

УДК 612.017.2:613.1(470.1)

МОРФОФУНКЦИОНАЛЬНЫЕ ПЕРЕСТРОЙКИ ПРИ ДЛИТЕЛЬНЫХ ПЕРИОДАХ АДАПТАЦИИ У ПОСТОЯННЫХ ЖИТЕЛЕЙ ВНУТРИКОНТИНЕНТАЛЬНОЙ ЗОНЫ СЕВЕРО-ВОСТОКА РОССИИ

© 2014 г. **И. В. Аверьянова, А. Л. Максимов, С. И. Вдовенко**

Научно-исследовательский центр «Арктика» ДВО РАН, г. Магадан

На основании изучения показателей физического развития, сердечно-сосудистой системы, внешнего дыхания и газообмена было проведено сравнительное исследование 88 юношей – мигрантов-европеоидов, а также уроженцев в 1-м и 2-м поколении – жителей континентальной части Магаданской области. Показано, что для ряда физиологических систем у прибывших адаптантов наблюдается формирование срочных компенсаторно-приспособительных сдвигов, вектор которых в дальнейшем не изменяется у лиц последующих поколений. Данная стратегия адаптивных перестроек может рассматриваться как отчетливый ответ организма лиц, проживающих в более экстремальных условиях континентальной природно-климатической зоны области (по сравнению с приморской ее частью), когда большинство показателей функциональных систем сразу перестраиваются и в дальнейшем слабо зависят от продолжительности проживания в данных условиях.

Ключевые слова: Северо-Восток России, юноши, мигранты, уроженцы, функциональные показатели

MORPHOFUNCTIONAL CHANGES IN LONG-TIME ADAPTATION PROCESS OBSERVED IN NATIVES OF INTERCONTINENTAL AREAS OF RUSSIA'S NORTHEAST

I. V. Averyanova, A. L. Maximov, S. I. Vdovenko

Scientific-Research Center "Arktika" FEB RAS, Magadan, Russia

Based on the study of parameters of physical development, cardio-vascular system, external respiration and gas exchange comparative study of 88 young males among European migrants and those born in 1 and 2 generation, natives of continental area of Magadan region was carried.

Found that formation of adaptive shifts are typical of some physiological systems of European newcomers; the direction of these shifts does not change in further generations. This fact allow considering it as an organism response of people residing under more extreme conditions of continental natural-climatic area of the region (in comparison with seaside area), when many parameters of functional systems change and weakly depend on duration of residence under such conditions.

Keywords: Russia's northeast, young male residents, migrants, natives, functional indices

Библиографическая ссылка:

Аверьянова И. В., Максимов А. Л., Вдовенко С. И. Морфофункциональные перестройки при длительных периодах адаптации у постоянных жителей внутриконтинентальной зоны Северо-Востока России // Экология человека. 2015. № 3. С. 12–19.

Averyanova I. V., Maximov A. L., Vdovenko S. I. Morphofunctional Changes in Long-Time Adaptation Process Observed in Natives of Intercontinental Areas of Russia's Northeast. *Ekologiya cheloveka* [Human Ecology]. 2015, 3, pp. 12-19.

Сочетание колебаний температуры и атмосферного давления, высокой относительной и низкой абсолютной влажности, жесткого ветрового режима, значительных изменений солнечной активности, флюктуации геомагнитных полей, выраженной фотопериодичности, а также УФ-дефицита обуславливают особую структуру климата северных регионов. По совокупности климатических характеристик и с учетом общебиологического действия указанных факторов, их сочетания и степени выраженности территории Севера в целом могут быть отнесены к зоне дискомфорта природно-климатических условий проживания с элементами выраженной экстремальности по ряду показателей, которые предъявляют повышенные требования к функциональным системам организма человека [1, 5, 16, 21].

Климатические условия районов Магаданской области имеют существенные отличия и, несомненно, в разной степени оказывают влияние на функцио-

нальное состояние организма. Магаданская область – типичный пример региона с экстремальными условиями проживания, при этом она подразделяется на приморскую и континентальную части, существенно отличающиеся по уровню дискомфорта воздействия на организм человека природно-климатических факторов [12]. Очевидно, что детальное изучение климатических условий и сопоставление их с различными функциональными параметрами дают возможность установить качественные особенности и количественные критерии ответных реакций организма в каждом регионе. В. П. Казначеев с соавт. подчеркивают, что в интегральной оценке экологических факторов различных климатогеографических регионов важно выделять прежде всего тот комплекс, который определяет специфику адаптационных изменений в организме человека и животных [8]. Особенности компенсаторно-приспособительных процессов при таком подходе используются как инструмент для

выявления одного или группы наиболее типичных физиологически значимых экологических факторов.

Проведенными комплексными исследованиями было показано, что вектор перестроек физиологических систем среди молодых уроженцев Севера в первом и последующих поколениях направлен на формирование новой для Северо-Востока России популяции из числа уроженцев-европеоидов, обозначенной нами как укорененные лица, «экологический портрет» и функциональные показатели которых отличаются от показателей и аборигенов, и мигрантов [19]. Ранее отмечалось, что юноши, родившиеся на Севере, но постоянно проживающие в различных климатических зонах Магаданской области, имеют существенные различия по целому ряду морфофункциональных показателей [18].

В связи с этим цель данной работы заключалась в выявлении и описании вектора адаптационных перестроек морфофункциональных показателей у мигрантов и укорененных уроженцев-европеоидов, проживающих в различных климатогеографических зонах Магаданской области.

