количества функционирующих альвеол и повышенного кровенаполнения капилляров легких; увеличение диффузионной способности легких; перестройки тканевого дыхания [8, 9].

Как отмечено рядом авторов [4, 10, 11], у жителей, проживающих на равнине и коренных горцев обнаружено существенное различие в состоянии сердечно-сосудистой системы, функции внешнего дыхания и газообмена, а также системы крови.

Целью исследования являлось выявление различий в течение заболеваемости, изменений в функциональном состоянии различных органов у ликвидаторов, проживающих в равнинных и высокогорных районах Армении.

МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

В исследования были вовлечены 270 ликвидаторов – жителей Армении, проживающих в условиях высокогорья (более 2500 м), участвовавших в работах по ликвидации последствий аварии на чернобольской атомной электростанции (ЧАЭС) 1986–1988 гг. (I группа). В качестве второй группы привлечено 300 “равнинных” ликвидаторов (750–800 м над уровнем моря). Все ликвидаторы были различных возрастных категорий. Возраст ликвидаторов в период аварии был в пределах 20–55 лет (в возрасте 20–30 лет – 12.6%; 31–40 лет – 32.7%; 40–50 лет – 38.5% и старше 50 лет – 16.2%). Была исследована динамика заболеваемости по нервной системе, ССС, ХНЗЛ и ЖКТ.

Каждая из 2 групп ликвидаторов в дальнейшем была разделена на 3 подгруппы для проведения дисперсионного факторного анализа: первую составили лица с дозой внешнего облучения до 10 сГр, вторую – 10–20 сГр и третью – более 20 сГр. У этих ликвидаторов были проведены спирометрические и иммунологические анализы, общий анализ крови (с помощью комплекса стандартных унифицированных тестов). Исследовались такие иммунологические показатели, как лейкоциты, Е-РОК (Т-лимфоциты) и ЕАС-РОК (В-лимфоциты): относительное и абсолютное количество, сывороточные иммуноглобулины (G, A, M), фагоцитарная активность и титр комплемента.

С помощью методов системного анализа были проанализированы следующие показатели легочной функции: индекс Тиффно ($IND_TIF = FEV_1/VC$), объем форсированного выдоха за 1 с (FEV_1), жизненная емкость легких (VC), пиковая объемная скорость выдоха (PEF) [12].

Проанализированы также изменения в сердечно-сосудистой системе: нарушение питания миокарда, аритмия, гипертрофия предсердий, нарушение проводимости, фракция выброса сердца, склеротические изменения клапана, процент ликвидаторов с инфарктом миокарда.

Статистический анализ данных проводился с помощью ряда компьютерных программ, предназначенных для статистической обработки массивов цифровых данных. Использованы электронная таблица Microsoft Excel и специализированные статистические пакеты Statsoft-7, SPSS-10.0, MedCalc и StatGraphics Plus. Проведены корреляционный, регрессионный и дисперсионный факторный анализы [13, 14].

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Проведенные исследования показали, что только в самом начале (1987 г. – $32.1 \pm 2.1\%$ – равнинные; $60.1 \pm 5.3\%$ – ликвидаторы, проживающие в условиях высокогорья) и конце исследований (2017 г. – $33.3 \pm 3.2\%$ – “равнинные”; $44.3 \pm 3.8\%$ – “горцы”)

