

## КОРРЕЛЯЦИОННЫЙ АНАЛИЗ И ЕГО ЗНАЧЕНИЕ В ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ АНТРОПОЛОГИИ. ЧАСТЬ II

Л.К. Гудкова

*МГУ имени М.В. Ломоносова, НИИ и Музей антропологии, Москва*

*Введение. Основная цель второй части статьи о значении корреляционного анализа в изучении приспособительной изменчивости состоит в объяснении популяционного разнообразия физиологических и морфофизиологических корреляций с точки зрения физиологического гомеостаза.*

*Материалы и методы. Анализируются внутригрупповые корреляции физиологических признаков и физиологических с морфологическими, полученные в выборках из популяций, живущих в различающихся экологических условиях. Уровни физиологических показателей крови – гемоглобина, глюкозы, сывороточных протеинов (общего белка, альбумина,  $\alpha_1$ -,  $\alpha_2$ -,  $\beta$ -,  $\gamma$ -глобулинов) и общего холестерина определены стандартными спектрофотометрическими методами. Методика измерения и вычисления морфологических признаков соответствует стандартам НИИ и Музея антропологии МГУ.*

*Результаты и обсуждение. В итоге изучения физиологических и морфофизиологических корреляций получены устойчивые связи, которые свойственны большинству популяций; в соизменчивости разных признаков обнаружено проявление полового диморфизма; выявлен приспособительный характер ряда корреляций. Установлено, что разнообразие корреляций зависит от физиологического гомеостаза, который может менять тесноту и направление связи от популяции к популяции. Давление изменчивой внешней среды вызывает не только физиологический стресс, но влияет и на устойчивые морфофизиологические корреляции: происходит разрушение одних связей и образование других. Для интерпретации результатов изучения соизменчивости физиологических признаков на популяционном уровне метод корреляционной адаптометрии не дает какой-либо дополнительной и значимой информации.*

*Заключение. Дифференцированное проявление корреляций определяют экологически реактивные физиологические признаки, которые «лежат в основе всех адаптаций» [Шмальгаузен, 1968]. Наблюдаемое явление имеет важный биологический смысл в оценке приспособленности популяций к меняющейся внешней среде.*

*Ключевые слова: экологическая антропология, приспособительная изменчивость, физиологический гомеостаз, холистический подход, корреляционный анализ, корреляционная адаптометрия*

### Введение

Во второй части статьи, посвященной изучению соизменчивости количественных признаков [Гудкова, 2017], обсуждаются итоги применения корреляционного метода в популяционной физиологии человека.

Напомню, что основным содержанием популяционной физиологии человека (одного из разделов экологической антропологии) является системный принцип изучения физиологического гомеостаза. В соответствии с концепцией У. Кеннона о физиологическом гомеостазе на уровне отдельного организма [Cannon, 1932] физиологический гомеостаз в

популяциях человека – это способность популяции сохранять динамическую стабильность физиологического статуса в меняющихся условиях окружающей среды. С точки зрения холистического подхода физиологический статус определяется как совокупность физиологических переменных, взаимосвязанных на организменном уровне и скоррелированных на популяционном [Гудкова, 2008; 2010].

Структурная и функциональная целостность организма определяет существование целесообразных взаимосвязей между превращениями белков, жиров и углеводов [Мак-Мюррей, 1980; Хочачка, Сомеро, 1988]. Однако рациональность взаимосвязей не предполагает тесного сцепления показателей

внутренней среды организма, так как в этом случае разрушение одного из звеньев системы может вызвать необратимые изменения в жизнедеятельности всего организма. Чрезмерно большая степень связи, как и нарушение связи, приводит к дезинтеграции системы [Месарович, 1971]. Подобное явление наблюдается при различных патологических состояниях организма, когда перемены в одном цикле метаболических реакций приводят к изменениям в других метаболических циклах [Галлер, Ганефельд, Яросс, 1979]. Поэтому не следует ожидать высоких корреляций между уровнями физиологических показателей крови, характеризующих отдельные метаболические свойства организма и принимающих участие в разнообразных энергетических процессах. Но «с исследовательской точки зрения малые корреляции, если они реальны, очень немного уступают по своему значению корреляциям большого размера» [Малиновский, 1948, с. 155]. Степень связи и ее направленность по причине высокой реактивности физиологических процессов могут меняться от популяции к популяции. Это свойство физиологических переменных влияет не только на разнообразие их внутрисистемных корреляций, но и на их корреляции с признаками систем других иерархических уровней организма.

Таким образом, при холистическом подходе для характеристики системных и межсистемных отношений корреляция рассматривается в качестве одного из существенных механизмов интеграции. По этой причине корреляционный анализ представляется весьма информативным приемом изучения приспособительной изменчивости в популяциях, находящихся в различных средовых условиях и на разных стадиях адаптированности.

### Материалы и методы

В статье обсуждаются материалы, собранные в 1970–1988 годах при обследовании населения, живущего в аридной зоне (туркмены, каракалпаки, казахи), в арктической зоне (береговые чукчи, эскимосы), в умеренной (камчадалы, мигранты Камчатки, хакасы), а также в среднегорье (киргизы, таджики). В разные годы экспедициями руководили Т.И. Алексеева, О.М. Павловский и И.В. Перевозчиков.

Климато-географические особенности регионов проживания обследованных нами групп населения были неоднократно рассмотрены в ряде публикаций [например, Гудкова, 2008, 2014] и поэтому кажется нецелесообразным в очередной раз уделять им внимание. Напомню лишь, что естественно-

средовые факторы аридной и арктической зон относятся к экстремальным, под воздействием которых в организме человека возникает состояние «динамического рассогласования» [Медведев, 1979], что в первую очередь приводит к изменению физиологических реакций.

Анализируются уровни следующих физиологических показателей крови: гемоглобина, глюкозы, общего холестерина и сывороточных протеинов (общего белка, альбумина,  $\alpha_1$ -,  $\alpha_2$ -,  $\beta$ -,  $\gamma$ -глобулинов). Нет необходимости останавливаться здесь на их физиологических и биохимических свойствах, так как их биологическая значимость обсуждалась неоднократно [Гудкова, 2008, 2014] и будет частично затронута в последующем изложении. Тем не менее, следует заметить, что это количественные фенотипические экосенситивные признаки, способные меняться в пределах своей нормы реакции. Их стабильность и изменчивость отражают состояние физиологического гомеостаза популяций. Содержание перечисленных выше показателей крови определялись автором методами, современными на период обследования: электрофоретическим, рефрактометрическим, денситометрическим и спектрофотометрическим. К сожалению, измерение уровня глюкозы было включено в программу комплексных исследований не сразу и поэтому сделано только в выборках из населения, живущего в умеренной зоне, и у туркменских мужчин, обследованных весной – в комфортный для человеческого организма сезон. По причине неполного набора признаков для корреляционного анализа в выборках таджиков и киргизов показатели этих групп представлены фрагментарно.