Методы

В исследовании приняли участие 88 юношей в возрасте от 17 до 21 года, жители континентальной природно-климатической зоны Магаданской области (г. Сусуман). Все обследованные лица были разделены на 3 группы. Первую из них ($n = 20$) представляли мигранты-европеоиды из центральных районов страны со сроком проживания на Северо-Востоке от 5 до 10 лет, которую мы обозначили как адаптанты. Вторую группу составили укорененные лица (уроженцы) в 1-м поколении ($n = 39$), а третью — укорененные лица (уроженцы) во 2-м поколении ($n = 29$). При этом и у тех, и у других родители являлись мигрантами, прибывшими на Северо-Восток России в прошлом столетии. Исследования были проведены в 2009 году. В качестве контрольной группы были выбраны жители приморской природно-климатической зоны Магаданской области (г. Магадан), где аналогичным образом было выделено три группы испытуемых: мигранты-европеоиды (адаптанты, $n = 56$), укорененные лица в 1-м ($n = 924$) и во 2-м поколении ($n = 580$).

У обследуемых определяли основные соматометрические показатели: длину и массу тела, окружность грудной клетки с использованием медицинского ростомера и весов. По этим данным рассчитывали индекс Пинье (ИП, усл. ед.), характеризующий крепость телосложения [24]. Вычислялись индекс пропорциональности телосложения (ПТ, %), индекс массы тела (ИМТ, $\text{кг}/\text{м}^2$), площадь тела (S , см^2) и отношение массы тела к его площади (MT/S , $\text{кг}/\text{м}^2$).

На основе метода биоэлектрического сопротивления определяли общее содержание жира в организме (в % от массы тела) [27]. Для анализа функционального состояния сердечно-сосудистой системы в покое с помощью автоматического тонометра Nesei DS-1862 (Япония) производилось измерение показателей

систолического (САД, мм рт. ст.), диастолического (ДАД, мм рт. ст.) артериального давления, а также частоты сердечных сокращений (ЧСС, уд./мин). Расчетным путем определялось общее периферическое сопротивление сосудов (ОПС, $\text{дин}\cdot\text{с}\cdot\text{см}^{-5}$), ударный объем по Старру (УО, мл) и минутный объем крови (МОК, мл/мин) [24].

Для оценки ряда параметров системы внешнего дыхания и газообмена у юношей с помощью метабографа MedGraphics VO2000 (США) определялись уровни содержания кислорода (O_2 , %) и углекислого газа (CO_2 , %) в выдыхаемом воздухе, потребление кислорода (ПО_2 , мл/мин), минутный объем дыхания (МОД, л), частота дыхания (ЧД, цикл/мин), дыхательный объем (ДО, мл), энергзатраты в состоянии покоя (ккал/мин), дыхательный коэффициент (ДК, усл. ед.) и коэффициент использования кислорода (КИО_2 , мл/л). Легочные объемы и показатели вентиляции автоматически приводились к системе ВTPS, а величина потребления кислорода — к системе STPD.

Параметры внешнего дыхания регистрировались в открытой системе с помощью компьютерного спироанализатора КМ-АР-01 «Диамант-С» (Россия). Запись производилась в положении сидя в два этапа: первый включал в себя определение величины жизненной ёмкости лёгких (ЖЕЛ); на втором этапе измерялась величина форсированной ЖЕЛ (ФЖЕЛ). Все основные характеристики автоматически сравнивались с должными величинами, изначально заложенными в программном обеспечении аппарата и представляющими собой данные, полученные для популяции жителей Центрально-Европейской части России [9]. Оценку состояния системы внешнего дыхания обследуемых проводили на основании замеров и последующего анализа следующих показателей: ЖЕЛ (л); $\text{МОС}_{25\%}$, $\text{МОС}_{50\%}$, $\text{МОС}_{75\%}$ (л/с) на участке 25 %, 50 % и 75 % ФЖЕЛ.

Обследование юношей осуществлялось в помещении с температурой 18–21 °С в первой половине дня. Все юноши добровольно участвовали в исследованиях, которые проводились с соблюдением требований биомедицинской этики. Полученные результаты были подвергнуты статистической обработке с применением пакета прикладных программ «Statistica 7.0». Проверка на нормальность распределения измеренных переменных, осуществлявшаяся на основе теста Колмогорова — Смирнова, показала, что все полученные данные подчиняются закону нормального распределения. Результаты представлены в виде среднего значения (M) и ошибки средней арифметической (m). При статистической обработке материала использовался дисперсионный анализ с последующим попарным сравнением с помощью критерия Штеффеля. Критический уровень значимости (p) принимался при $p \leq 0,05$ [2].

Результаты

В табл. 1 представлены основные морфофункциональные показатели жителей континентальной зоны

области. Анализ приведенных данных показывает, что статистически значимые различия наблюдаются лишь для блока соматометрических параметров и выявляются в основном при сравнении мигрантов и лиц с наибольшим «стажем» адаптации организма к экстремальным факторам Северо-Востока России. Так, для испытуемых-уроженцев, представителей 2-го поколения, наблюдаются самые низкие значения массы тела и окружности грудной клетки, что, в свою очередь, ведет к снижению у них индекса массы тела, а также отношения массы тела к его площади. Наименьшие значения индекса Пинье отмечаются в группе юношей 2-го поколения, что свидетельствует

о снижении крепости телосложения у испытуемых данной группы. Из приведенных данных видно, что ни по одному из показателей сердечно-сосудистой системы, параметров газообмена и функции внешнего дыхания статистически значимых различий между лицами трех групп не наблюдается.