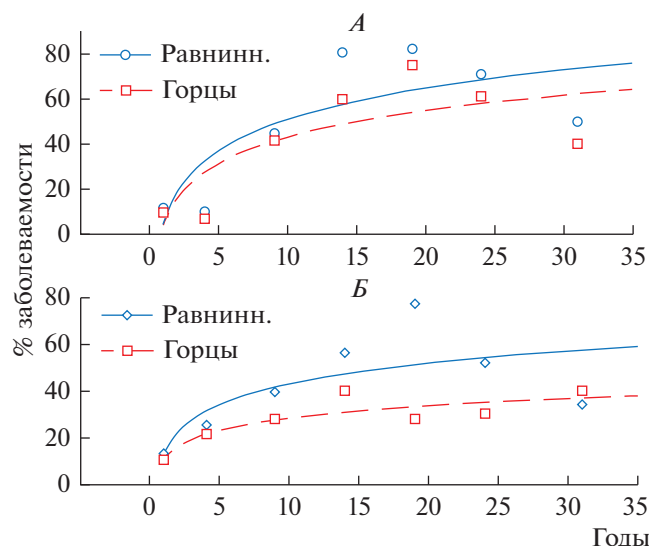


Рис. 1. Динамика заболеваемости “равнинных” и “высокогорных” ликвидаторов по системам ССС (А) и ХНЗЛ (Б).

наблюдалось достоверное различие между уровнем заболеваемости нервной системы у “равнинных” и “высокогорных” ликвидаторов. И если повышение уровня нервных заболеваний у “высокогорных” ликвидаторов в раннем поставарийном периоде можно отнести к радиационным и стрессовым факторам, в отдаленном поставарийном периоде возможно влияние других факторов нерадиационной природы, в том числе возраста и адаптационных реакций. Известно, что сложный комплекс изменений состояния нервной системы, возникающих при постоянном проживании в условиях высокогорья, может привести к понижению функциональных возможностей [15–17].

На рис. 1А, Б представлена динамика заболеваемости “равнинных” и “высокогорных” ликвидаторов по сердечно-сосудистой системе и хроническим неспецифическим заболеваниям легких. Представлены также полученные нами кривые и уравнения логарифмической регрессии, позволяющие не только описать динамику, но и прогнозировать дальнейшее увеличение процента заболеваемости на протяжении ближайших лет:

$Y_1 = 4.712 + 46.26\lg(x)$; $Y_2 = 3.887 + 39.22\lg(x)$; $Y_3 = 13.898 + 29.29\lg(x)$; $Y_4 = 11.177 + 17.4\lg(x)$, где Y_1 и Y_3 – соответственно процент заболеваемости по ССС и ХНЗЛ у равнинных, а Y_2 и Y_4 – у высокогорных ликвидаторов, x – количество лет, пройденных после аварии на ЧАЭС.

В результате проведенных многолетних исследований было обнаружено, что в случае заболеваемости дыхательной системы на всем протяжении исследований уровень заболеваемости ликвидаторов, проживающих в условиях высокогорья был значительно ниже, что, очевидно, говорит о защитных механизмах людей, долго проживших в условиях гипоксии. Показатели легочной функции в раннем поставарийном периоде также достоверно отличались у выделенных групп (в табл. 1 отмечено звездочкой).

С помощью дисперсионного факторного анализа были выявлены доли влияния радиационного фактора на показатели VC и FEV в раннем (50.57; 34.5%) и в отдаленном периодах (20.21; 24.13%). Только к концу исследований уровни заболевае-

Таблица 1. Функциональные нарушения легких у “равнинных” и “высокогорных” ликвидаторов

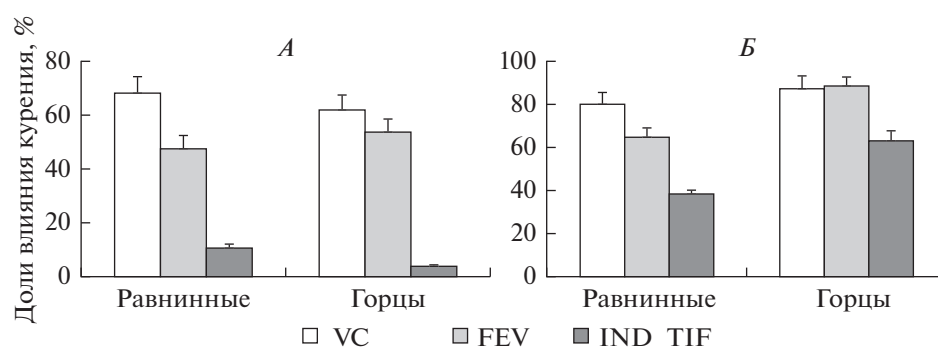
Периоды	Ликвидаторы	VC	FEV1	FEV/VC	FVC/FEV_PEV
Ранний период	Горцы	89.1 ± 2.6	80.9 ± 4.2	89.2 ± 2.5	–
	Равнинные	81.8 ± 2.5*	67.3 ± 5.2*	82.5 ± 2.3*	–
Отдаленный период	Горцы	87.4 ± 2.8	90.7 ± 3.7	99.0 ± 3.3	12.8 ± 6.2
	Равнинные	90.1 ± 2.2	94.6 ± 3.3	103.3 ± 2.8	11.6 ± 1.9