Для изучения соизменчивости разносистемных признаков были использованы данные по морфологии, собранные антропологами – участниками экспедиций (их имена перечислены в конце статьи). В набор морфологических признаков вошли восемь признаков, характеризующих тотальные размеры тела, и десять признаков, которые представляют три системы, отражающие развитие жировой, мышечной и костной тканей. Дублирование признаков, относящихся к определенной системе, было вызвано необходимостью получить достоверную информацию, не зависящую от методических случайностей и особенностей материала. Методика их измерения и вычисления соответствует стандартам НИИ и Музея антропологии МГУ имени М.В. Ломоносова.

Возраст обследованных 20–50 лет (средний возраст в отдельных когортах колеблется от 31 года до 36); объем выборок – от 50 до 150 человек, кроме группы каракалпакских женщин, численность которой составляют 27 человек.

Таблица 1. Коэффициенты парной корреляции уровней физиологических показателей крови

Выборки	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Коэффициенты корреляции (r) уровней холестерина и общего белка											
Мужчины	0,31*	0,38**	0,41**	0,29**	0,49**	0,28**	0,39**	-0,03	0,51**	0,36**	0,30*
Женщины	–	–	–	0,22*	-0,07	0,30**	0,21	0,24	0,29**	0,36**	0,04
Коэффициенты корреляции (r) уровней холестерина и $\beta$ -глобулинов											
Мужчины	0,33**	0,16	0,46**	0,15	0,36**	0,34**	0,42**	0,05	0,36**	0,01	0,37**
Женщины	–	–	–	0,16	0,10	0,33**	0,45**	0,24	0,30**	0,29**	0,10

Примечания. 1 – таджики; 2 – киргизы; 3 – туркмены, обследованные до наступления экстремального климатического сезона; 4 – туркмены, обследованные во время экстремального климатического сезона; 5 – каракалпаки; 6 – казахи; 7 – хакасы; 8 – камчадалы; 9 – мигранты Камчатки; 10 – береговые чукчи; 11 – эскимосы. Достоверность корреляций: \*  $p < 0,05$ ; \*\*  $p < 0,01$ .

Для расчетов и графических построений использовалась программа Statistica-6,0. Необходимо иметь в виду, что при работе с физиологическими переменными большое значение имеет внимательный анализ корреляционного поля. Например, всего лишь один индивид с уровнем глюкозы 11,5 ммоль/л и весом тела 90 кг может изменить коэффициент корреляции этих показателей с -0,018 до +0,353.

## Результаты и обсуждение

### *Анализ соизменчивости физиологических признаков в различных популяциях*

Изучение внутригрупповых корреляций уровней физиологических показателей крови выявило как общие для всех выборок взаимосвязи, так и характерные для отдельных популяций. Соответствующие корреляционные матрицы опубликованы [Гудкова, 2008]. Заведомо ложные корреляции общего белка с отдельными протеиновыми фракциями не рассматриваются.

Уровень альбумина всегда имеет отрицательное направление связи с содержанием глобулинов. Уровень каждой глобулиновой фракции положительно связан с соседней фракцией глобулинов по принципу их электрофоретической подвижности. Определенную роль в этих корреляциях могут играть небольшие различия в электрофоретической подвижности молекул множества белков, из которых состоят выделенные фракции протеинов.

Довольно существенна степень связи содержания холестерина с величинами общего белка и  $\beta$ -глобулинов и довольно высок процент реальных корреляций этих пар признаков от общего числа соответствующих коэффициентов (табл. 1). Так, достоверные положительные коэффициенты корреляции между уровнями холестерина и общего белка отмечены у мужчин в 10 выборках из 11 (исключение составляют камчадалы), т.е. в 91% случаев; у женщин только в 50% случаев. Однако, если у каракалпакских и эскимосских женщин связь отсутствует, то в выборках хакасок и камчадалок она имеет направленность, свойственную большинству обследованных популяций. Между уровнями холестерина и  $\beta$ -глобулинов при положительной направленности связи во всех выборках статистически достоверные коэффициенты корреляции обнаружены у мужчин в 64% случаев, у женщин – в 50%. Вычисление частной корреляции между величинами общего белка и холестерина при исключении  $\beta$ -глобулинов ( $\beta$ -глобулины – составляющая общего белка) уменьшило тесноту связи между показателями липидного и белкового обмена (например, у мигрантов-мужчин с 0,51 до 0,41), но она везде осталась статистически достоверной. В основе полученных корреляций лежит, видимо, транспортная функция сывороточных белков:  $\beta$ -липопротеины, являющиеся частью  $\beta$ -глобулинов, содержат 79% липидов и переносят глицериды, холестерин, фосфолипиды, растворимые в жирах витамины, гормоны и ферменты. Элиминирование возраста, с которым коррелируют уровни холестерина и  $\beta$ -глобулинов, несколько

**Таблица 2. Коэффициенты парной корреляции (r) уровней альбумина и гемоглобина**

Выборки	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Мужчины	–	–	0,04	0,32**	0,07	0,20	0,32**	-0,07	0,26*	-0,24	0,04
Женщины	–	–	–	0,23*	0,33	-0,04	0,23*	0,29*	0,17	0,21*	0,33**

Примечания. Обозначения выборок, как в табл. 1. Достоверность корреляций: \*  $p < 0,05$ ; \*\*  $p < 0,01$ .

**Таблица 3. Коэффициенты парной корреляции уровней физиологических показателей крови**

Выборки	3	7	8	9
Коэффициенты корреляции (r) уровней глюкозы и $\beta$ -глобулинов				
Мужчины	0,27	-0,03	0,21	0,20
Женщины	–	0,24*	0,14	0,29**
Коэффициенты корреляции (r) уровней глюкозы и $\alpha_2$ -глобулинов				
Мужчины	0,20	0,22*	0,16	0,31**
Женщины	–	0,16	-0,20	-0,03

Примечания. Обозначения выборок, как в табл. 1. Достоверность корреляций: \*  $p < 0,05$ ; \*\*  $p < 0,01$ .

изменило тесноту связи между физиологическими признаками (например, у мигрантов-мужчин с 0,36 до 0,30), но она осталась достоверной.

Не исключено, что некоторые корреляции можно трактовать с точки зрения проявления полового диморфизма. Так, у женщин сильнее выражена соизменчивость уровней альбумина и гемоглобина: если количество достоверных корреляций в женских выборках составляет 63%, то в мужских – 33% (табл. 2). В свете функциональных особенностей женского организма наличие этой корреляции у женщин кажется физиологически логичным. Во всех выборках, кроме хакасских мужчин, обнаружены положительные корреляции содержания глюкозы и  $\beta$ -глобулинов, достоверные в двух женских группах. В литературе имеются сведения о нарушении липидного обмена у больных сахарным диабетом [Гудкова, 2008]. В мужских выборках получена позитивная связь (достоверная в двух случаях из четырех) между уровнями глюкозы и  $\alpha_2$ -глобулинов (табл. 3), которая, видимо, в некоторой мере обусловлена присутствием углеводов в белках, составляющих  $\alpha_2$ -фракцию.