Если провести межгрупповое сравнение различных показателей организма в зависимости от климато-географической зоны проживания испытуемых, то можно увидеть, что по значительной части из них наблюдаются статистически значимые различия. Так, у юношей из г. Сусумана (относительно контрольной группы молодых людей г. Магадана, табл. 2) как

Таблица 1

Морфофункциональные показатели у адаптантов, уроженцев первого и второго поколения – жителей континентальной зоны Магаданской области (M ± m)

Показатель	Обследуемая группа			Уровень значимости различий между группами		
	Адаптанты (1) (n=20)	1 поколение (2) (n=39)	2 поколение (3) (n=29)	1–2	2–3	1–3
Масса тела, кг	69,6±1,4	67,2±1,5	65,8±1,2	p=0,995	p=0,995	p=0,043
Общее содержание жира, %	12,1±0,8	11,8±0,3	12,2±0,7	p=0,834	p=0,948	p=0,966
Длина тела, см	176,1±1,6	177,4±0,9	176,5±1,8	p=0,345	p=0,853	p=0,709
Окружность грудной клетки, см	91,4±1,1	88,5±0,8	88,0±1,2	p=0,0345	p=0,936	p=0,050
ИП, усл. ед.	17,2±2,5	23,7±2,1	23,9±2,0	p=0,046	p=0,836	p=0,045
ПТ, %	88,1±1,0	90,2±0,8	90,7±0,8	p=0,380	p=0,805	p=0,046
S, см ²	18509,2±378,2	18397,8±225,3	18099,0±291,9	p=0,834	p=0,996	p=0,899
ИМТ, кг/м ²	22,4±0,3	21,1±0,4	21,1±0,4	p=0,042	p=0,807	p=0,020
МТ/S, кг/м ²	37,5±0,5	36,4±0,4	36,3±0,4	p=0,896	p=0,894	p=0,049
САД, мм рт. ст.	132,6±4,0	132,8±2,1	133,0±1,6	p=0,999	p=0,999	p=0,998
ДАД, мм рт. ст.	74,3±2,1	75,2±1,7	76,1±1,8	p=0,770	p=0,764	p=0,474
ЧСС, уд./мин	72,9±3,4	73,8±2,4	74,8±3,3	p=0,999	p=0,995	p=0,996
УО, мл	74,7±2,0	73,7±1,4	72,5±2,1	p=0,671	p=0,591	p=0,277
МОК, мл/мин	5440,3±273,6	5422,7±120,3	5366,7±151,5	p=0,895	p=0,852	p=0,686
ОПС, дин·с·см ⁻⁵	1507,4±87,4	1528,1±38,9	1560,2±53,0	p=0,893	p=0,823	p=0,654
ДО, мл	596,7±45,8	567,9±24,5	529,1±25,4	p=0,994	p=0,855	p=0,866
ЧД, цикл / мин	15,6±1,1	15,4±0,8	15,8±0,8	p=0,791	p=0,988	p=0,769
Уровень CO ₂ в выдыхаемом воздухе, %	2,7±0,1	2,7±0,0	2,6±0,0	p=0,998	p=0,670	p=0,799
ДК, усл. ед.	0,6±0,0	0,6±0,0	0,6±0,0	p=0,482	p=0,988	p=0,549
ПО ₂ , мл/мин	345,6±16,4	340,9±16,7	313,0±16,6	p=0,990	p=0,696	p=0,857
МОД, л	8,7±0,4	8,5±0,4	8,0±0,3	p=0,968	p=0,798	p=0,751
КИО ₂ , мл/л	39,7±1,0	40,1±0,7	39,1±0,8	p=0,651	p=0,794	p=0,962
Энергозатраты в состоянии покоя, ккал/мин	1,8±0,1	1,8±0,1	1,6±0,1	p=0,989	p=0,692	p=0,857
Уровень O ₂ в выдыхаемом воздухе, %	16,5±0,1	16,4±0,1	16,6±0,1	p=0,652	p=0,795	p=0,962
ЖЕЛ, л	5,3±0,2	5,1±0,1	5,1±0,2	p=0,999	p=0,931	p=0,943
МОС _{25%} , л/с	8,5±0,4	8,6±0,2	8,4±0,3	p=0,756	p=0,997	p=0,845
МОС _{25%} , %	106±4,8	105±2,3	103±2,9	p=0,993	p=0,970	p=0,995
МОС _{50%} , л/с	6,3±0,3	6,5±0,2	6,0±0,3	p=0,560	p=0,723	p=0,985
МОС _{50%} , %	112±5,4	114±3,2	106±4,3	p=0,850	p=0,629	p=0,959
МОС _{75%} , л/с	4,2±0,1	4,3±0,2	4,1±0,3	p=0,674	p=0,953	p=0,861
МОС _{75%} , %	144±3,0	146±3,0	143±2,0	p=0,879	p=0,999	p=0,892

Примечание. Серым цветом обозначены значимые различия между показателями жителей континентальной и приморской зон проживания.

у мигрантов, так и у укорененных лиц 1-го и 2-го поколения проявляются признаки более глубоких приспособительных перестроек, характерных для лиц, проживающих в более экстремальных природно-климатических условиях континентальной части области. Из приведенных данных видно, что юноши-мигранты, проживающие в континентальной части, характеризуются более высокими параметрами общего содержания жира в организме, уровня крепости телосложения и индекса массы тела. При этом у представителей этой группы выявлены более низкие значения длины тела и индекса пропорциональности телосложения. Необходимо отметить, что при сопоставлении групп уроженцев 1-го и 2-го поколения, проживающих в различных природно-климатических зонах области,

по показателям длины тела, индекса Пинье, индекса массы и индекса пропорциональности телосложения значимые различия не выявлены.

