

ФИЗИЧЕСКАЯ АНТРОПОЛОГИЯ

УДК 572

DOI: 10.33876/2311-0546/2025-3/347-361

Научная статья

© А. К. Горбачева, Е. А. Калюжный, Т. К. Федотова

НОВЫЕ МАТЕРИАЛЫ К ПРОБЛЕМЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ КОРРЕЛЯЦИОННОГО АНАЛИЗА В СОВРЕМЕННОЙ АНТРОПОЭКОЛОГИИ

Корреляция рассматривается как надежный индикатор приспособительной изменчивости в популяциях. Анализируется структура корреляций морфофункциональных показателей детей и подростков 9, 13 и 15 лет в связи с возрастанием уровня антропогенной нагрузки места жительства. Материал (N=5145) собран в 21 районе Нижегородской области в 2010–2012 годах. Программа включает антропометрические размеры (длина и масса тела, обхват груди), расчетные показатели (ИМТ, площадь поверхности тела Дюбуа), физиометрические (ЖЕЛ, динамометрия левой и правой кисти); гемодинамические показатели (систолическое и диастолическое артериальное давление, частота сердечных сокращений, индекс функциональных изменений по Берсеновой и Баевскому), уровень глюкозы в крови. Корреляционные матрицы рассматривались для четырех экологических кластеров, выделенных с использованием индекса антропогенной нагрузки (Ян). Результаты. Показано суммарное по полу и возрасту увеличение числа внутрисистемных и межсистемных морфофункциональных корреляций в связи с возрастанием уровня антропогенной нагрузки: 186 на фоне удовлетворительной экологической ситуации, 228 на фоне напряженной. Эффект наиболее явно выражен для детей обоего пола 9-ти лет и мальчиков-подростков 13-ти лет. Число достоверных корреляций меньше у девочек в любом возрасте, особенно для 13-летних подростков — 156 и 125 для мальчиков и девочек соответственно. Подтверждено положение корреляционной адаптометрии об увеличении соизменчивости физиологических и морфологических переменных при изменении экологической нагрузки и появлении экстремальных для организма факторов, возрастании напряжения механизмов адаптации организма при усилении стрессовой нагрузки. Показана большая экокчувствительность мальчиков сравнительно с

Горбачева Анна Константиновна — к. б. н., старший научный сотрудник, МГУ им. М. В. Ломоносова, НИИ и Музей антропологии, (Российская Федерация, 125009 Москва, ул. Моховая, 11). Эл. почта: angoria@yandex.ru ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0001-5201-7128>

Калюжный Евгений Александрович — к. б. н., доцент, Приволжский исследовательский медицинский университет (Российская Федерация, 603005 Нижний Новгород, пл. Минина и Пожарского, 10/1). Эл. почта: eakmail@mail.ru ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-0792-1190>

Федотова Татьяна Константиновна — д. б. н., ведущий научный сотрудник, МГУ им. М. В. Ломоносова, НИИ и Музей антропологии (Российская Федерация, 125009 Москва, ул. Моховая, 11). Эл. почта: tatiana.fedotova@mail.ru ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0001-7750-7924>

* Исследование выполнено в рамках темы НИР «Антропология евразийских популяций (биологические аспекты)» (AAAA-A19-119013090163-2).

большей резистентностью девочек. Подтверждена информативность корреляционного анализа для целей возрастной экологии.

Ключевые слова: антропологическая изменчивость, дети школьного возраста, морфофункциональный статус, уровень антропогенного стресса, межсистемные связи, приспособительная изменчивость

Ссылка при цитировании: Горбачева А. К., Калужный Е. А., Федотова Т. К. Новые материалы к проблеме эффективности корреляционного анализа в современной антропоэкологии // Вестник антропологии. 2025. № 3. С. 347–361.

UDC 572

DOI: 10.33876/2311-0546/2025-3/347-361

Original Article

© Anna Gorbacheva, Evgeniy Kaluzhniy, Tatyana Fedotova

THE STRUCTURE OF MORPHOFUNCTIONAL CORRELATIONS AMONG CHILDREN AND ADOLESCENTS AS A MIRROR OF THE ANTHROPOGENIC PRESSURE IN THE DEVELOPMENTAL NICHE

Correlation is interpreted as a valid marker of a population's adaptive variability. The paper focuses on the correlation structure of morphofunctional indices of children aged 9, 13, and 15 years in connection with the level of anthropogenic pressure at the place of residence. The data (n=5137) were collected in 21 districts of the Nizhniy Novgorod region in 2010–2012. The protocol included anthropometric dimensions (height, weight, chest girth), BMI, and body surface area (Du Bois method), physiometric indices (VC, left and right hand-held dynamometry), hemodynamic parameters (systolic and diastolic pressure, heart rate, Berseneva/Baevskiy indice of functional changes), glucose level. Correlation matrices were analyzed for 4 ecological clusters, separated by the anthropogenic pressure index (API). The total increase in the number of significant inter- and intrasystem morphofunctional correlations connected with the increase in the anthropogenic pressure level is the following: 186 in the ecologically satisfactory cluster, and 228 when the ecological situation is tense. The effect is more significant for children aged 9 years independent of sex, and male adolescents aged 13 years. The number of significant correlations is lower for girls independent of age, especially at 13 years, when the number is 156 for males and 125 for females. The study confirms the main statement of the correlation adaptometry that the number of associations of physiological and morphological parameters is associated with changes in ecological pressure. Boys tend to be more ecologically sensitive compared to girls, who are more resistant. The paper proves the efficiency of correlation analysis for the purposes of modern ecology.