Итак, анализ корреляций величин физиологических показателей крови выявил наличие устойчивых связей на популяционном уровне. Устойчивыми можно считать корреляции содержания в крови уровней общего белка и холестерина, а также ассоциации между содержанием холестерина и  $\beta$ -глобулинов. Хотя число исследованных выборок невелико, устойчивой представляется и связь уровней глюкозы с  $\beta$ -глобулинами. Несмотря на то, что полифункциональность обсуждаемых признаков не

допускает однозначной трактовки их соизменчивости, обнаруженные связи имеют определенный физиологический смысл и на фоне многочисленных динамических корреляций приобретают особую весомость.

При анализе матриц корреляций с позиции экологического своеобразия каждой популяции установлено, что процент достоверных связей в основном увеличивается в популяциях, обитающих в экстремальных средовых условиях (табл. 4). Увеличение числа достоверных корреляций в выборке туркмен, обследованных в экстремальных средовых условиях, когда высокая внешняя температура вызывает ряд физиологических изменений в организме человека, кажется особенно значимым при сопоставлении с количеством достоверных связей в другой выборке туркмен, обследованных в комфортный сезон (до наступления жары). Полученный результат имеет биологическое объяснение. Его можно интерпретировать как проявление на популяционном уровне наблюдаемого на индивидуальном уровне феномена более тесной соизменчивости физиологических показателей крови при различных патологических состояниях организма [Галлер, Ганефельд, Яросс, 1979]. С точки зрения теории систем [Месарович, 1971] возрастание количества и величин корреляций может означать нарушение физиологического гомеостаза популяций. Положительная связь между содержанием  $\gamma$ - и  $\alpha_2$ -глобулинов в выборках популяций арктической зоны (табл. 5), особенно высокая у эскимосов, – один из примеров к предлагаемой трактовке. Как было установлено, в эскимосской

Таблица 4. Процент достоверных корреляций в различных выборках (%)

Выборки	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Мужчины	25	47	19	44	30	35	48	29	29	43	52
Женщины	–	–	–	57	9	39	23	13	19	70	43

Примечания. Обозначения выборок, как в табл. 1.

Таблица 5. Коэффициенты парной корреляции (r) уровней  $\alpha_2$ -глобулинов и  $\gamma$ -глобулинов

Выборки	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Мужчины	-0,10	0,33*	0,21	0,12	0,20	-0,04	0,02	0,15	-0,05	0,23	0,50**
Женщины	–	–	–	0,05	-0,15	-0,09	-0,11	0,11	0,04	0,25*	0,29*

Примечания. Обозначения выборок, как в табл. 1. Достоверность корреляций: \*  $p < 0,05$ ; \*\*  $p < 0,01$ .

выборке увеличена вариабельность уровней  $\gamma$ - и  $\alpha_2$ -глобулинов [Гудкова, 2008; 2014]. Одной из причин этого явления может быть распространение среди аборигенов Чукотки туберкулеза, при заболевании которым наблюдаются существенные изменения указанных фракций. Вполне вероятно, что этот факт повлиял и на их соизменчивость.

В качестве еще одного примера можно привести сравнительно высокую величину корреляции уровней  $\alpha_2$ -глобулинов (они занимают ключевое положение в транспорте и метаболизме углеводов) и холестерина (один из показателей липидного обмена) у чукотских мужчин (0,40). Этот результат в сочетании со значительной внутригрупповой изменчивостью у них уровня холестерина и с искажением нормальности его распределения может указывать на неблагоприятные изменения гомеостатических возможностей коренных жителей Чукотки. Скорее всего, полученный коэффициент определили экологические факторы, конкретнее, перемены в традиционном питании. Исключением из приведенных в табл. 4 данных оказался неожиданно высокий процент достоверных корреляций в выборке хакасских мужчин. Можно предположить, что такой результат является следствием регулярного употребления алкоголя большинством обследованных нами хакасов. Это предположение не лишено основания в свете фактов нарушения физиологического гомеостаза при неумеренном употреблении этанола [Гудкова, 2008]. Увеличение числа реальных корреляций у киргизов, сравнительно с таджиками, можно объяснить, например, их местообитанием на большей высоте.

В заключение раздела следует заметить, что в литературе мало данных относительно корреляций между уровнями анализируемых в статье

физиологических показателей крови [Гудкова, 2008]. Чаще всего отмечаются опосредованные ассоциации или связи в группах больных индивидов, поэтому собранные нами материалы и представленные результаты являются в некотором роде уникальными.

#### *Анализ соизменчивости морфологических и физиологических признаков в различных популяциях*

Величины коэффициентов корреляции, полученные при сопоставлении физиологических и морфологических признаков в различных популяциях, их обсуждение, а также сравнительные литературные данные опубликованы [Гудкова, 2008]. В отличие от малого числа работ, посвященных изучению соизменчивости физиологических переменных, изучению связей между морфологическими и физиологическими признаками посвящено много исследований. Однако многочисленные попытки в течение длительного периода времени установить определенность морфофизиологических ассоциаций не увенчались успехом и, что самое главное, не привели к пониманию разнообразия получаемых результатов.

В статье представлено графическое изображение системы достоверных ( $p < 0,05$ ) морфофизиологических корреляций у хакасов (умеренная зона), туркмен (аридная зона), обследованных в жаркое время года, и эскимосов (арктическая зона). Соизменчивость морфологических и физиологических признаков в трех выборках из населения умеренной зоны в основном совпадает [Гудкова, 2008]. Поэтому анализ морфофизиологических

корреляций в выборках хакасов, камчадалов и мигрантов Камчатки позволяет сделать следующие выводы. Обнаруженные связи можно считать устойчивыми: они логичны и их проявления, как правило, системны. К числу устойчивых на популяционном уровне связей можно отнести корреляции с морфологическими признаками содержания гемоглобина и холестерина у мужчин и женщин, альбумина у мужчин,  $\beta$ -глобулинов и глюкозы у женщин. Их величины колеблются от 0,22 до 0,46. Полученные коэффициенты корреляции отразили на популяционном уровне индивидуальную соизменчивость физиологических и морфологических признаков, одним из «общих аргументов» [Малиновский, 1948] которой является, по всей видимости, обмен веществ.

На рисунке 2 (концентрация глюкозы и становая динамометрия у туркмен не определялись) при сравнении с рисунком 1 обращает на себя внимание большее количество связей. Так, число положительных коэффициентов корреляций содержания холестерина с морфологическими признаками у мужчин увеличивается почти в два раза. В туркменской выборке исчезают некоторые связи, обнаруженные у хакасов, и появляются новые, например, у туркменских мужчин возникли статистически достоверные связи уровня гемоглобина с характеристиками костной системы. Не исключено, что полученные корреляции имеют биологический смысл: в аридной зоне более приспособленными к экстремальной ситуации (снижение насыщения крови кислородом и развитие тепловой гипоксии) могут оказаться индивиды с более развитой костной системой, которая, как известно, имеет отношение к процессам кроветворения. Напомню, что гемоглобин, наряду с альбумином, является адаптивнозначимым признаком для популяций, обитающих в аридной зоне [Гудкова, 2014].