* $p < 0.05$ при сравнении показателей равнинных и высокогорных ликвидаторов.

Таблица 2. Доли влияния курения на показатели функционального состояния легких у “равнинных” и “высокогорных” ликвидаторов

Периоды	Ликвидаторы	VC	FEV1	IND_TIF
Ранний период	Горцы (1)	61.8 ± 5.8	53.5 ± 4.8	4.0 ± 0.4
	Равнинные (2)	67.9 ± 6.1	47.4 ± 4.6	10.7 ± 1.1
	$p_{1,2}$	–	–	$p_{1,2} < 0.05$
Отдаленный период	Горцы (3)	87.1 ± 5.7	88.0 ± 5.1	62.8 ± 4.8
	Равнинные (4)	79.5 ± 6.2	64.4 ± 4.5	37.9 ± 2.1
	$p_{3,4}$	–	$p_{3,4} < 0.05$	$p_{3,4} < 0.05$
Достоверность изменения в группах 1, 3 и 2, 4	$p_{1,3}$	$p_{1,3} < 0.05$	$p_{1,3} < 0.05$	$p_{1,3} < 0.05$
	$p_{2,4}$	–	$p_{2,4} < 0.05$	$p_{2,4} < 0.05$

мости по ХНЗЛ у ликвидаторов высокогорья и равнинных ликвидаторов почти сравнивались, так как такие нерадиационные факторы, как возраст и курение, влияющие на заболеваемость дыхательных путей, стали преобладать. Так, результаты дисперсионного факторного анализа (рис. 2) показали, что доли влияния курения на показатели легочной функции (IND_TIF, FEV₁ и VC) в отдаленном поставарийном периоде возросли в 1.5–3 раза. Более подробно значения долей влияния курения на показатели функционального состояния легких ликвидаторов представлены в табл. 2.

**Рис. 2.** Доли влияния курения на показатели функционального состояния дыхательной системы “равнинных” и “высокогорных” ликвидаторов в раннем (А) и отдаленном (Б) поставарийном периодах.

Основными приспособительными изменениями при постоянном проживании в условиях гипоксии считаются легочная гипертензия и признаки гипертрофии правого желудочка сердца. Взаимосвязь нарушений дыхательной и сердечно-сосудистой систем особенно ярко проявляется у ликвидаторов—жителей высокогорья. У постоянных жителей гор в основе легочной гипертензии лежат структурные изменения сосудов легких. Механизм формирования гипертрофии правого желудочка обусловлен нарастающей легочной гипертензией [18, 19].

Что касается ССС, в раннем периоде у двух групп различия были незначительны и только с 2000 г. было четко отмечено уменьшение процента заболеваемости у “высокогорных” ликвидаторов относительно “равнинных”. Это можно объяснить тем, что среди популяции горцев атеросклеротические поражения магистральных и периферических сосудов развиваются позже и слабо прогрессируют. Так, у 31.6% “горцев” и у 45.6% “равнинных” ликвидаторов были обнаружены склеротические изменения клапанов сердца, что является целесообразным физиологическим приспособлением, возникшим в процессе жизнедеятельности горцев в высокогорных условиях. Меньшая потеря эластичности сосудов с увеличением их возраста облегчает работу сердца.