Keywords: biological anthropology, schoolchildren, morphofunctional status, level of anthropogenic pressure, intersystem correlations, adaptive variability

Authors Info: Gorbacheva, Anna K. — Ph.D., Senior Research Scientist, Lomonosov Moscow State University, Anuchin Institute and Museum of Anthropology (Moscow, Russian Federation). E-mail: angoria@yandex.ru ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0001-5201-7128>

Kalyuzhny, Evgeniy A. — Ph.D., Professor, the Privolzhsky Research Medical University (Nizhny Novgorod, Russian Federation). E-mail: eakmail@mail.ru ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-0792-1190>

Fedotova, Tatyana K. — Doctor of Biology, Professor, Lomonosov Moscow State University, Anuchin Institute and Museum of Anthropology (Moscow, Russian Federation). E-mail: tatiana.fedotova@mail.ru ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0001-7750-7924>

For citation: Gorbacheva, A. K., E. A. Kaluzhniy, and T. K. Fedotova. 2025. The Structure of Morphofunctional Correlations Among Children and Adolescents as a Mirror of the Anthropogenic Pressure in the Developmental Niche. *Herald of Anthropology (Vestnik Antropologii)* 3: 347–361.

Funding: The research was carried out within the framework of the planned theme “Anthropology of Eurasian Populations (Biological Aspects)” (AAAA-A19-119013090163-2).

Введение

Корреляция является информативным индикатором механизмов интеграции при характеристике внутри- и межсистемных связей (Малиновский 1948; Дерябин 2007), что позволяет считать корреляционный анализ надежным алгоритмом анализа приспособительной изменчивости в популяциях, находящихся в разных средовых условиях и на разных стадиях адаптированности (Гудкова 2017а; Гудкова 2017б). В выборках из популяций, физиологический гомеостаз которых под давлением экстремальной экологической ситуации нарушен, наблюдается дифференцированное проявление устойчивых связей; процент достоверных связей в основном увеличивается в популяциях, проживающих в экстремальных средовых условиях (Гудкова 2008; Гудкова 2014). Возрастание количества и величин корреляций может свидетельствовать о нарушении физиологического гомеостаза популяций, в соизменчивости признаков разной природы обнаруживается проявление полового диморфизма (Гудкова 2017б). Эти наблюдения находятся в полном соответствии с положениями метода корреляционной адаптотрии (Смирнова 2000): при пребывании популяции в экологически благоприятной или привычной среде соизменчивость физиологических переменных будет ниже, чем при изменении экологической нагрузки и появлении экстремальных для организма факторов. А также с тем фактом, что в неблагоприятных условиях повышается размах изменчивости показателей и между ними возникают более жесткие связи (Ростова 2002).

Представленные тезисы касаются популяционного разнообразия физиологических (показатели крови) и морфофизиологических (как системы более высокого иерархического уровня) корреляций в контрастных естественных климатогеографических условиях и относятся к возрастному контингенту 20–50 лет. В задачу собственного исследования входит методологически близкая задача: попытка установить изменчивость корреляционной структуры морфофункциональных показателей детей школьного возраста, проживающих в районах с контрастными уровнями антропогенной нагрузки, и более тесную соизменчивость показателей на фоне увеличения уровня антропогенного стресса. Заметим, что во многих современных работах по возрастной экологии, рассматривающих соматические и функциональные показатели в качестве индикаторов уровня экологического стресса среды обитания,

как природного, так и антропогенного, можно найти ссылки на известную консервативность сомы, особенно длины тела как интегрального показателя скелетного развития, в противовес функциональным показателям (ЖЕЛ, индекс Руфье, вегетативная регуляция сердечной деятельности) (Демидова 2011; Корсаков 2012; Половко 2009; Лоскутова 2015; Вдовенко 2017; Аверьянова 2021).

Материалы и методы

Выборка охватывает 5145 детей обоего пола 7–17 лет. Материал собран в рамках плановых медицинских осмотров в школах в 21 районе Нижегородской области, в 2010–2012 гг. с соблюдением правил биоэтики (подписание протоколов информированного согласия родителями, использование деперсонифицированных индивидуальных данных). Нижегородская область — одна из самых индустриальных областей России, промышленность является самым мощным загрязнителем всех компонентов окружающей среды. Существование тесной взаимосвязи между геохимическим состоянием местности и здоровьем населения привело к необходимости экологического нормирования территории. В настоящем исследовании теснота корреляционных связей морфофункциональных показателей рассматривалась для четырех разных экологических кластеров, выделенных с использованием индекса антропогенной нагрузки на основе учета ключевых факторов, деформирующих окружающую среду, и состояния социоэкономических систем (Гелашвили и др. 2003): кластер 1 — относительно удовлетворительная экологическая ситуация; кластер 2 — умеренно напряженная экологическая ситуация; кластер 3 — напряженная экологическая ситуация; кластер 4 — критическая экологическая ситуация. В число рассматриваемых морфофункциональных показателей вошли габаритные антропометрические размеры (длина и масса тела (ДТ, МТ), обхват груди (ОГК)); некоторые расчетные показатели (индекс массы тела ИМТ, площадь поверхности тела Дюбуа (ППТ)); физиометрические (жизненная емкость легких (ЖЕЛ), динамометрия левой и правой кисти (ДнП, ДнЛ)); гемодинамические показатели (систолическое и диастолическое артериальное давление (САД, ДАД), частота сердечных сокращений (ЧСС), индекс функциональных изменений по Берсеновой и Баевскому (ИФИ)); уровень глюкозы в крови (Глк). Соизменчивость соматических и функциональных показателей анализировалась отдельно для мальчиков и девочек, отдельно для однолетних возрастных групп. В статье рассматриваются три контрастные возрастные группы: 9 лет — примерно середина периода второго детства, относительно «нейтральный» возраст, минимальные скорости ростовых процессов на всем протяжении онтогенеза от момента полуростового скачка до момента пубертатного скачка роста; 13 лет — подростковый период, возраст пубертатного ускорения роста; 15 лет — окончание подросткового периода, замедление темпов роста, завершение полового созревания. В качестве дополнительного индикатора «межкластерных» различий привлечен половой диморфизм (ПД) размеров тела; для его количественной оценки использовано расстояние Кульбака (Кульбак 1967), аналог расстояния Махаланобиса, выражающее ПД любого размера в долях средних квадратических отклонений. В ряде работ показано, что при увеличении уровня антропогенной нагрузки ПД размеров тела увеличивается в связи с большей экосенситивностью мужской части выборки (Blum 2014), хотя это правило имеет исключения (Gustafsson, Lindenfors 2004; Gustafsson et al. 2007).