Аналогичная тенденция отмечается относительно параметров сердечно-сосудистой системы. Так, юноши-мигранты, проживающие в приморской и континентальной зонах Магаданской области, не различаются по значениям систолического артериального давления. В то же время уроженцы 1-го и 2-го поколения г. Сусумана характеризуются более высокими показателями САД на фоне снижения данного показателя у молодых людей г. Магадана в процессе адаптации к условиям проживания в приморской климатической зоне. Напротив, у молодых людей, вновь прибывших в условия приморской зоны, выявлены более высокие

Таблица 2

Морфофункциональные показатели у адаптантов, уроженцев первого и второго поколения – жителей приморской зоны Магаданской области (M ± m)

Показатель	Обследуемая группа			Уровень значимости различий между группами		
	Адаптанты (1) (n=56)	1 поколение (2) (n=924)	2 поколение (3) (n=580)	1–2	2–3	1–3
Масса тела, кг	69,1±1,3	68,2±0,4	67,7±0,4	p=0,820	p=0,631	p=0,619
Общее содержание жира, %	10,2±0,6	11,1±0,2	10,7±0,2	p=0,525	p=0,600	p=0,784
Длина тела, см	179,5±0,8	177,8±0,2	178,5±0,3	p=0,041	p=0,205	p=0,569
Окружность грудной клетки, см	89,8±0,6	90,3±0,2	90,4±0,3	p=0,406	p=0,077	p=0,917
ИП, усл. ед.	23,0±1,8	21,2±0,5	22,2±0,6	p=0,630	p=0,061	p=0,998
ПТ, %	91,2±0,6	91,0±0,2	91,4±0,2	p=0,966	p=0,392	p=0,967
S, см ²	18687,7±176,7	18448,9±50,6	18448,6±62,2	p=0,525	p=0,999	p=0,535
ИМТ, кг/м ²	21,4±0,4	21,3±0,1	21,2±0,1	p=0,970	p=0,142	p=0,881
MT/S, кг/м ²	36,8±0,4	36,8±0,1	36,5±0,1	p=0,988	p=0,300	p=0,763
САД, мм рт. ст.	130,6±0,8	128,6±0,4	128,3±0,4	p=0,045	p=0,632	p=0,050
ДАД, мм рт. ст.	79,8±1,0	77,0±0,3	76,3±0,4	p=0,047	p=0,527	p=0,042
ЧСС, уд./мин	82,4±1,6	82,9±0,5	81,8±0,4	p=0,968	p=0,162	p=0,888
УО, мл	67,8±1,0	69,7±0,3	70,4±0,4	p=0,335	p=0,405	p=0,048
МОК, мл/мин	5564,2±123,1	5751,4±40,7	5722,0±51,4	p=0,560	p=0,912	p=0,671
ОПС, дин · с · см ⁻⁵	1498,1±42,4	1446,3±13,7	1443,4±15,8	p=0,656	p=0,981	p=0,636
ДО, мл	761,6±40,4	671,5±14,2	612,3±17,5	p=0,019	p=0,036	p=0,001
ЧД, цикл/мин	14,5±0,5	15,0±0,3	15,2±0,2	p=0,321	p=0,999	p=0,324
Уровень CO ₂ в выдыхаемом воздухе, %	3,77±0,07	3,67±0,04	3,54±0,06	p=0,468	p=0,977	p=0,047
ДК, усл. ед.	1,10±0,03	0,94±0,01	0,87±0,01	p=0,001	p=0,037	p=0,001
ПО ₂ , мл/мин	348,4±19,1	342,3±5,9	323,6±8,3	p=0,940	p=0,670	p=0,710
МОД, л	10,6±0,5	9,5±0,2	8,7±0,2	p=0,050	p=0,039	p=0,005
КИО ₂ , мл/л	32,9±0,6	36,0±0,3	37,2±0,4	p=0,049	p=0,037	p=0,020
Энергозатраты в состоянии покоя, ккал/мин	1,77±0,10	1,80±0,03	1,71±0,05	p=0,999	p=0,571	p=0,853
Уровень O ₂ в выдыхаемом воздухе, %	17,40±0,10	16,95±0,04	16,81±0,05	p=0,321	p=0,710	p=0,324
ЖЕЛ, л	5,00±0,08	5,13±0,02	5,12±0,02	p=0,580	p=0,982	p=0,631
МОС _{25%} , л/с	9,2±0,2	9,2±0,1	8,7±0,1	p=0,998	p=0,006	p=0,023
МОС _{25%} , %	113±1,9	110±0,5	105±0,6	p=0,763	p=0,043	p=0,047
МОС _{50%} , л/с	6,6±0,1	6,8±0,1	6,4±0,1	p=0,752	p=0,005	p=0,662
МОС _{50%} , %	116±2,3	117±0,7	111±0,9	p=0,987	p=0,040	p=0,038
МОС _{75%} , л/с	3,7±0,1	4,0±0,0	3,9±0,0	p=0,006	p=0,005	p=0,75
МОС _{75%} , %	139±3,2	141±1,0	138±1,3	p=0,048	p=0,092	p=0,878

показатели диастолического артериального давления относительно мигрантов г. Сусумана. У представителей 1-го и 2-го поколения из различных регионов Магаданской области разницы по ДАД не выявлено. Следует обратить внимание на более высокие показатели ЧСС у юношей г. Магадана во всех изучаемых группах. Молодые люди-адаптанты, а также представители 1-го поколения из внутриконтинентальной зоны области характеризуются статистически значимо более высокими показателями ударного объема крови, тогда как у представителей 2-го поколения данных различий не выявлено, так как наблюдается увеличение этого показателя у лиц приморской зоны в ряду от мигрантов к лицам с наибольшим «стажем» адаптации. Адаптанты, проживающие в приморской и континентальной частях области, не различаются по показателям минутного объема крови и общего периферического сопротивления сосудов, в то время как представители 1-го и 2-го поколения г. Сусумана характеризуются статистически значимо более низкими величинами МОК на фоне высоких показателей ОПС.