В туркменской выборке, сравнительно с хакаской, происходит смещение проявлений полового диморфизма в соизменчивости морфологических и физиологических признаков. Так, у туркменских мужчин уровень альбумина сохранил связь лишь с одним признаком мышечной ткани, а у туркменских женщин, в отличие от хакаских, он связан со всеми морфологическими признаками. Скорее всего, обнаруженные корреляции отразили нарушение физиологического гомеостаза туркменской популяции, которое повлияло на тесноту морфофизиологических связей. Они указали и на важное адаптивное значение полученной соизменчивости именно для женской части популяции, которой в силу социальных и биологических особенностей труднее дается процесс приспособления к экстремальным условиям пустыни. Большая роль аль-

бумина в механизме терморегуляции позволяет сделать вывод, что туркменки с более развитыми признаками жировой, мышечной и костной ткани будут иметь преимущество в смысле защиты от обезвоживания в аридной зоне. Видимо, адаптивное значение альбумина настолько существенно, что связь этого признака с морфологическими идет в ущерб связям последних с содержанием других физиологических показателей крови: у туркменских женщин уровень  $\beta$ -глобулинов не коррелирует с морфологическими характеристиками. Коэффициенты корреляции, рассчитанные для разносистемных признаков в других выборках аридной зоны, по своей направленности и выраженности в основном подтверждают результаты, полученные в туркменской выборке [Гудкова, 2008].

На рисунке 3 представлены коэффициенты парной корреляции физиологических и морфологических признаков у эскимосов. Статистически достоверных коэффициентов корреляции у них оказалось меньше, чем в других выборках и распределились они по-иному. У мужчин, например, отсутствует связь уровня альбумина с морфологическими признаками, нет таковой и у концентрации гемоглобина с различными комплексами морфологических характеристик. Нарушены устойчивые связи уровня холестерина и  $\beta$ -глобулинов с морфологическими признаками, но появились ассоциации между содержанием физиологических показателей крови и признаками костной ткани. Эту соизменчивость нельзя назвать случайной: она обнаружена и у береговых чукчей [Гудкова, 2008].

Таким образом, появление в выборках из популяций Чукотки неожиданных отрицательных корреляций и неожиданно высоких положительных свидетельствует о нарушении не только физиологического статуса, но и морфофизиологического как системы следующего иерархического уровня. Позитивные связи признаков костной ткани с уровнями  $\alpha_1$ -,  $\alpha_2$ -,  $\beta$ -глобулинов и холестерина и отрицательные с уровнями гемоглобина и альбумина приводят к важному выводу, что более матуризованным аборигенам труднее приспособляться к резко изменившемуся образу жизни. Положительные корреляции с уровнями  $\gamma$ -глобулинов могут означать большее напряжение иммунной системы у индивидов с более развитой костной компонентой.

Итак, морфофизиологические корреляции в выборках из популяций, обитающих в сравнительно благоприятных экологических условиях, логичны и имеют определенный физиологический смысл. В некоторых случаях наблюдается проявление полового диморфизма. Популяционное разнообразие корреляций зависит от физиологического гомеостаза,

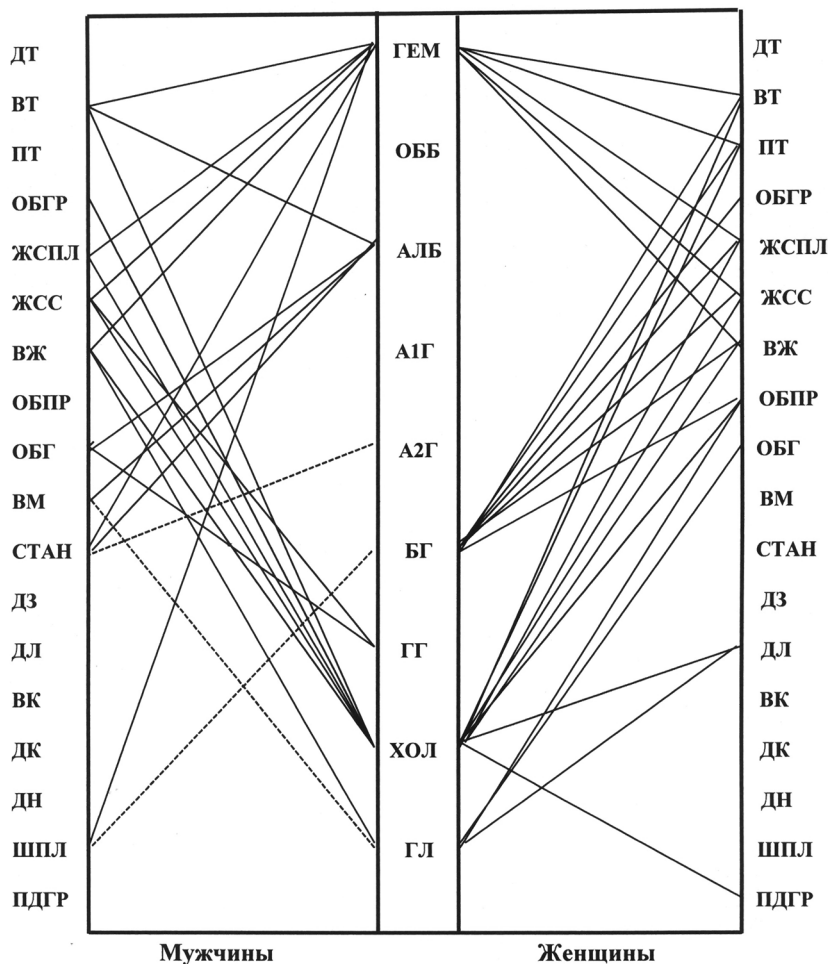


Рис. 1. Достоверные ( $p < 0,05$ ) морфофизиологические корреляции у хакасов

Примечания. ДТ – длина тела, ВТ – вес тела, ПТ – поверхность тела, ОБГР – обхват груди, ЖСПЛ – жировая складка под лопаткой, ЖСС – средняя жировая складка, ВЖ – вес жира, ОБПР – обхват предплечья, ОБГ – обхват голени, ВМ – вес мышц, СТАН – станова́я динамометрия, ДЗ – диаметр запястья, ДЛ – диаметр лодыжки, ВК – вес кости, ДК – длина корпуса, ДН – длина ноги, ШПЛ – ширина плеч, ПДГР – поперечный диаметр груди, ГЕМ – гемоглобин, ОББ – общий белок, АЛБ – альбумин, А1Г –  $\alpha_1$ -глобулины, А2Г –  $\alpha_2$ -глобулины, БГ –  $\beta$ -глобулины, ГГ –  $\gamma$ -глобулины, ХОЛ – общий холестерин, ГЛ – глюкоза. Сплошная линия – положительные корреляции, прерывистая – отрицательные.