Результаты

В Табл. 1–4 представлена корреляционная структура морфофункциональных показателей мальчиков 9 лет в четырех контрастных по степени экологического благополучия зонах.

Сравнение корреляционных матриц позволяет сделать следующие наблюдения. Число достоверных корреляций существенно увеличивается при увеличении уровня антропогенной нагрузки при переходе от кластера 1 к кластерам 2 и 3: кластер 1–22 из 78, кластер 2–37 из 78, кластер 3–49 из 78. В четвертом кластере частота достоверных корреляций вновь уменьшается — 40 из 78, но превышает таковую для кластера 1. Уровень корреляций в целом не зависит от уровня антропогенной нагрузки. Наиболее тесные внутрисистемные связи (корреляции уровня 0,7–0,9) обнаруживаются для блока антропометрических размеров (в комплексе с расчетными показателями ППТ и ИМТ), вне зависимости от уровня антропогенной нагрузки. Внутрисистемные связи гемодинамических показателей и физиометрических показателей имеют уровень 0,2–0,8 и 0,3–0,8 соответственно; при этом изменчивость ЖЕЛ имеет автономную вариацию в кластере 1, но связана с показателями гемодинамики в кластерах 2–4, а в кластере 3 также и с антропометрическими показателями (корреляции уровня 0,4). Изменчивость показателя уровня глюкозы также автономна в кластерах 1 и 3, обнаруживая связи с антропометрическими размерами в кластере 2 и 4. Уровень любых межсистемных связей (антропометрия-физиометрия, физиометрия-гемодинамика и т. д.) не превышает в большинстве случаев величины 0,3–0,4. Напомним читателям, что вкладу одного показателя в изменчивость другого соответствует коэффициент детерминации, который представляет собой квадрат коэффициента корреляции. Следовательно, вклад, например, антропометрических показателей в вариации физиометрических не превышает 0,09–0,16. Такие скромные цифры, с одной стороны, подтверждают, что изменчивость показателей, с которыми возрастные физиологи имеют дело в повседневной практике, определяется большим числом факторов, каждый из которых вносит свою небольшую лепту в эту вариабельность. С другой стороны, свидетельствуют о незыблемости фундаментальных научных положений о необходимости автономности разных систем признаков внутри конституциональной целостности организма, которая является залогом его адаптивной пластичности (Шмальгаузен 1982) (Табл. 1–4).

Уровни корреляций различаются несущественно в разных половозрастных группах и экологических кластерах, различия фиксируются в частоте достоверных корреляций (Табл. 5).

Как видно из таблицы, общее число достоверных корреляций несколько меньше у девочек в любом возрасте, особенно велики различия для 13–15-летних подростков. С точки зрения корреляционной адаптометрии это свидетельствует о большем напряжении механизмов адаптации у мальчиков. Равным образом, число достоверных корреляций в среднем увеличивается с увеличением уровня антропогенной нагрузки в кластерах 2 и особенно 3 на фоне кластера 1 с удовлетворительной экологической обстановкой. С привлечением критерия хи-квадрат Пирсона было показано, что частоты достоверных корреляций неслучайно менялись от одного экологического кластера к другому для ЖЕЛ, систолического и диастолического давления и уровня глюкозы у 9-летних мальчиков (критерий хи-квадрат=22,22, 11,75, 8,39, 9,60; $p=0,00$, 0,00, 0,04, 0,02 соответственно; $df=3$), и для длины тела, ЖЕЛ, динамоме-

Таблица 1

Корреляционная структура морфофункциональных показателей, рассчитанная для мальчиков 9 лет из группы с удовлетворительной экологической ситуацией*. N=39