В отношении параметров газообмена установлено, что у юношей г. Сусумана вне зависимости от продолжительности проживания в условиях Севера отмечаются более низкие показатели ДО, МОД, КИО₂, а также концентрации O₂ и СО₂ в выдыхаемом воздухе. Отсутствие значимых изменений этих показателей свидетельствует о недостаточности исследованных сроков адаптации для формирования в динамике стойких функциональных изменений относительно сдвигов, характерных для острых адаптационных перестроек, происходящих в первые годы проживания в более экстремальных условиях воздействия на организм природно-климатических факторов внутриконтинентальной зоны. В этом отношении у жителей приморской части области гораздо больше выражена динамика межгрупповых изменений в работе физиологических систем, особенно заметная при сравнении мигрантов и лиц 2-го поколения.

Показатели функции внешнего дыхания (ФВД) у юношей обоих обследованных континентов, как правило, находятся выше должных значений, причем прослеживается тенденция последовательного увеличения данных величин в ряду от крупных к более мелким структурам бронхиального дерева легких. У лиц из приморской части области минимальные параметры ФВД наблюдаются, как правило, в отношении юношей 2-го поколения. В то же время у проживающих в континентальной зоне области ни по одному показателю не обнаруживается статистически значимых межгрупповых изменений. Если рассматривать различия между лицами одного и того же поколения, но проживающими в разных климатогеографических зонах, то можно увидеть, что проходимость крупных бронхов (МОС_{25%}) у юношей 2-го поколения из континентальной зоны статистически значимо ниже, чем у их сверстников из приморского региона. Вместе с тем во всех трех группах наблюдаются различия по проходимости

мелких бронхиол (МОС_{75%}) — у сусуманцев данный показатель во всех случаях оказывается выше, достигая своих максимальных значений у лиц 2-го поколения ($146,0 \pm 3,0$ %).

Обсуждение результатов

Анализируя полученные данные, можно констатировать, что направление адаптационных сдвигов системных физиологических реакций имеет ряд различий в зависимости от места проживания обследуемых лиц. Очевидным является то, что в континентальной зоне Магаданской области у организма вырабатывается отчетливая приспособительная реакция на более экстремальные условия внешней среды. Видно, что по ряду соматометрических показателей происходят постепенные адаптивные изменения в ряду от мигрантов к уроженцам 2-го поколения. Данные перестройки направлены на снижение относительной площади тела, что является необходимым механизмом при адаптации к условиям низких температур воздуха с целью снижения теплопотерь с поверхности тела. В то же время в отношении показателей сердечно-сосудистой, газотранспортной и респираторной систем организма нами установлены адаптивные сдвиги, проявляющиеся формированием компенсаторно-приспособительных перестроек уже у мигрантов, с отсутствием в дальнейшем значимых различий между ними и представителями 1-го и 2-го поколения.

В то же время у жителей приморской зоны наблюдается статистически значимая межгрупповая динамика, при которой функциональные изменения постепенно нарастают от мигрантов к группе представителей 2-го поколения и происходит компенсаторная системная мобилизация механизмов, направленных на увеличение доставки кислорода в ткани. Анализ литературы показал, что процесс регуляции дыхания и газообмена включает в себя этап приведения легочной вентиляции в соответствие с уровнем кислородного запроса организма, что необходимо для поддержания газового гомеостаза организма. Этот этап осуществляется двумя путями: рефлекторным и гуморальным. Филогенетически наиболее древним является гуморальный путь регуляции, основанный на ликвидации возникшего отклонения, а наиболее оперативным — рефлекторный путь [3]. В работе Г. С. Шишкина с соавт. [22] было показано, что вдыхание низкотемпературного воздуха вызывает ограничение легочной вентиляции вследствие уменьшения ДО, что связывается с рефлекторным торможением дыхательной мускулатуры под действием низких температур окружающей среды. Помимо этого более высокие показатели выделения СО₂ в выдыхаемом воздухе у жителей г. Магадана были отмечены и учеными из Новосибирска, данный факт авторы связывали с понижением чувствительности дыхательного центра к углекислому газу [26].

Важнейшим показателем деятельности дыхательной системы является коэффициент использования кислорода (КИО₂), отражающий количество кисло-

рода (в мл), извлекаемое из каждого литра атмосферного воздуха при дыхании, который характеризует эффективность деятельности системы транспорта кислорода в целом [7]. Более высокие показатели КИО₂ у молодых жителей континентальной зоны проживания свидетельствуют об оптимальном режиме утилизации кислорода из вдыхаемого воздуха, тогда как в группе юношей приморской зоны данные показатели находятся ниже нормативных величин, что является отражением меньшей эффективности внешнего дыхания, обусловленной затруднением диффузии кислорода через альвеолярно-капиллярную мембрану [13]. Минимальные показатели ДК в группе юношей, проживающих в г. Сусумане, свидетельствуют о формировании «северного» типа метаболизма, при котором организм переходит на качественно новый уровень гомеостаза, отличающийся большим использованием на энергетические нужды жиров и белков и меньшим использованием углеводов [4, 14, 15]. По мнению В. И. Хаснулина [20], формирование «северного» метаболического типа может быть связано с переходом на новый тип энергообеспечения, необходимого для проживания в экстремальных условиях Севера.