который может менять тесноту и направление связи от популяции к популяции. Соизменчивость разноразмерных признаков в выборках из популяций, обитающих в аридной зоне, имеет специфические особенности, которые вызваны временным напряжением физиологического гомеостаза популяций в зависимости от экстремальной экологической ситуации, и, надо полагать, они обратимы. В выборках из популяций, обитающих в арктической зоне, структура морфофизиологических связей существенно изменена. Резкие перемены в образе жизни [Гудкова, 2008] вызвали не только физиологический стресс, но обусловили также разрушение устойчивых морфофизиологических корреляций и образование новых связей. Наблюдаемое явление

имеет важный биологический смысл в оценке приспособленности популяций к меняющейся внешней среде.

Чрезвычайно информативными оказались величины коэффициентов канонической корреляции между всеми физиологическими (кроме общего белка) и всеми перечисленными выше морфологическими признаками. Хотя их анализ и не являлся задачей настоящей статьи, но удержаться от их публикации было трудно. Как следует из таблицы 6, коэффициенты увеличиваются в популяциях, обитающих в экстремальных средовых условиях, что в очередной раз подтверждает сделанные выше выводы.

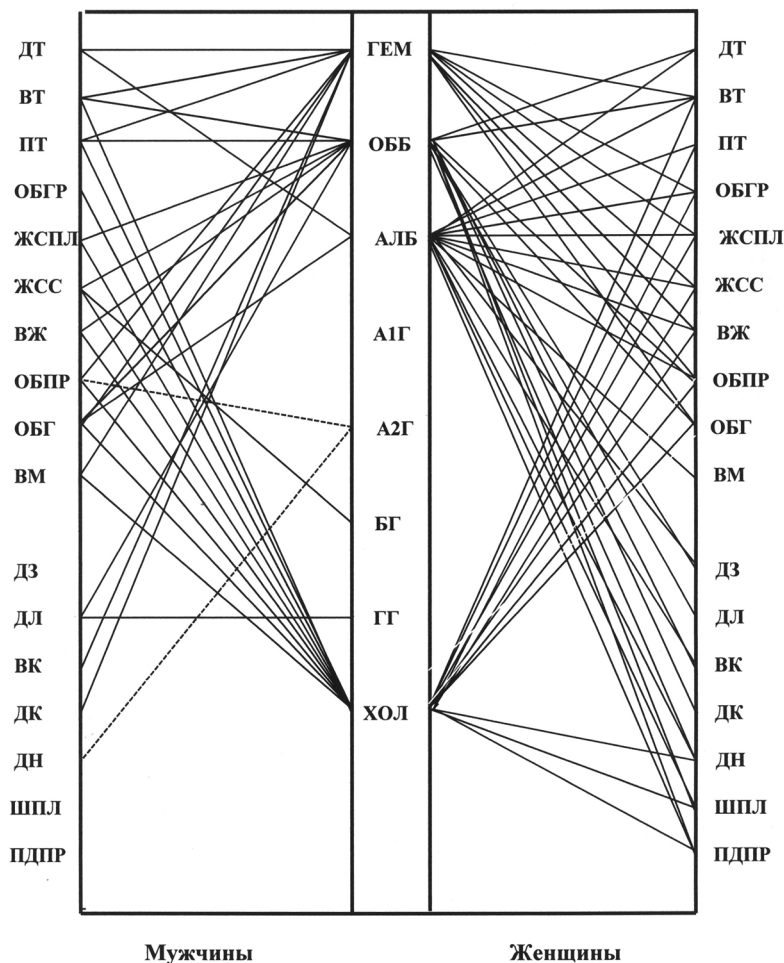


Рис. 2. Достоверные ( $p < 0,05$ ) морфофизиологические корреляции у туркмен, обследованных в экстремальный климатический сезон

Примечания. Обозначения те же, что и на рис. 1.

### Корреляционная адаптометрия

С конца прошлого века в медицинских исследованиях появляется метод корреляционной адаптометрии. Метод берет свое начало от корреляционных плеяд, или корреляционных графов. Графы – это геометрические схемы, которые состоят из системы линий, соединяющих определенные точки. Первая работа по теории графов швейцарского математика Л. Эйлера появилась в 1736 г. и была единственной в течение почти ста лет. Некоторое время теория имела отношение лишь к математическим головоломкам и только с XX столетия стала использоваться для решения различных теоретических и практических задач. Интенсивное развитие теории графов привело к ее применению в самых разнообразных областях знаний, например, в археологии (при хронологической систематизации определенных событий),

Таблица 6. Коэффициенты канонической корреляции между физиологическими и морфологическими признаками

Группа	Мужчины	Женщины
Умеренная зона	0,546 $p=0,006$	0,523 $p=0,001$
Аридная зона	0,597 $p=0,001$	0,600 $p=0,008$
Арктическая зона	0,792 $p=0,001$	0,720 $p=0,001$



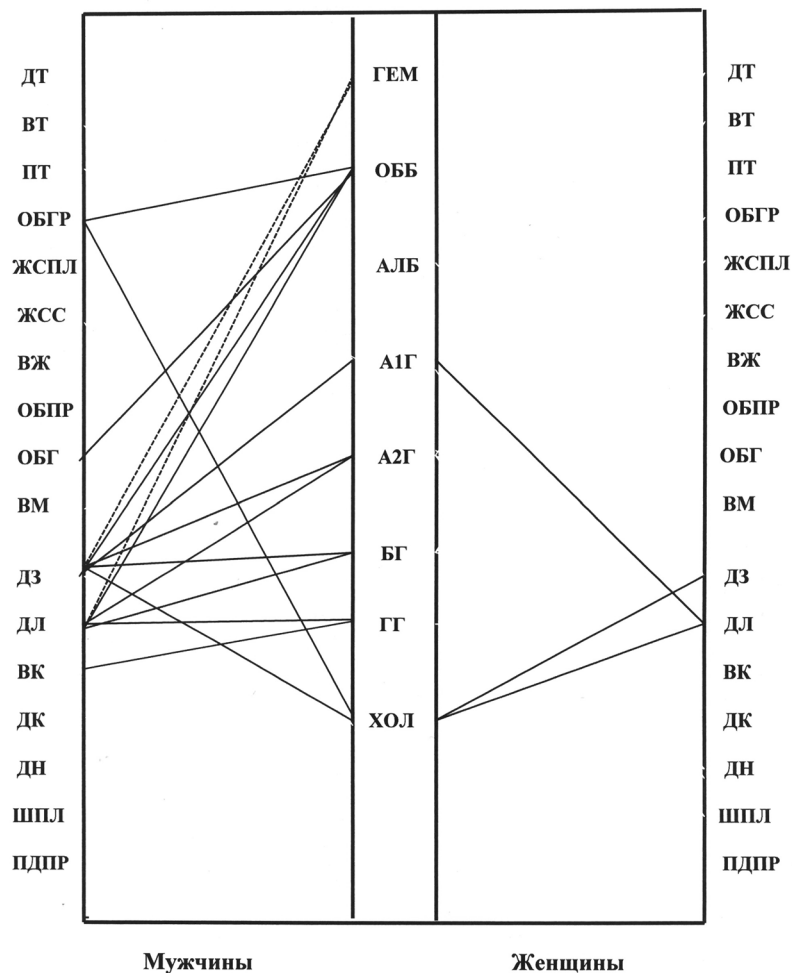


Рис. 3. Достоверные ( $p < 0,05$ ) морфофизиологические корреляции у эскимосов  
Примечания. Обозначения те же, что и на рис. 1.