	ДТ	МТ	ИМТ	ПШТ	ОГК	ЖЕЛ	ДнП	ДнЛ	САД	ДАД	ЧСС	Глк.	ИФИ
ДТ	1,00	0,57*	0,01	0,72*	0,44*	-0,16	0,39*	0,42*	0,19	0,14	-0,09	-0,02	-0,20
МТ		1,00	0,82*	0,98*	0,71*	-0,01	0,49*	0,50*	0,09	0,15	-0,20	0,07	-0,29
ИМТ			1,00	0,69*	0,58*	0,09	0,31	0,31	-0,04	0,08	-0,17	0,10	-0,22
ПШТ				1,00	0,70*	-0,05	0,50*	0,52*	0,11	0,15	-0,18	0,06	-0,29
ОГК					1,00	-0,20	0,35*	0,43*	0,07	0,04	-0,23	0,10	-0,26
ЖЕЛ						1,00	0,23	0,27	-0,02	-0,07	0,23	-0,20	0,10
ДнП							1,00	0,71*	0,11	0,12	0,16	0,14	0,01
ДнЛ								1,00	0,19	-0,01	0,03	0,04	-0,06
САД									1,00	0,59*	0,05	-0,04	0,75*
ДАД										1,00	0,05	0,12	0,64*
ЧСС											1,00	-0,30	0,56*
Глк.												1,00	-0,13
ИФИ													1,00

*Расшифровка условных обозначений приведена в тексте статьи в разделе «Материалы и методы»

Таблица 2
Корреляционная структура морфофункциональных показателей, рассчитанная для мальчиков 9 лет из группы с умеренно напряженной экологической ситуацией*. N=44

	ДТ	МТ	ИМТ	ППТ	ОГК	ЖЕЛ	ДнП	ДнЛ	САД	ДАД	ЧСС	Глк.	ИФИ
ДТ	1,00	0,59*	0,16	0,74*	0,57*	0,20	0,40*	0,29	0,08	0,01	0,10	0,39*	-0,20
МТ		1,00	0,89*	0,98*	0,94*	0,28	0,51*	0,52*	0,32*	0,33*	0,21	0,34*	0,05
ИМТ			1,00	0,78*	0,83*	0,21	0,38*	0,46*	0,32*	0,38*	0,19	0,21	0,16
ППТ				1,00	0,92*	0,28	0,53*	0,50*	0,28	0,28	0,19	0,38*	-0,02
ОГК					1,00	0,25	0,41*	0,42*	0,35*	0,29	0,36*	0,33*	0,16
ЖЕЛ						1,00	0,19	0,29	-0,12	-0,08	-0,30*	0,00	-0,36*
ДнП							1,00	0,79*	0,11	0,27	0,11	0,11	0,00
ДнЛ								1,00	0,13	0,33*	0,12	0,03	0,05
САД									1,00	0,60*	0,41*	0,18	0,79*
ДАД										1,00	0,07	0,20	0,48*
ЧСС											1,00	-0,05	0,78*
Глк.												1,00	-0,04
ИФИ													1,00

*Расшифровка условных обозначений приведена в тексте статьи в разделе «Материалы и методы»

Таблица 3
Корреляционная структура морфофункциональных показателей, рассчитанная для мальчиков 9 лет из группы с напряженной экологической ситуацией*. N=135

	ДТ	МТ	ИМТ	ПШТ	ОГК	ЖЕЛ	ДнП	ДнЛ	САД	ДАД	ЧСС	Глк.	ИФИ
ДТ	1,00	0,70*	0,39*	0,80*	0,54*	0,47*	0,36*	0,29*	0,35*	0,26*	-0,10	-0,07	-0,23*
МТ		1,00	0,93*	0,99*	0,91*	0,41*	0,34*	0,28*	0,37*	0,28*	0,04	0,07	-0,15
ИМТ			1,00	0,86*	0,89*	0,28*	0,25*	0,21*	0,30*	0,23*	0,11	0,10	-0,07
ПШТ				1,00	0,87*	0,44*	0,36*	0,30*	0,39*	0,30*	0,02	0,03	-0,17*
ОГК					1,00	0,40*	0,31*	0,27*	0,30*	0,28*	0,10	0,15	-0,10
ЖЕЛ						1,00	0,33*	0,34*	0,25*	0,21*	0,06	0,06	-0,00
ДнП							1,00	0,80*	0,19*	0,06	0,04	0,07	-0,04
ДнЛ								1,00	0,15	0,02	0,07	0,04	-0,03
САД									1,00	0,63*	0,24*	0,01	0,64*
ДАД										1,00	0,26*	0,08	0,61*
ЧСС											1,00	-0,06	0,74*
Глк.												1,00	-0,01
ИФИ													1,00

*Расшифровка условных обозначений приведена в тексте статьи в разделе «Материалы и методы»

Таблица 4

Корреляционная структура морфофункциональных показателей, рассчитанная для мальчиков 9 лет из группы с критической экологической ситуацией*. N=43

	ДТ	МТ	ИМТ	ППТ	ОГК	ЖЕЛ	ДнП	ДнЛ	САД	ДАД	ЧСС	Глк.	ИФИ
ДТ	1,00	0,73*	0,33*	0,82*	0,44*	0,21	0,17	0,06	0,29	0,34*	0,30	0,31*	0,05
МТ		1,00	0,88*	0,99*	0,77*	0,18	0,35*	0,38*	0,46*	0,32*	0,28	0,43*	0,18
ИМТ			1,00	0,81*	0,78*	0,11	0,37*	0,49*	0,43*	0,22	0,20	0,39*	0,21
ППТ				1,00	0,73*	0,19	0,32*	0,32*	0,44*	0,33*	0,30	0,43*	0,15
ОГК					1,00	0,04	0,48*	0,58*	0,56*	0,39*	0,17	0,12	0,34*
ЖЕЛ						1,00	-0,06	-0,08	-0,25	0,04	-0,20	0,01	-0,37*
ДнП							1,00	0,79*	0,43*	0,25	-0,01	0,01	0,27
ДнЛ								1,00	0,40*	0,24	0,17	0,01	0,35*
САД									1,00	0,68*	0,16	0,10	0,85*
ДАД										1,00	-0,02	0,18	0,63*
ЧСС											1,00	0,13	0,47*
Глк.												1,00	0,02
ИФИ													1,00