У ликвидаторов, проживающих в высокогорных районах Армении, было обнаружено значительно меньше случаев нарушения питания миокарда (10.5% против равнинных ликвидаторов – 29.1%), проводимости (5.3% против 7.6%), аритмии (5.3% против 21.5%). У “горцев” обнаружено также меньшее количество таких нарушений, как инфаркт миокарда (у “горцев” – 5.3%, у “равнинных” – 6.3%), сердечная недостаточность (31.6 и 40.5%), гипертрофия предсердий (0 и 6.3%) и гипертрофия желудочков (36.8 и 39.2%). У постоянных жителей сформированы приспособительные изменения на тканевом уровне. В частности, некоторыми авторами [11, 18] отмечено, что у горцев повышенная утилизация кислорода тканями происходит в результате увеличенной их васкуляризации и повышения активности тканевых ферментов, а не вследствие интенсификации кровотока и увеличения сердечного выброса. В нашем случае также не наблюдается достоверного различия между фракциями выброса у “горцев” (51.6 ± 0.8) и “равнинных” ликвидаторов (50.5 ± 0.7). Они также отмечают гипертрофию правого желудочка сердца у горцев, как решающий вклад в приспособление организма тканевых факторов. Из всех случаев гипертрофии желудочков у 68% ликвидаторов-горцев наблюдалась гипертрофия правого желудочка.

Вопросы воздействия горноклиматических факторов на организм человека в разные возрастные периоды представляют интерес как теоретического, так и практического решения профилактики преждевременного старения. У постоянных жителей высокогорья с возрастом темп сердечных сокращений перестраивается на брадикардию (обнаружено у 25.5% “горцев”, у “равнинных” – 17.8%). При этом у “горцев” время систолического отрезка несколько меньше, а диастолического – больше, чем у равнинных жителей. Было обнаружено достоверное различие ($p < 0.05$) среднего значения систолического давления у ликвидаторов, проживающих в условиях гипоксии (127.1 ± 1.1 мм рт. ст.), и “равнинных” ликвидаторов (138.2 ± 4.1 мм рт. ст.). По данным Алипова Д.А. [20], эти явления у горцев можно рассматривать как характерную приспособительную реакцию, обеспечивающую лучшее наполнение сердца во время диастолы и более экономное расходование энергии сердечной мышцы.

Относительно заболеваемости ЖКТ можно отметить, что только в отдаленном периоде были зафиксированы значительные различия в заболеваемости по этой системе. Начиная с 2000 г. заболеваемость у ликвидаторов “высокогорья” была почти в 3 раза ниже “равнинных”, что тоже можно объяснить приспособительными механизмами.

Таблица 3. Иммунологические показатели у равнинных и высокогорных ликвидаторов в раннем и отдаленном поставарийных периодах

Поставарийный	Ликвидаторы	Т-лимф		В-лимф		Фагоцитарный показатель (%)	Фагоцитарный индекс абс.	Титр компонента (%)	IgA (г/л)	IgG (г/л)	IgM (г/л)
		отн. (%)	абс. (мкл)	отн. (%)	абс. (мкл)						
Ранний	Горцы	29.7 ± ± 2.2	988.9 ± ± 104.9	19.2 ± ± 1.8	650.9 ± ± 80.0	49.3 ± ± 1.6	4.1 ± ± 0.1	36.6 ± ± 1.1	1.5 ± ± 0.1	12.2 ± ± 1.1	0.9 ± ± 0.1
	Равнинные	36.7 ± ± 1.5*	1143.2 ± ± 84.8	18.8 ± ± 0.5	561.5 ± ± 18.7	48.2 ± ± 0.4	4.0 ± ± 0.1	36.2 ± ± 0.3	1.7 ± ± 0.03	12.6 ± ± 0.2	1.0 ± ± 0.1
Отдаленный	Горцы	48.7 ± ± 0.8	841.2 ± ± 76.5	14.5 ± ± 0.7	362.3 ± ± 66.4	32.2 ± ± 0.3	12.2 ± ± 0.2	26.8 ± ± 1.8	2.4 ± ± 0.2	14.4 ± ± 0.2	1.8 ± ± 0.1
	Равнинные	37.4 ± ± 0.6*	723.8 ± ± 94.0	24.2 ± ± 1.9*	830.5 ± ± 145.8*	30.2 ± ± 0.3*	11.2 ± ± 0.2*	29.1 ± ± 2.1	2.2 ± ± 0.2	13.4 ± ± 0.4*	1.7 ± ± 0.1