в литературе (при исследовании возможного авторства), в генетике (при анализе признаков линейной организации внутри гена) [Оре, 2008, 2015].

В отечественной науке термин «корреляционные плеяды» и некоторые способы их анализа были предложены ленинградским зоологом П.В. Терентьевым [Терентьев, 1959; 1960]. Впоследствии они были усовершенствованы и расширены [Ростова, 2002]. Тем не менее, можно прочитать, что «по своей сути корреляционная плеяда представляет набор парных корреляций, изображенных так, будто речь идет о взаимосвязи нескольких переменных. <...> Все что можно вытянуть и что подразумевает под собой корреляционная плеяда, дает факторный анализ», а на плеядах «можно зачастую увидеть то, чего на самом деле нет» [Электронный ресурс. URL: [http://www.contrlist.ucoz.ru/2014/2014-06/korreljacionnye\\_plejady.pdf](http://www.contrlist.ucoz.ru/2014/2014-06/korreljacionnye_plejady.pdf) (дата обращения: 03.11.2017)].

В 1980-х годах появляются публикации А.Н. Горбаня с соавторами, где используется предложенный ими метод корреляционной адаптометрии [Горбань, Манчук, Петушкова, 1987; Седов, Горбань, Петушкова с соавт., 1988]. Концепция метода заключается в следующем. Считается, что при пребывании популяции в привычной окружающей среде физиологические реакции отдельных индивидов варьируются под влиянием многочисленных экологических факторов. В этом случае соизменчивость физиологических переменных будет низкой. При любом изменении условий существования популяций могут появиться факторы, которые окажутся экстремальными для каждого члена популяции. В такой ситуации организмы людей «становятся в смысле приобретения однотипных целей одинаковыми», «что отражается в увеличении скоррелированности физиологических параметров». В результате адаптации роль экстремальных факторов «снижается и они становятся равнозначными с

другими, значения которых различны для разных членов популяции. В итоге корреляция снижается». Авторы цитированных статей в качестве критерия сравнения популяций по их адаптированности к условиям среды предлагают использовать «оценку связности физиологических параметров при помощи веса корреляционного графа».

Работа, благодаря которой вошел в научный оборот «метод корреляционной адаптометрии», сделана на основе сравнительного анализа корреляций между показателями липидного обмена у новорожденных детей некоренного населения Крайнего Севера и у детей, родившихся в средних широтах Сибири. Наблюдение за детьми осуществлялось в динамике в течение первых 10 дней жизни и в различные сезоны года. У любого антрополога вызовет удивление отсутствие в статьях каких-либо цифр: численности, средних величин и их дисперсий и корреляционных матриц (между некоторыми показателями могут иметь место ложные связи). Несмотря на полученные результаты, например, «связь между липидами, несущими в основном различные функции, у детей Крайнего Севера наблюдается в 1–6-е сутки жизни, а у детей средних широт Сибири только на 7–10-е сутки, да и то не во все сезоны», делается вывод: «корреляции между физиологическими параметрами в ходе процесса адаптации выше, чем в адаптированном состоянии» [Горбань, Манчук, Петушкова, 1987, с. 193, 188]. Однако не понятно, на основании чего делается заключение о стабилизации процесса адаптации на десятом дне после рождения, так как нет данных по детям последующих дней жизни.

В статье «Метод корреляционной адаптометрии» [Горбань, Смирнова, 1996] авторы пишут, что обнаруженный ими эффект (указанный выше вывод) подтверждается различными исследованиями. Например, при сравнительном анализе ферментного статуса лейкоцитов младших школьников в Заполярье и в средней полосе Сибири с различным уровнем активности занятия спортом; при уточнении характера адаптивных изменений секреторной функции желудка и для анализа стадий заболеваний бронхолегочной системы; при изучении послеоперационной реабилитации онкологических больных и для оценки физической работоспособности человека. Нельзя не согласиться с последним выводом статьи: «Выявив состояние напряжения популяции, можно получить информацию о степени экологической опасности в данном регионе» [Горбань, Смирнова, 1996, с. 10]. Тем не менее, заметим, что применения обсуждаемого метода в популяционных исследованиях, по всей видимости, не было, хотя в некоторых работах можно прочесть следующее: «Изменение корреляций между физиологическими параметрами организма

при возникновении внешней нагрузки на популяцию в настоящее время может считаться уже достаточно проверенным научным фактом эмпирического характера» [Разжевайкин, Шпитонков, Герасимов, 2002, с. 51]. Однако из литературных источников следует, что метод применяется для исследования качества лечения болезни Жильбера, для оценки эффективности лечения больных ожирением, в экспериментах на животных, при изучении неблагоприятных воздействий на популяции травянистых растений и т.д. [Шпитонков, 2005; Разжевайкин, Шпитонков, Васильев с соавт., 2006; Разжевайкин, Шпитонков, 2008]. Нет необходимости обсуждать важность работ такого рода – она очевидна. Что же касается популяционного уровня, то, скорее всего, он не имеет отношения к популяциям человека, так как этот уровень требует других материалов, а не тех, которые представили указанные выше авторы. Надо полагать, что собранные нами многочисленные индивидуальные физиологические данные позволят заполнить этот пробел.

Итак, методом корреляционной адаптометрии называется определение весов корреляционных графов  $G = |r_{ij}|$ , что означает элементарное сложение, как правило, всех парных коэффициентов корреляции без учета их направленности (т.е. суммируются абсолютные значения, или модули) и достоверности, хотя некоторые исследователи складывают коэффициенты, величины которых выше или равны 0,5 (иногда они называются достоверными). На рисунке 4 представлены результаты проведения подобной операции со значениями наших корреляций. Они не согласуются с данными, полученными нами при системном анализе уровней физиологических показателей крови, определенных в популяциях, находящихся в различных экологических условиях [Гудкова, 2008]. Так, по сравнению с весами графов в выборках туркмен, казахов и каракалпаков, обследованных в сезон, считающийся экстремальным в аридной зоне, ожидаемого а priori меньшего веса корреляционного графа у туркмен, обследованных в комфортный сезон, не оказалось. Кроме того, веса в мужских выборках из популяций, живущих в не экстремальной умеренной зоне, получились выше, чем в группах коренного населения пустыни. Обоснованное исключение представляют лишь выборки из популяций арктической зоны.