*Расшифровка условных обозначений приведена в тексте статьи в разделе «Материалы и методы»

трии для правой руки, систолического давления и ЧСС у 9-летних девочек (критерий хи-квадрат=8,38, 17,12, 10,29, 18,95, 17,34; $p=0,04, 0,00, 0,02, 0,00, 0,00$; $df=3$), т. е. примерно в 30–40% случаев. Однако для 13- и 15-летних детей этот процент значительно ниже — около 8% в 13 лет (и только у девочек), и по 15% в 15 лет у детей обоего пола. Т. о., изменение частот достоверных корреляций при увеличении экологической нагрузки для детей 13 и 15 лет нельзя считать строго доказанным.

Таблица 5

Частоты достоверных корреляций морфологических и функциональных показателей в разных половозрастных группах в связи с уровнем антропогенной нагрузки

Эколог. кластер	Число корреляций/доля						
	9 лет		13 лет		15 лет		Итог
	М (N=261)	Д (N=234)	М (N=222)	Д (N=292)	М (N=187)	Д (N=282)	
1	22/0,28	20/0,26	32/0,41	38/0,49	44/0,56	30/0,38	186/0,40
2	37/0,47	52/0,67	36/0,46	36/0,46	25/0,32	32/0,41	218/0,47
3	49/0,63	43/0,55	45/0,58	21/0,27	42/0,54	28/0,36	228/0,49
4	40/0,51	26/0,34	43/0,55	30/0,38	37/0,47	24/0,31	200/0,43
Итог	148/0,47	141/0,45	156/0,50	125/0,40	148/0,47	114/0,37	832/0,45

Исходя из положений корреляционной адаптометрии об увеличении тесноты связей между признаками на фоне увеличения среднего стресса, можно, основываясь на изменении частот достоверных корреляций (см. Табл. 5), говорить о некотором напряжении адаптивного потенциала детского организма в кластере 2, что в наибольшей степени демонстрируют девочки 9 лет, и особенно в кластере 3, что наиболее явно выражено для детей обоего пола 9-ти лет и мальчиков-подростков 13 лет. Менее значительное число достоверных корреляций в кластере 4 с критическим уровнем антропогенной нагрузки сравнительно с кластерами 2 и 3, по-видимому, связано с небольшим числом детей и подростков, проживающей в этих районах Нижегородской области, в анализируемом массиве данных. Этот результат нуждается в дополнительной проверке. Подчеркнем, что увеличение числа достоверных корреляций на фоне усиления уровня экологического стресса касается как внутрисистемных, так и, что более актуально, межсистемных корреляций, что хорошо характеризует картину увеличения адаптивного напряжения. Особо, видимо, следует отметить появление достоверных межсистемных корреляций показателя ИФИ, индикатора адаптивного напряжения организма, с антропометрическими и физиометрическими признаками в кластерах 2–4.

Обсуждение

Выявленные в работе закономерности — увеличение числа достоверных морфофункциональных корреляций в связи с возрастанием уровня антропогенной нагруз-

ки и зависимость этого эффекта от возраста и пола детей — носят преимущественно характер тенденций. При отсутствии большого числа статистически достоверных различий физического статуса по экологическому вектору полученные результаты, тем не менее, представляются биологически содержательными и биологически логичными, подтверждая факт усиления адаптивного напряжения организма на фоне возрастания уровня антропогенного стресса. Не исключено, что отсутствие более «ярких» статистически достоверных различий связано с умеренной экологической контрастностью зон (представляющих одну компактную административную единицу РФ), которая может быть достаточно информативна для оценки связи между геохимическим состоянием местности и здоровьем населением, но в меньшей степени убедительна при оценке адаптивной изменчивости процессов морфофункциональной дифференцировки детей и подростков.

Таблица 6

Результаты факторного анализа морфофункциональных признаков, проведенного для мальчиков 9 лет из группы с напряженной экологической ситуацией. N=135

	Фактор 1	Фактор 2	Фактор 3	Фактор 4
ДТ	0,71*	-0,05	0,29	-,38
МТ	0,98*	0,02	0,14	0,00
ИМТ	0,90*	0,06	0,03	0,18
ППТ	0,97*	0,01	0,18	-0,09
ОГК	0,92*	0,05	0,12	0,15
ЖЕЛ	0,41	0,11	0,44	-0,15
ДнП	0,20	0,01	0,90*	0,04
ДнЛ	0,14	0,01	0,92*	0,03
САД	0,37	0,73*	0,12	-0,15
ДАД	0,32	0,74*	-0,03	-0,05
ЧСС	-0,04	0,72*	0,06	0,09
Глк.	0,10	0,00	0,07	0,89*
ИФИ	-0,18	0,98*	-0,02	0,05
Общ. дис.	4,56	2,57	2,03	1,07
Доля общ	0,35	0,20	0,16	0,08

Хотелось бы отметить, что корреляционный анализ как основной прием статистической обработки материала в настоящей работе, при всей его кажущейся рутинности, оказался для цели исследования более чувствительным и адекватным, чем многомерные статистические методы. Так, информативным и востребованным статистическим методом для анализа совместной изменчивости показателей внутри одной системы признаков или между разными системами признаков является факторный анализ (Окунь 1974; Иберла 1980; Дерябин 2008). Однако в нашем случае он оказывается мало

информативен. Результаты факторного анализа оказываются практически идентичны в нашей работе для разных половозрастных групп в разных экологических кластерах. В качестве примера приводим результаты «эталонного» факторного анализа морфофункциональных показателей для мальчиков 9 лет в кластере 3 (Табл. 6).