* $p < 0.05$ при сравнении показателей равнинных и высокогорных ликвидаторов.

Как известно, постоянная жизнь на высоте вызывает стойкие адаптивные изменения со стороны красной крови. Так, согласно работам Миррахимова М.М. с соавт. и др. [21, 22], общее количество эритроцитов может на 5% превышать уровень, характерный для лиц, проживающих на уровне моря. Достоверные отличия по количеству эритроцитов у равнинных и “высокогорных” ликвидаторов были обнаружены в раннем поставарийном периоде, а в отдаленном прослеживалась лишь тенденция повышения уровня эритроцитов у горцев относительно равнинных, но достоверная прямая корреляционная зависимость между количеством эритроцитов и уровнем гемоглобина (в раннем поставарийном периоде $r = 0.63$ и в отдаленном $r = 0.57$) у ликвидаторов – “горцев” зарегистрирована на всем отрезке исследований. Мы обнаружили достоверное повышение ($p < 0.05$) уровня гемоглобина в крови у “горцев” (164.5 ± 1.1 г/л – в раннем периоде, 151.9 ± 1.8 г/л – в отдаленном периоде) относительно “равнинных” ликвидаторов (в раннем – 161.4 ± 1.1 г/л, в отдаленном – 146.1 ± 2.2 г/л), что подтверждается данными литературы [23, 24], где это повышение связывают с увеличением кислородной емкости крови у жителей, постоянно проживающих в условиях высокогорья.

Результаты исследований иммунологических показателей представлены в табл. 3. Из представленных данных видно, что если в раннем поставарийном периоде достоверное различие наблюдалось только у относительного количества Т-лимфоцитов ($29.7 \pm 2.2\%$ у “горцев” и $36.7 \pm 1.5\%$ у II группы), то в отдаленном периоде зарегистрировано достоверное различие почти всех иммунологических показателей у вышеперечисленных групп (отмечено “*” в табл. 3). У “горцев” в отдаленном периоде выявлено снижение относительного числа В-лимфоцитов не только относительно равнинных ликвидаторов, но и по сравнению с нормой.

Таким образом, нами установлено значительное понижение уровня заболеваемости по системам: ССС, ХНЗЛ, ЖКТ с 1995 до 2010 гг. у “высокогорных” ликвидаторов в сравнении с “равнинными” ликвидаторами, что говорит о наличии защитных механизмов у “горцев”. Лишь по заболеваемости НС на протяжении всего периода исследований заболеваемость у “горцев” несколько превышала заболеваемость “равнинных” ликвидаторов. В раннем поставарийном периоде наблюдалось также достоверное различие между показателями легочной функции у I и II групп ликвидаторов.

С помощью дисперсионного факторного анализа были выявлены доли влияния радиационного фактора и фактора курения на показатели VC, FEV и IND_TIF. Обнаружено, что происходит снижение влияния радиационных и повышение – нерадационных факторов (возраст, курение).

У ликвидаторов, проживающих в высокогорных районах Армении, было обнаружено значительно меньше случаев нарушения питания миокарда, аритмии, гипертрофии желудочков сердца, нарушения проводимости, больных с сердечной недостаточностью и инфарктом миокарда. У 68% “горцев” наблюдалась гипертрофия правого желудочка, что для них является приспособительным фактором. Были зарегистрированы также достоверные различия у “горцев” и “равнинных” ликвидаторов по уровню гемоглобина и иммунологическим показателям.