Хотя различий по показателям ПО₂ у юношей разных зон проживания в наших исследованиях не выявлено, необходимо подчеркнуть его более высокие значения (до 25 %) относительно физиологической нормы, характерной для жителей средних широт [17]. При этом нужно отметить отсутствие значимой динамики ПО₂ в ряду от адаптантов к уроженцам 2-го поколения у юношей обеих сравниваемых зон. Учитывая, что уровень ПО₂ является важной физиологической характеристикой, отражающей скорость обмена веществ, интенсивность окислительных реакций, можно предположить, что повышенные его значения у молодых жителей Магаданской области отражают единый вектор направленности физиологических систем в борьбе с холодовой гипоксией и энергетическим обеспечением организма на фоне повышенного кислородного запроса. При этом у жителей приморской зоны данный уровень достигается путем повышения легочной вентиляции и снижением хемочувствительности дыхательного центра к углекислоте [26], тогда как в группе юношей — жителей внутриконтинентальной зоны этот процесс в значительной степени обеспечивается повышенным газообменом в нижних отделах легких (значения МОС_{75%}) и эффективным механизмом утилизации кислорода (высокие значения КИО₂). При этом за счет повышения воздухоносности легких увеличиваются потенциальные возможности снабжения организма кислородом в целом, которые в полной степени реализуются в борьбе с тканевой гипоксией (более высокие значения КИО₂). Данная стратегия мобилизации резервных возможностей ФВД является одним из механизмов, обеспечивающих формирование адаптивной устойчивости к экстремальным климатогеографическим факторам центральной части Магаданской области.

В ряде исследований показано, что у вновь прибывших в экстремальные условия проживания адаптация часто носит компромиссный характер [6, 10, 23, 25], т. е. обеспечение эффективности одних физиологических систем происходит за счет активации и перенапряжения других. Так, установлено, что приспособление к климатоконтрастным изменениям окружающей среды обеспечивает удовлетворение энергетических нужд организма за счет снижения эффективности регуляции сердечно-сосудистой и дыхательной систем [11]. Характер полученных изменений в наших исследованиях свидетельствует о том, что снижение функции газотранспортной системы у юношей континентальной зоны проживания, проявляющееся более низкими показателями легочной вентиляции (МОД на 18 %), уровня выделения углекислого газа в выдыхаемом воздухе (на 28 %) на фоне выраженного напряжения в деятельности сердечно-сосудистой системы (повышение САД и ОПС на 4 и 8 % соответственно) компенсируется у них повышением проходимости мелких бронхов (на 5 %) и коэффициента использования кислорода (на 21 %). В целом нужно отметить, что такая перестройка регуляции дыхания и кровообращения является важным механизмом, удерживающим гомеостаз на оптимальном уровне, необходимом для проживания в экстремальных климатических условиях.

Данная стратегия может рассматриваться как некоторый вариант адаптации, при котором у лиц, находящихся в континентальной природно-климатической зоне области (по сравнению с приморской ее частью), большинство параметров организма вынуждено перестраиваться для более оптимального функционирования в суровых условиях проживания. Таким образом, можно говорить о некоем адаптивном рывке, когда наблюдается максимальное задействование резервов организма жителей внутриконтинентальной зоны с первых лет проживания, в дальнейшем слабо изменяющееся и не зависящее от продолжительности нахождения в данных условиях.

Список литературы

1. Агаджанян Н. А., Петрова Г. П. Человек в условиях Севера. М. : КРУК, 1996. 208 с.
2. Боровиков В. П. Statistica. Искусство анализа данных на компьютере: для профессионалов. СПб. : Питер, 2003. 688 с.
3. Бреслав И. С., Пятин В. Ф. Регуляция дыхания // Физиология дыхания. СПб. : Наука, 1994. С. 416—420.
4. Влощинский П. Е. Состояние углеводного и жирового обменов, их взаимосвязь со структурой питания у жителей Крайнего Севера : автореф. дис. ... д-ра мед. наук. Новосибирск, 1999. 36 с.
5. Гудков А. Б., Попова О. Н., Лукманова Н. Б. Эколого-физиологическая характеристика климатических факторов Севера. Обзор литературы // Экология человека. 2012. № 1. С. 12—17.
6. Гудков А. Б., Небученных А. А., Попова О. Н. Показатели деятельности сердечно-сосудистой системы у военнослужащих учебного центра Военно-морского флота

России в условиях Европейского Севера // Экология человека. 2008. № 1. С. 39–43.

7. Евдокимов В. Г. Функциональное состояние сердечно-сосудистой и дыхательной систем человека на Севере : автореф. дис. ... д-ра биол. наук. Сыктывкар, 2004. 34 с.

8. Казначеев В. П., Акулов А. И., Кисельников А. А., Мингазов И. Ф. Выживание населения России. Проблемы «Сфинкса XXI века». Новосибирск : Изд-во Новосибирского университета, 2003. 463 с.

9. Клемент Р. Ф., Лаврушин А. А., Тер-Погосян П. А., Котегов Ю. М. Инструкция по применению формул и таблиц должных величин основных спирографических показателей. Л. : МЗ СССР, ВНИИ пульмонологии, 1986. 79 с.

10. Кривошеков С. Г., Леутин В. П., Диверт В. Э. и др. Системные механизмы адаптации и компенсации // Бюллетень СО РАМН. 2004. № 2. С. 148–153.

11. Кривошеков С. Г., Роч Р. С., Диверт Г. М. Физиологические механизмы дыхания и терморегуляции на ранней адаптации к холоду // Физиология человека. 1993. Т. 19, № 6. С. 51–59.