Первый фактор описывает совместную изменчивость антропометрических показателей (более 35% общей изменчивости), имеет высокие нагрузки уровня 0,7–0,9 на показатели длины и массы тела, обхвата груди, ИМТ и ППТ. Второй фактор описывает совместную изменчивость гемодинамических показателей (более 19% общей изменчивости) и имеет высокие нагрузки уровня 0,7–0,9 на показатели систолического и диастолического артериального давления, ЧСС и ИФИ. Третий — изменчивость показателей динамометрии (нагрузки уровня 0,9), четвертый — независимую изменчивость уровня глюкозы. В общей сложности все четыре фактора описывают почти 80% общей изменчивости рассматриваемых признаков. Совместная изменчивость признаков разных систем (антропометрия плюс физиометрические показатели и т. д.), таким образом, приходится на оставшиеся 20% и остается за рамками факторного анализа, поскольку графический критерий отсеивания Кеттела диктует принимать во внимание только первые 4 фактора, описывающие основную долю общей изменчивости рассматриваемых показателей. Поэтому оценка специфики межсистемных связей как индикатора напряжения адаптивных механизмов организма оказывается в нашем случае гораздо более убедительной при использовании корреляционного анализа.

В качестве дополнительной иллюстрации адаптивной изменчивости детского организма в связи с уровнем экологического стресса была проведена оценка значений ПД антропометрических показателей (длина и масса тела, обхват груди) как индикатора разной по полу экочувствительности для детей 9, 13 и 15 лет в четырех экологических кластерах. Здесь трудно выявить систематические различия. Однако обращает на себя внимание значительный ПД по показателям обхвата груди у детей 9 лет, которые достоверно выше у мальчиков в кластерах 2 и особенно 4 (расстояние Кульбака 0,32 и 0,55 соответственно). В 13 лет наибольшие значения ПД отмечаются в кластере 3 — значения длины тела и обхвата груди достоверно ниже у мальчиков (расстояние Кульбака имеет отрицательный знак и величину 0,46 и 0,37 соответственно) (Рис. 1).

В 15 лет мальчики значительно обгоняют девочек по весоростовым показателям, особенно по длине тела, в экологических кластерах 1, 2, 3 (Рис. 2).

Такая картина свидетельствует, что изменчивость ПД габаритных размеров тела связана не столько с экологическим фактором, сколько воспроизводит классические половые различия ростовых процессов, разные стратегии адаптации двух полов, большую акцелерированность процессов роста и развития и более раннее их завершение у девочек сравнительно с мальчиками.

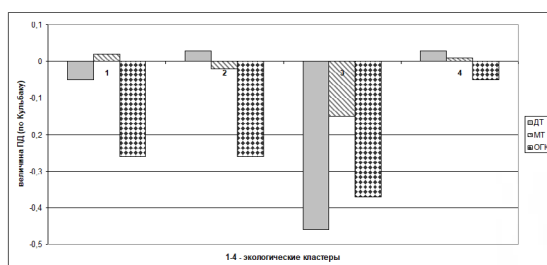


Рис. 1. Величины полового диморфизма длины и массы тела и окружности груди у детей 13 лет из экологических кластеров 1–4. Ось Y — величина полового диморфизма антропометрических признаков (расстояние Кульбака)

Заключение

Выявленная в работе закономерность увеличения частоты достоверных внутрисистемных и особенно межсистемных корреляций морфофункциональных показателей детей в связи с усилением уровня антропогенной нагрузки места жительства подтверждает тезис об увеличении соизменчивости физиологических и морфологических переменных при изменении экологической нагрузки и появлении экстремальных для организма факторов, возрастании напряжения механизмов адаптации организма при усилении стрессовой нагрузки. Показано, что эффект антропоэкологических взаимодействий зависит от возраста и пола обследуемых, что свидетельствует о разных по полу механизмах адаптации в процессе роста и развития детей и подростков; несколько большей экочувствительности мальчиков и большей резистентности девочек. Результаты работы, помимо прочего, подтверждают, что корреляционный анализ является не только статистическим алгоритмом, но и эффективным общетеоретическим инструментом анализа антропологических и медицинских массивов данных, информативным для целей возрастной экологии.

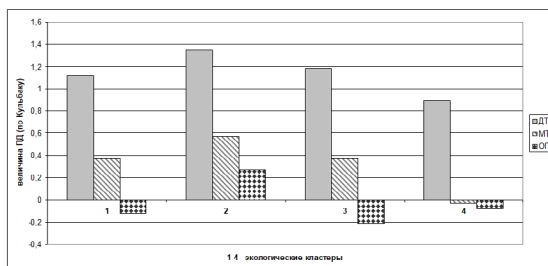


Рис. 2. Величины полового диморфизма длины и массы тела и окружности груди у детей 15 лет из экологических кластеров 1–4. Ось Y — величина полового диморфизма антропометрических признаков (расстояние Кульбака)