Таким образом, ликвидаторы, проживающие в условиях высокогорья, оказались более выносливы к условиям воздействия ионизирующей радиации, что объясняется физиологическими приспособлениями, возникшим в процессе жизнедеятельности.

ИСТОЧНИК ФИНАНСИРОВАНИЯ

Работа выполнена за счет финансовой поддержки Комитета по Науке при Министерстве науки и образования Армении.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Tatum S.* Simonson Altitude Adaptation: A Glimpse Through Various Lenses. *High Alt. Med. Biol. J.* 16(2): 125–137. 2015.
<https://doi.org/10.1089/ham.2015.0033>
2. *Dempsey J.A., Morgan B.J.* Humans In Hypoxia: A Conspiracy of adaptation. *Physiology.* 30(4): 304–16. 2015.
<https://doi.org/10.1152/physiol.00007.2015>
3. *Муратов Ж.К.* Роль гипоксии в развитии и течении острой горной болезни, высокогорная гипоксия и проблемы адаптации человека. *Образование и наука в современных условиях. Интерактив.* 4(5): 46–50. 2015 [Muratov Zh.K. The role of hypoxia in the development and course of acute mountain sickness, alpine hypoxia and human adaptation problems. *Education and science in modern conditions. Interactive.* 4(5): 46–50. 2015. (In Russ.)].
4. *Муратов Ж.К.* Влияние высокогорных факторов на организм человека. Новое слово в науке: перспективы развития. Материалы VII Междунар. научно–практической конференции. Чебоксары. Интерактив плюс. 1(7): 129–133. 2016. [Muratov Zh.K. The influence of high-mountainous factors on the human body. A new word in science: perspectives of development. *Materials VII Intern. scientific and practical conference. Cheboksary. Interactive Plus.* 1 (7): 129–133. 2016. (In Russ.)].
5. *Lewis N.S., Bailey D.M., Dumanoir G.R., Messunger L., Lucas S.E., Cotter J.D., Donnelly J., Eney J.M., Yong I.S., Stenbridge M., Burgess K.R., Basnet A.S., Aindlie P.N.* Conduit artery structure and function in lowlanders and native highlanders: relationships with oxidative stress and role of sympathoexcitation. *J. Physiol.* 592(5): 1009–1024. 2014.
<https://doi.org/10.1113/jphysiol.2013.268615>
6. *Bigham A.W., Lee F.S.* Human high-altitude adaptation: forward genetics meets the HIF pathway. *Genes Dev. J.* 28(20): 2189–2204. 2014.
<https://doi.org/10.1101/gad.250167.114>
7. *Cheong H.I., Janocha A.J., Monocelb L.T., Garchar A.C., Gebremedhin A., Erzurum S.C., Beall C.M.* Alternative hematological and vascular adaptive responses to high-altitude hypoxia in East African highlanders. *Am. J. Physiol. Lung Cell Mol. Physiol.* 312(2): L172–L177. 2017.
<https://doi.org/10.1152/ajplung.00451.2016>
8. *Pham L.V., Meinzen Ch., Arias R.S., Schwartz N.G., Rattner A., Miele C.H., Smith P.L., Schneider H., Miranda J.J., Gilman R.H., Polotsky V.Y., Checkley W., Schwartz A.R.* Cross-Sectional Comparison of Sleep-Disordered Breathing in Native Peruvian Highlanders and Lowlanders. *High Alt Med Biol.* 18(1): 11–19. 2017.
<https://doi.org/10.1089/ham>
9. *Horscroft J.A., Korwica A.O., Laner V., West J.A., Hennis P.J., Levett D.Z., Howard D.J., Fernandez B.O., Burgess S.L., Ament Z., Gilbert-Kawai E.T., Vercueil A., Landis B.D., Mitchell K., Mythen M.G., Branco C., Johnson R.S., Feilisch M., Montgomery H.E., Griffin J.L., Grocott M.P., Gnaiger E., Martin D.S., Murray A.J.* Metabolic basis to Sherpa altitude adaptation. *Proc. Natl.*