12. Максимов А. Л. Концептуальные и методические подходы к комплексному районированию территорий с экстремальными условиями проживания. Магадан : СВНЦ ДВО РАН, 2006. 54 с.

13. Неверова Н. П. Состояние вегетативных функций у здоровых людей в условиях Крайнего Севера : автореф. дис. ... д-ра мед. наук. Новосибирск, 1972. 39 с.

14. Панин Л. Е. Гомеостаз и проблемы приполярной медицины (методологические аспекты адаптации) // Бюллетень СО РАМН. 2010. Т. 30, № 3. С. 6–11.

15. Панин Л. Е. Энергетические аспекты адаптации. Л. : Медицина, 1978. 192 с.

16. Пилясов А. Н. Население Колымско-магаданского промышленного района: эколого-географический подход к исследованию. Магадан : СВКНИИ ДВО РАН, 1990. 160 с.

17. Попова О. Н. Характеристика адаптивных реакций внешнего дыхания у молодых лиц трудоспособного возраста, жителей Европейского Севера : автореф. дис. ... д-ра. мед. наук. Москва, 2009. 39 с.

18. Суханова И. В., Вдовенко С. И., Максимов А. Л. Морфофункциональные особенности организма юношей, проживающих в различных климатогеографических зонах Магаданской области // Экология человека. 2010. № 3. С. 24–30.

19. Суханова И. В., Максимов А. Л., Вдовенко С. И. Особенности адаптации у юношей Магаданской области: морфофункциональные перестройки (сообщение 1) // Экология человека. 2013. № 8. С. 3–10.

20. Чащин В. П., Гудков А. Б., Попова О. Н., Одланд Ю. О., Ковшов А. А. Характеристика основных факторов риска нарушений здоровья населения, проживающего на территориях активного природопользования в Арктике // Экология человека. 2014. № 1. С. 3–12.

21. Хаснулин В. И. Введение в полярную медицину. Новосибирск : СО РАМН, 1998. 337 с.

22. Шишкин Г. С., Петрунев С. А., Преображенская В. К. Особенности вентиляции легких при дыхании низкотемпературным воздухом // Физиология человека. 1995. Т. 21, № 2. С. 61–66.

23. Шишкин Г. С., Преображенская В. К., Куличевский Д. В. Мобилизация функционального резерва респираторных отделов легких при адаптации к климатическим факторам Севера // Очерки по экологической физиологии. Новосибирск, 1999. С. 112–118.

24. Юрьев В. В., Симаходский А. С., Воронович Н. Н.,

Хомич М. М. Рост и развитие ребенка. СПб. : Питер, 2003. 272 с.

25. Якименко М. А. Критерии адаптации человека к холоду // Бюллетень СО АМН СССР. 1981. № 6. С. 43–45.

26. Якименко М. А., Симонова Т. Г., Пичкуров А. М., Татауров Ю. А. Влияние адаптации к холоду на показатели внешнего дыхания при гиперкапнии // Физиология человека. 1989. Т. 15, № 5. С. 148–155.

27. De Lorenzo A., Andreoli A., Matthie J., Withers P. Predicting body cell mass with bioimpedance by using theoretical methods: a technological review // Journal of Applied Physiology. 1997. Vol. 82 (5). P. 1542–1558.

References

1. Agadzhanyan N. A., Petrova G. P. *Chelovek v usloviyakh Severa* [The man under northern conditions]. Moscow, 1996. 208 p.

2. Borovikov V. P. *Statistica. Iskusstvo analiza dannykh na komp'yutere: dlya professionalov* [Statistica. The art of computer data analysis: for professionals]. Saint Petersburg, 2003, 688 p.

3. Breslav I. S., Pyatin V. F. *Regulyatsiya dykhaniya* [Respiratory regulation]. In: *Fiziologiya dykhaniya* [Respiratory physiology]. Saint Petersburg, 1994, pp. 416-420.

4. Vloshchinskiy P. E. *Sostoyanie uglevodnogo i zhirovogo obmenov, ikh vzaimosvyaz' so strukturoy pitaniya u zhiteley Kraynego Severa. Avtoref. dokt. diss.* [State of carbohydrate and lipid metabolisms, their connection with nutrition system of residents of the Extreme North. Author's Abstract of Doct. Diss.]. Novosibirsk, 1999, 36 p.

5. Gudkov A. B., Popova O. N., Lukmanova N. B. Ecological-physiological characteristic of Northern climatic factors. Literature review. *Ekologiya cheloveka* [Human Ecology]. 2012, 1, pp. 12-17. [in Russian]

6. Gudkov A. B., Nebuchennyh A. A., Popova O. N. Indices of cardiovascular system activity in military men from Russian navy training center in conditions of European North. *Ekologiya cheloveka* [Human Ecology]. 2008, 1, pp. 39-43. [in Russian]

7. Evdokimov V. G. *Funktsional'noe sostoyanie serdechno-sosudistoi i dykhatel'noi sistem cheloveka na Severe. Avtoref. dokt. diss.* [Functional state of cardiovascular and respiratory systems of humans in the North (Author's Abstract of Doct. Diss.)]. Syktyvkar, 2004, 34 p.

8. Kaznacheev V. P., Akulov A. I., Kisel'nikov A. A., Mingazov I. F. *Vyzhivanie naseleniya Rossii. Problemy "Sfinksa XXI veka"* [Survival of Russia's population. Problems of "Sphinx of XXI century"]. Novosibirsk, 2003, 463 p.