Научная литература

- Аверьянова И. В. Региональные особенности морфофункциональных перестроек организма и аллостатической нагрузки у европеоидов-уроженцев различных поколений Северо-Востока России. Автореф. дис. ... докт. биол. наук. Магадан, 2021. 43 с.
- Вдовенко С. И. Особенности функции внешнего дыхания у юношей-постоянных жителей различных климатогеографических зон Северо-Востока России. Автореф. дис. ... канд. биол. наук. Магадан, 2017. 23 с.
- Гелашивили Д. Б., Басуров В. А., Розенберг Г. С., Моничев А. Я., Пуртов И. И., Сидоренко В. В. Экологическое зонирование территорий с учетом роли сохранившихся естественных экосистем (на примере Нижегородской области) // Поволжский экологический журнал. 2003. № 2. С. 99–108.
- Гудкова Л. К. Изменчивость как понятие и как основное содержание физиологической (экологической) антропологии. Часть II // Вестник Московского университета. Серия XXIII. Антропология. 2014. № 4. С. 4–17.
- Гудкова Л. К. Корреляционный анализ и его значение в экологической антропологии. Часть I // Вестник Московского университета. Серия XXIII. Антропология. 2017а. № 3. С. 27–35.
- Гудкова Л. К. Корреляционный анализ и его значение в экологической антропологии. Часть II // Вестник Московского университета. Серия XXIII. Антропология. 2017б. № 4. С. 4–16.
- Гудкова Л. К. Популяционная физиология человека. М.: ЛКИ, 2008. 313 с.
- Демидова Т. В. Влияние экологических условий на особенности м/ф развития детей школьного возраста Республики Бурятия. Дис. ... канд. биол. наук. Барнаул, 2011. 175 с.
- Дерябин В. Е. Курс лекций по многомерной биометрии для антропологов. М.: Биологический факультет МГУ, 2008. 332 с.
- Дерябин В. Е. Курс лекций по элементарной биометрии для антропологов. М.: ООО Петро-руш, 2007. 253 с.

- Иберла К. Факторный анализ. М.: Статистика, 1980. 398 с.
- Корсаков А. В. Комплексная эколого-гигиеническая оценка состава среды как фактора риска для здоровья населения. Автореф. дис. ... докт. биол. наук. Брянск, 2012. 46 с.
- Кульбак С. Теория информации и статистики. М.: Наука, 1967. 363 с.
- Лоскутова А. Н. Возрастные и типологические особенности вариабельности сердечного ритма у аборигенов и уроженцев-европеоидов Магаданской области. Автореф. дис. ... канд. биол. наук. Магадан, 2015. 21 с.
- Малиновский А. А. Элементарные корреляции и изменчивость человеческого организма // Труды Института цитологии, гистологии и эмбриологии. 1948. Вып. 1. С. 136–198.
- Окунь Я. Факторный анализ. М.: Статистика, 1974. 200 с.
- Половко Ю. И. Особенности адаптации к условиям внешней среды у подростков, проживающих в различных экологических регионах. Дис. ... канд. мед. наук. Саратов, 2009. 177 с.
- Ростова Н. С. Корреляции: структура и изменчивость. СПб, 2002. 308 с.
- Смирнова Е. В. Моделирование адаптации к экстремальным условиям, эффект группового стресса и корреляционная адаптометрия. Дисс. ... докт. физ.-мат. наук. Красноярск, 2000. 275 с.
- Шмальгаузен И. И. Организм как целое в индивидуальном и историческом развитии. М.: Наука, 1982. 324 с.
- Blum M. Estimating Male and Female Height Inequality // *Economics and Human Biology*. 2014. № 14. P. 103–108. <https://doi.org/10.1016/j.ehb.2013.03.002>
- Gustafsson A., Lindenfors P. Human Size Evolution: No Evolutionary Allometric Relationship Between Male and Female Stature // *The Journal of Human Evolution*. 2004. 47 (4). P. 253–266. <https://doi.org/10.1016/j.jhevol.2004.07.004>
- Gustafsson A., Werdelin L., Tullberg B. S., Lindenfors P. Stature and Sexual Stature Dimorphism in Sweden, from the 10th to the End of the 20th Century // *American Journal of Human Biology*. 2007. Vol. 19. № 6. P. 861–870. <https://doi.org/10.1002/ajhb.20657>

References

- Averianova, I. V. 2021. *Regional'nye osobennosti morfofunktsional'nykh perestroek organizma i allostaticheskoi nagruzki u evropeoidov-urozhentsev razlichnykh pokolenii Severo-Vostoka Rossii* [Regional Features of Morphofunctional Reorganizations of the Organism and of the Allostatic Load in Caucasians — Natives of Different Generations of Northeast of Russia]. Doctoral diss. abstract, NITS «Arktika» DVO RAN. 43 p.
- Blum, M. 2014. Estimating Male and Female Height Inequality. *Economics and Human Biology* 14: 103–108. <https://doi.org/10.1016/j.ehb.2013.03.002>
- Demidova, T. V. 2011. *Vliianie ekologicheskikh uslovii na osobennosti m/f razvitiia detei shkol'no-go vozrasta Respubliki Buriatii* [Impact of Ecological Conditions on Morphofunctional Development Features of Schoolchildren of Republic of Buryatia]. Ph.D. diss., Krasnoyarskii gosudarstvennyi pedagogicheskii universitet im. V. P. Astafieva. 175 p.
- Deriabin, V. E. 2007. *Kurs lektsii po elementarnoi biometrii dlia antropologov* [The Course of Lectures on Basic Biometrics for Anthropologists]. Moscow: OOO Petrorush. 253 p.
- Deriabin, V. E. 2008. *Kurs lektsii po mnogomernoi biometrii dlia antropologov* [The Course of Lectures on Multivariate Biometrics for Anthropologists]. Moscow: Biologicheskii fakultet MGU. 332 p.
- Gelashvili, D. B., V. A. Basurov, G. S. Rozenberg, A. Ya. Monichev, I. I. Purtov et al. 2003. *Ekologicheskoe zonirovaniye territorii s uchetoм roli sokhranivshikhsia estestvennykh ekosistem (na primere Nizhegorodskoi oblasti)* [Ecological Zoning of Territories based on the Role Remaining Natural Ecosystems (using Nizhny Novgorod Region Data)]. *Povolzhskii ekologicheskii zhurnal* 2: 99–108.
- Gudkova, L. K. 2008. *Populatsionnaia fiziologiya cheloveka* [Human Population Physiology]. Moscow: LKI. 313 p.
- Gudkova, L. K. 2014. *Izmenchivost' kak poniatie i kak osnovnoe sodержание fiziologicheskoi (ekologicheskoi) antropologii* [Variability as a Concept and as the Main Content of the Physiological (Ecological) Anthropology]. *Vestnik Moskovskogo universiteta. Seriya XXIII. Antropologiya* 4: 4–17.