- Acad. Sci. USA. 114(24): 6382–6387. 2017.
<https://doi.org/10.1073/pnas.1700527114>
10. *Bhattarai P., Paudel B.H., Thakur D., Bhattarai B., Subedi B., Khadka R.* Effect of long term high altitude exposure on cardiovascular autonomic adjustment during rest and post-exercise recovery. *Ann. Occup. Environ. Med.* 30: 34. 2018.
<https://doi.org/10.1186/s40557-018-0240-1>
 11. Matthew E., Pamerter C., Frank L. Powell. Time Domains of the Hypoxic Ventilatory Response and Their Molecular Basis. *Compar. Physiol.* 6(3): 1345–1385. 2016.
<https://doi.org/10.1002/cphy.c150026>
 12. *Кузнецова В.К., Любимов Г.А., Каменев М.Ю.* Динамика сопротивления потоку воздуха в фазу его нарастания в процессе форсированного выдоха при различных нарушениях механики дыхания. *Пульмонология.* 4: 36–41. 1995. [Kuznetsova V.K., Lyubimov G.A., Kamenev M.Yu. Dynamics of resistance to air flow during the phase of its increase in the process of forced exhalation with various violations of breathing mechanics. *Pulmonology.* 4: 36–41. 1995. (In Russ.)].
 13. *Вуколов Э.А.* Основы статистического анализа. Практикум по статистическим методам и исследованию операций с использованием пакетов STATISTICA и EXCEL. М. Форум. 2008. [Vukolov E.A. Osnovi statisticheskogo analiza. Praktikum po statisticheskim metodam i issledovaniyu operaciy s ispolzovaniem paketov STATISTICA i EXCEL [Fundamentals of statistical analysis. Workshop on statistical methods and investigation of operations using STATISTICA and EXCEL packages] Moscow. Forum. 2008].
 14. *Буреева Н.Н.* Многомерный статистический анализ с использованием ППП STATISTICA. Нижний Новгород. ННГУ. 2007. [Bureeva N.N. Mnogomerniy statisticheskiy analiz s ispolzovaniem PPP STATISTICA. [Multidimensional statistical analysis with use of a package of applied programs STATISTICA]. Bottom Novgorod. NNGU. 2007].
 15. *Меерсон Ф.З.* О цене адаптации. Патофизиология. Экспериментальная терапия. 2: 9–19. 1986. [Meerson F.Z. On the cost of adaptation. *Pathophysiology. Experimental therapy.* 2: 9–19. 1986. (In Russ.)].
 16. *Linde M., Edvinsson L., Manandhar K., Risal A., Steiner T.J.* Migraine associated with altitude: results from a population based study in Nepal. *Eur. J. Neurol.* 24(8): 1055–1061. 2017.
<https://doi.org/10.1111/ene.13334>
 17. *Hainsworth R., Drinkhill M.J., Rivera-Chira M.* The autonomic nervous system at high altitude, *Clin. Auton. Res.* 17(1): 13–19. 2007.
<https://doi.org/10.1007/s10286-006-0395-7>
 18. *Дотдаева А.А., Курданов Х.А., Бойцов С.А.* Заболеваемость и смертность от сердечно-сосудистых заболеваний в зависимости от высоты региона над уровнем моря. Кардиоваскулярная терапия и профилактика. 13(6): 51–55. 2016. [Dotdaeva A.A., Kurdanov Kh.A., Boytsov S.A. Morbidity and mortality from cardiovascular diseases, depending on the height of the region above sea level. *Cardiovasc. therapy and prevention.* 13 (6): 51–55. 2016. (In Russ.)].
 19. *Penalzoza D., Arias-Stella J.* The heart and pulmonary circulation at high altitudes: healthy highlanders and chronic mountain sickness. *J. Circulation.* 115(9): 1132–1146. 2007.
 20. *Алипов Д.А.* Адаптация человека в различных климато-географических и производственных условиях. 3-я Международная конференция. Ашхабад. 4: 160–161. 1981. [Alipov D.A. Human adaptation in various climatic-geographical and production conditions. 3 Internat. Conference. Ashgabat. 4: 160–161. 1981. (In Russ.)].
 21. *Миррахимов М.М., Юсупова Н.Я., Раимжанов А.Р.* Значение красной крови в адаптации организма человека к условиям высокогорья. Горы и система крови. Фрунзе. 56: 77–78. 1969. [Mirrakhimov M.M., Yusupova N. Ya., Raimzhanov A. R. The significance of red blood in the adaptation of the human body to high altitude conditions. *Mountains and the blood system.* Frunze. 56: 77–78. 1969. (In Russ.)].
 22. *Corante N., Anza-Ramírez C., Figueroa-Mujica R., Macarlupú J.L., Vizcardo-Galindo G., Bilo G., Parati G., Gamboa J.L., Leon-Velarde F., Villafuerte F.C.* Excessive Erythrocytosis and Cardiovascular Risk in Andean Highlanders. 19(3): 221–231. 2018.
<https://doi.org/10.1089/ham.2017.0123>
 23. *Ткаченко Б.И.* Нормальная физиология человека. М. Медицина. 2005. [Tkachenko B.I. Normalnaya fiziologiya cheloveka [Normal human physiology]. Moscow. Medicine. 2005].
 24. *Cheong H.I., Janocha A.J., Monocello L.T., Garchar A.C., Gebremedhin A., Erzurum S.C., Beall C.M.* Alternative hematological and vascular adaptive responses to high-altitude hypoxia in East African highlanders. *Am. J. Physiol. Lung Cellular and Molecular Physiology.* 312(2): L172–L177. 2017.
<https://doi.org/10.1152/ajplung.00451.2016>