Приведенные корреляционные веса (рис. 4) колеблются не синхронно с межпопуляционной изменчивостью обобщенных коэффициентов вариации (рис. 5), повышение которой, как было установлено, является аргументированным показателем нарушения приспособленности популяций [Гудкова, 2014]. Тем не менее, известно, что изменения силы связей между признаками «в значительной степени определяются изменениями размаха их

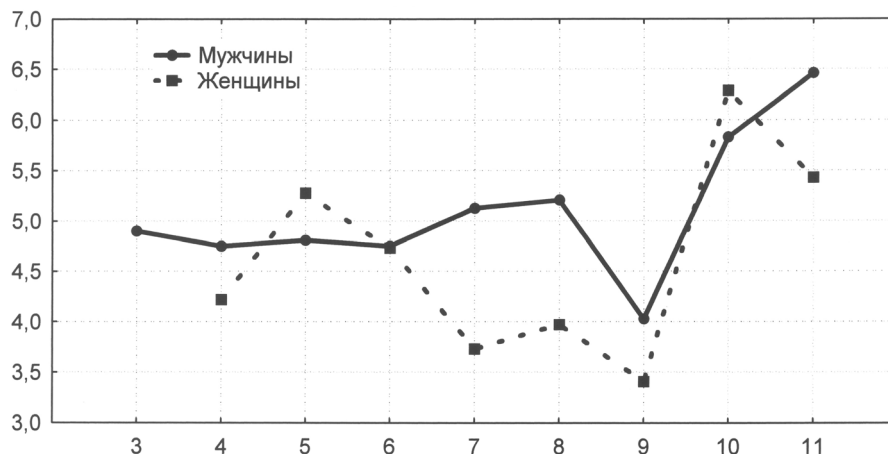


Рис. 4. Веса корреляционных графов ( G ) уровней физиологических показателей крови

Примечания. Ось ординат – веса. Ось абсцисс – выборки: 3 – туркмены, обследованные до наступления экстремального климатического сезона; 4 – туркмены, обследованные во время экстремального климатического сезона; 5 – каракалпаки; 6 – казахи; 7 – хакасы; 8 – камчадалы; 9 – мигранты Камчатки; 10 – береговые чукчи; 11 – эскимосы.

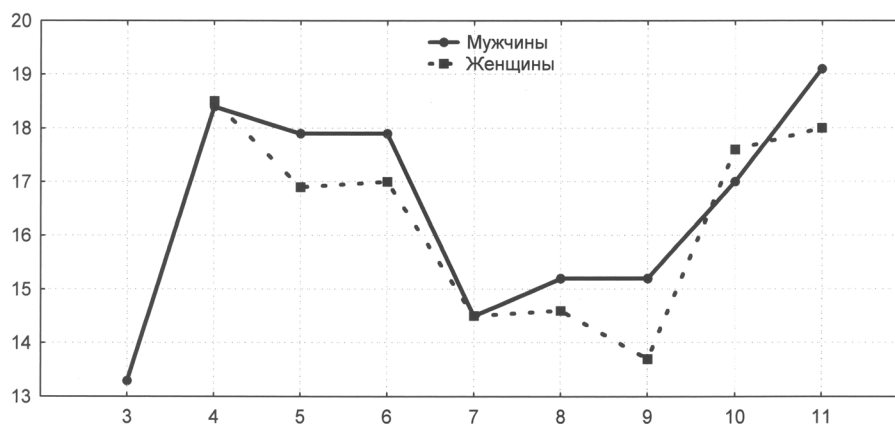


Рис. 5. Обобщенные коэффициенты вариации ( % ) уровней физиологических показателей крови  
Примечания. Ось ординат – коэффициенты вариаций. Ось абсцисс – выборки (обозначения см. рис. 4).

варьирования» [Ростова, 2002]. В неблагоприятных условиях повышается изменчивость и возникают более жесткие связи. Вычисление весов корреляционных графов суммированием статистически достоверных связей между анализируемыми признаками не прояснило ситуацию. Однако сложение величин соизменчивости только адаптивно значимых в аридной зоне альбумина и гемоглобина с остальными физиологическими показателями дало ожидаемый результат. Так, у туркмен, обследованных до наступления жаркого сезона, вес графа оказался равным величине – 2,58, а у туркмен, обследованных в жаркий период года, значение корреляционного графа возросло до 3,40. С точки зрения теории плеяд этот эффект, видимо, обусловлен усилением корреляций, входящих в «ядро» плеяды и «примыкающими» к нему. Такая ситуация возникает при ухудшении условий, вызывающих смену «признаков-индикаторов», что

приводит к существенным изменениям структуры взаимосвязей [Ростова, 2002].

Таким образом, при изучении соизменчивости физиологических признаков на популяционном уровне применение метода корреляционной адаптометрии не дает какой-либо дополнительной и значимой информации для трактовки результатов, представленных выше. Вне всякого сомнения, метод пригоден для медицинских исследований с целью контроля эффективности проводимого лечения, так как установлено, что при различных патологических состояниях организма наряду с увеличением изменчивости отдельных признаков [Сапунов, 1990; Цыбикова, Спицын, Агапова, 1996] усиливаются и связи между ними [Галлер, Ганефельд, Яросс, 1979]. По всей видимости, метод целесообразно применять для сравнения результатов повторных исследований одной и той же группы людей. Что же касается популяционного подхода, то, может

быть, при соблюдении множества условий обсуждаемый прием окажется полезным, хотя отсутствие параллелизма в протекании физиологических процессов у разных индивидов, входящих в выборку, скорее всего, осложнит ситуацию. Поэтому на данном этапе декларировать универсальность «метода корреляционной адаптометрии» преждевременно.

### Заключение

Корреляции между уровнями физиологических показателей крови отражают сложную систему взаимодействия физиологических реакций и их зависимость от экологических факторов. Причины, детерминирующие разнообразие величин коэффициентов, может быть много. Наиболее часто связь признаков на организменном уровне определяется существованием общего предшественника у двух метаболических путей. Однако почти все организменные процессы постоянно варьируются под влиянием массы факторов, поиск которых чрезвычайно затруднен сложностью онтогенетических взаимосвязей и проблемами генетического контроля [Мазер, Джинкс, 1985]. Популяционное своеобразие корреляционных матриц обуславливает также отсутствие у отдельных индивидов временной согласованности физиологических реакций в ответ на интегрирующее воздействие меняющейся окружающей среды. В разных популяциях отдельные признаки могут находиться в противоположных крайних точках, в результате чего ожидаемое соответствие нарушается и меняется корреляционное отображение физиологической структуры популяции. Различающиеся причины внутригрупповой вариабельности признаков могут менять от популяции к популяции не только степень связи, но и ее направленность [Малиновский, 1948; Falconer, 1961]. И, тем не менее, анализ соизменчивости уровней физиологических показателей крови выявил устойчивые корреляции характерные для всех изученных нами популяций. В выборках из популяций, физиологический гомеостаз которых под влиянием экстремальной экологической ситуации нарушен, наблюдается дифференцированное проявление устойчивых связей. Давление меняющейся внешней среды вызывает не только физиологический стресс, но и дестабилизирует устойчивые морфофизиологические корреляции. Экосенситивные физиологические переменные влияют на величину и направление морфофизиологических корреляций, которые также варьируются от популяции к популяции в зависимости от многочисленных экологических факторов. В свя-

зи с этим предлагается принципиально новый методологический подход: он заключается в анализе морфофизиологических корреляций с позиции изменчивости и стабильности физиологического гомеостаза популяций.