- Gudkova, L. K. 2017a. Korreliatsionnyi analiz i ego znachenie v ekologicheskoi antropologii. Chast' I [The Correlation Analysis and its Significance in Ecological Anthropology. Part I]. *Vestnik Moskovskogo universiteta. Seriya XXIII. Antropologiya* 3: 27–35.
- Gudkova, L. K. 2017b. Korreliatsionnyi analiz i ego znachenie v ekologicheskoi antropologii. Chast' II [The Correlation Analysis and its Significance in Ecological Anthropology. Part II]. *Vestnik Moskovskogo universiteta. Seriya XXIII. Antropologiya* 4: 4–16.
- Gustafsson, A., and P. Lindenfors. 2004. Human Size Evolution: No Evolutionary Allometric Relationship Between Male and Female Stature. *The Journal of Human Evolution*. 47(4): 253–266. <http://doi.org/10.1016/j.jhevol.2004.07.004>
- Gustafsson, A., L. Werdelin, B. S. Tullberg, P. Lindenfors. 2007. Stature and Sexual Stature Dimorphism in Sweden, from the 10th to the End of the 20th Century. *American Journal of Human Biology*. 19(6): 861–870. <https://doi.org/10.1002/ajhb.20657>
- Iberla, K. 1980. *Faktornyi analiz* [Factor Analysis]. Moscow: Statistika. 398 p.
- Korsakov, A. V. 2012. *Kompleksnaia ekologo-gigienicheskaia otsenka sostava sredy kak faktora riska dlia zdorov'ia naseleniia* [Complex Ecological and Hygienic Assessment of the Environment Structure as the Public Health Risk Factor]. Doctoral diss. abstract, Bryanskii gosudarstvennyi universitet imeni akademika I. G. Petrovskogo. 46 p.
- Kullbak, S. 1967. *Teoriia informatsii i statistiki* [Theory of Information and Statistics]. Moscow: Nauka. 363 p.
- Loskutova, A. N. 2015. *Vozrastnye i tipologicheskie osobennosti variabel'nosti serdechnogo ritma u aborigenov i urozhentsev-evropeoidov Magadanskoi oblasti* [Age and Typological Features of Heart Rate Variability of Aboriginal People and Caucasians — Natives of Magadan Region]. Ph.D. diss. abstract, NITS «Arktika» DVO RAN. 21 p.
- Malinovskii, A. A. 1948. Elementarnye korreliatsii i izmenchivost' chelovecheskogo organizma [Basic Correlations and Variability of Human Organism]. *Trudy Instituta tsitologii, gistologii i embriologii* 1: 136–198.
- Okun, Ya. 1974. *Faktornyi analiz* [Factor Analysis]. Moscow: Statistika. 200 p.
- Polovko, Yu. I. 2009. *Osobennosti adaptatsii k usloviyam vneshnei sredy u podrostkov, prozhivaiushchikh v razlichnykh ekologicheskikh regionakh* [Features of Adaptation to Environmental Conditions in Adolescents — Residents of Different Ecological Regions]. Ph.D. diss., Stavropolskii gosudarstvennyi universitet Federalnogo agentstva po obrazovaniu. 177 p.
- Rostova, N. S. 2002. *Korreliatsii: struktura i izmenchivost'* [Correlations: Structure and Variability]. Saint Petersburg: Izdatelstvo Sankt-Peterburgskogo universiteta. 308 p.
- Shmalgauzen, I. I. 1982. *Organizm kak tseloe v individual'nom i istoricheskom razvitii* [The Organism as a Whole in Its Individual and Historic Development]. Moscow: Nauka. 324 p.
- Smirnova, E. V. 2000. *Modelirovanie adaptatsii k ekstremal'nym usloviyam, effekt gruppovogo stressa i korreliatsionnaia adaptometriia* [Modelling of Adaptation to Extreme Conditions, Group Stress Effect and Correlation Adaptometry]. Doctoral diss., Institut meditsinskikh problem Severa SO RAMN. 275 p.
- Vdovenko, S. I. 2017. *Osobennosti funktsii vneshnego dykhaniia u iunoshei-postoiannykh zhitel'ei razlichnykh klimatogeograficheskikh zon Severo-Vostoka Rossii* [Peculiarities of External Respiration Function in Young Men — Permanent Residents of Different Climatic and Geographical Areas of Northeast of Russia]. Ph.D. diss. abstract, NITS «Arktika» DVO RAN. 23 p.