Estimation of the Physiological Changes in Chernobyl Nuclear Disaster Liquidators Living in Highlands

A. G. Karapetyan*

Research Centre of Radiation Medicine and Burns, Erevan, Armenia

**e-mail: ncrmio@web.am*

Abstract—Here, we study the effects of hypoxia, elevated background radiation and other factors of the highlands residency on the Chernobyl nuclear disaster liquidators, such as respiratory and cardiovascular systems dysfunction. We have determined that from year 1995 to 2010 in liquidators living in highlands the significant decrease in the occurrence of cardiovascular system disorders, chronic nonspecific lung diseases, and digestive tract diseases was observed, which points to the presence of the defensive mechanisms in individuals living in highlands. Only the nervous diseases were more prevalent in “highlanders” than in liquidators living in lowlands during the whole studied period. The significant difference in the lung functional metrics between the liquidators living in lowlands and highlands was also observed in the early post-disaster period. The liquidators living in the highland regions of Armenia showed significantly fewer cases of myocardial malnourishment, ventricular hypertrophy, asequences, cardiac impairment and myocardial infarction. The right ventricle hypertrophy was observed in 68% of liquidators living in highlands, which is an adaptational mechanism. The significant differences were observed in the erythrocytes and the immunological metrics between the 2 aforementioned groups.

Keywords: disaster liquidators, hypoxia, morbidity, myocard hypertrophy, organism functional state

ЦИТИРОВАТЬ:

Карпетян А.Г. Оценка физиологических изменений у ликвидаторов последствий аварии на чернобольской атомной электростанции, проживающих в условиях высокогорья. *Рос. физиол. журн. им. И.М. Сеченова.* 105(6): 790–798.

DOI: 10.1134/S0869813919060025

TO CITE THIS ARTICLE:

Karapetyan A.G. Estimation of the Physiological Changes in Chernobyl Nuclear Disaster Liquidators Living in Highlands. *Russian Journal of Physiology.* 105(6): 790–798.

DOI: 10.1134/S0869813919060025