9. Klement R. F., Lavrushin A. A., Ter-Pogosyan P. A., Kotevov Yu. M. *Instruktsiya po primeneniyu formul i tablits dolzhnykh velichin osnovnykh spirograficheskikh pokazatelei* [Guidelines for using formulas and tables of proper values of basic spirographic indices]. Leningrad, 1986, 79 p.

10. Krivoshchekov S. G., Leutin V. P., Divert V. E. i dr. System mechanisms of adaptation and compensation. *Byulleten' SO RAMN* [Bulletin of Siberian Branch of Russian Academy of Medical Sciences]. 2004, 2, pp. 148-153. [in Russian]

11. Krivoshchekov S. G., Rouch R. S., Divert G. M. Physiological mechanisms of respiration and thermoregulation at early adaptation to cold. *Fiziologiya cheloveka* [Human Physiology]. 1993, 19 (6), pp. 51-59. [in Russian]

12. Maksimov A. L. *Kontseptual'nye i metodicheskie podkhody k kompleksnomu rayonirovaniyu territoriy s ekstremal'nymi usloviyami prozhivaniya* [Conceptual and

methodical approaches to complex zoning of territories with extreme conditions of living]. Magadan, 2006, 54 p.

13. Neverova N. P. *Sostoyanie vegetativnykh funktsii u zdorovykh lyudei v usloviyakh Krainego Severa. Avtoref. dokt. diss.* [Vegetative functions' state in healthy people in the Extreme North. Author's Abstract of Doct. Diss.]. Novosibirsk, 1972, 39 p.

14. Panin L. E. Homeostasis and circumpolar medicine issues (methodological aspects of adaptation). *Byulleten' SO RAMN* [Bulletin of Siberian Branch of Russian Academy of Medical Sciences]. 2010, 30 (3), pp. 6-11. [in Russian]

15. Panin L. E. *Energeticheskie aspekty adaptatsii* [Energetic aspects of adaptation]. Leningrad, 1978, 192 p.

16. Pilyasov A. N. *Naselenie Kolymско-magadanskogo promyshlennogo rayona: ekologo-geograficheskiy podkhod k issledovaniyu* [Population of Kolyma-Magadan industrial region: ecological-geographic approach to the study]. Magadan, 1990, 160 p.

17. Popova O. N. *Kharakteristika adaptivnykh reaktivnykh vneshnego dykhaniya u molodykh lits trudospobnogo vozrasta, zhitelei Evropeiskogo Severa. Avtoref. dokt. diss.* [Characteristics of external respiration adaptive reactions in young able-bodied persons living in the European North, Author's Abstract of Doct. Diss.]. Moscow, 2009, 39 p.

18. Sukhanova I. V., Vdovenko S. I., Maksimov A. L. Morphofunctional profiles observed in male subjects inhabiting different climato-geographic areas of Magadan region. *Ekologiya cheloveka* [Human Ecology]. 2010, 3, pp. 24-30. [in Russian]

19. Sukhanova I. V., Maksimov A. L., Vdovenko S. I. Peculiarities of Adaptation Observed in Young Male Residents of Magadan Region. Morphofunctional Changes (Report 1) *Ekologiya cheloveka* [Human Ecology]. 2013, 8, pp. 3-10. [in Russian]

20. Chashhin V. P., Gudkov A. B., Popova O. N., Odland J. Ö., Kovshov A. A. Description of Main Health Deterioration Risk Factors for Population Living on Territories

of Active Natural Management in the Arctic. *Ekologiya cheloveka* [Human Ecology]. 2014, 1, pp. 3-12. [in Russian]

21. Khasnulin V. I. *Vvedenie v polyarnuyu meditsinu* [Introduction to polar medicine]. Novosibirsk, 1998, 337 p.

22. Shishkin G. S., Petrunev S. A., Preobrazhenskaya V. K. Lung ventilation at breathing low temperature air. *Fiziologiya cheloveka* [Human Physiology]. 1995, 21 (2), pp. 61-66. [in Russian]

23. Shishkin G. S., Preobrazhenskaya V. K., Kulichevskiy D. V. *Mobilizatsiya funktsional'nogo rezerva respiratornykh otdelov legkikh pri adaptatsii k klimaticheskim faktoram Severa. V kn. Ocherki po ekologicheskoy fiziologii* [Mobilization of functional capabilities of respiratory part of lung at adaptation to the climatic factors of the North. In Essays on ecological physiology]. Novosibirsk, 1999, pp. 112-118.

24. Yuryev V. V., Simakhodskiy A. S., Voronovich N. N., Khomich M. M. *Rost i razvitie rebenka* [Growth and developments of a child]. Saint Petersburg, 2003, 272 p.

25. Yakimenko M. A. Criteria of human adaptation to cold. *Byulleten' SO AMN SSSR* [Bulletin SB AMS USSR]. 1981, 6, pp. 43-45. [in Russian]

26. Yakimenko M. A., Simonova T. G., Pichkurov A. M., Tataurov Yu. A. Influence of adaptation to cold on the values of external respiration at hypercapnia. *Fiziologiya cheloveka* [Human Physiology]. 1989, 15 (5), pp. 148-155. [in Russian]

27. De Lorenzo A., Andreoli A., Matthie J., Withers P. Predicting body cell mass with bioimpedance by using theoretical methods: a technological review. *Journal of Applied Physiology*. 1997, 82 (5), pp. 1542-1558.

Контактная информация:

Максимов Аркадий Леонидович — член-корреспондент РАН, директор НИЦ «Арктика» ДВО РАН
 Адрес: 685000, г. Магадан, ул. К. Маркса, д. 24
 Тел. (8 4132) 62-06-28
 E-mail: arkmax@mail.ru