Итак, разнообразие корреляций определяют экологически реактивные физиологические признаки, которые «лежат в основе всех адаптаций» [Шмальгаузен, 1968]. Наблюдаемое явление имеет важный биологический смысл в оценке приспособленности популяций к меняющейся внешней среде.

### Благодарности

Считаю своим приятным долгом выразить искреннюю благодарность морфологам – участникам наших совместных экспедиций: Н.С. Смирновой, Т.П. Чижиковой, Н.И. Кочетковой, Е.И. Балахоновой, И.И. Саливон.

### Библиография

- Галлер Г., Ганефельд М., Яросс В. Нарушения липидного обмена. М., 1979.
- Горбань А.Н., Манчук В.У., Петушкова Е.В. Динамика корреляций между физиологическими параметрами и эколого-эволюционный принцип полифакториальности // Проблемы экологического мониторинга и моделирование экосистем, 1987. Т. 10. С. 187–198.
- Горбань А.Н., Смирнова Е.В. Метод корреляционной адаптометрии // Метод корреляционной адаптометрии в оценке антропоэкологического напряжения популяций. Красноярск, 1996. С. 3–11.
- Гудкова Л.К. Популяционная физиология человека. М.: ЛКИ, 2008.
- Гудкова Л.К. К изучению роли физиологических признаков в конституциональной типологии (популяционный подход) // Вестник Московского университета. Серия XXIII. Антропология, 2009. № 1. С. 45–53.
- Гудкова Л.К. Проблема целостности в физиологической антропологии // Вестник Московского университета. Серия XXIII. Антропология, 2010. № 3. С. 16–24.
- 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.
- Мазер К., Джинкс Дж. Биометрическая генетика. М., 1985.
- Мак-Мюррей У. Обмен веществ у человека. М., 1980.
- Малиновский А.А. Элементарные корреляции и изменчивость человеческого организма // Труды Института цитологии, гистологии. и эмбриологии, 1948. Т. 2. Вып. 1. С. 136–198.
- Медведев В.И. Психологические реакции человека в экстремальных условиях // Экологическая физиология человека. М., 1979.
- Месарович М. Теория систем и биология. Точка зрения теоретика // Теория систем и биология. М., 1971.

- Оре О. Теория графов. М., 2008.
- Оре О. Графы и их применение. М., 2015.
- Разжевайкин В.Н., Шпитонков М.И. Корреляционная адаптометрия. Модели и приложения к биомедицинским системам // Математическое моделирование, 2008. Т. 20. № 8. С. 13–27.
- Разжевайкин В.Н., Шпитонков М.И., Васильев А.В., Мальцев Ю.Г., Хрущева Ю.В. Использование методики корреляционной адаптометрии для оценки эффективности лечения больных ожирением // Исследование операций (модели, системы, решения) М., 2006. С. 28–34.
- Разжевайкин В.Н., Шпитонков М.И., Герасимов А.Н. Применение метода корреляционной адаптометрии в медико-биологических задачах // Исследование операций (модели, системы, решения). М., 2002. С. 51–55.
- Ростова Н.С. Корреляции: структура и изменчивость. СПб., 2002.
- Сапунов В.Б. Взаимоотношение генетических и физиологических механизмов при адаптации на популяционном уровне. Автореф. дисс. ... д-ра биол. наук. Красноярск, 1990.
- Седов К.Р., Горбань А.Н., Петушкова Е.В., Манчук В.Т., Шаламова Е.Н. Корреляционная адаптометрия как метод диспансеризации населения // Вестник АМН СССР. 1988. № 10. С. 69–75.
- Терентьев П.В. Метод корреляционных плеяд // Вестник Ленинградского университета, 1959. № 9. С. 137–141.
- Терентьев П.В. Дальнейшее развитие метода корреляционных плеяд // Применение математических методов в биологии. Л., 1960. С. 27–36.
- Хочачка П., Сомеро Дж. Биохимическая адаптация. М., 1988.
- Цыбикова Э.Б., Слицын В.А., Агапова Р.К. Роль генетических и других биомаркеров в прогнозировании течения послеоперационного периода у больных раком легкого // Вестник РАМН, 1996. Вып. 12. С. 3–7.
- Шпитонков М.И. Математическое обоснование методов корреляционной адаптометрии биологических популяций. Автореф. дисс. ... канд. физ.-мат. наук. М., 2005.
- Шмальгаузен И.И. Факторы эволюции. М., 1968.
- Cannon W. The Wisdom of the Body. New York, 1932.
- Falconer D. Introduction to Quantitative Genetics. N.Y., 1961.

Контактная информация:

Гудкова Людмила Константиновна: e-mail: lkgoodkova@bk.ru.

## THE CORRELATION ANALYSIS AND ITS SIGNIFICANCE IN ECOLOGICAL ANTHROPOLOGY. PART II

L.K. Goodkova

*Lomonosov Moscow State University, Research Institute and Museum of Anthropology, Moscow*

*Introduction. This is the second part of the article on the importance of correlation analysis in the study of adaptive variability. Its main goal is to explain population diversity of physiological and morphophysiological correlations from the viewpoint of physiological homeostasis.*

*Materials and methods. Various physiological and morphological characteristics were measured in populations living in different ecological conditions. Levels of hemoglobin, glucose, serum proteins and total cholesterol in blood were measured using standard spectrophotometric methods. Methods of measuring and calculating morphological characteristics are standard methods used in Research Institute and Museum of Anthropology MSU. Intragroup correlations were analyzed, both for different physiological characteristics and for physiological with morphological characteristics.*

*Results and discussion. Analysis of physiological and morphophysiological correlations shows that there are some stable connections between these characteristics that are true for most studied populations. There is a sexual dimorphism in covariance of characteristics, and some correlations show adaptive nature. Correlations' variety depends on physiological homeostasis that can influence closeness and direction of correlation in different populations. The pressure of changeable environment is not only causing physiological stress but also influencing stable morphophysiological correlations: some of them break, and some new correlations form. Method of correlation adaptometry does not add any significant information to the interpretation of the results of the study of the population level covariance of physiological characteristics*

*Conclusion. Ecologically reactive physiological characteristics are the base of all adaptations, they determine the variability of correlations. This phenomenon has valuable biological meaning for assessment of populations' adaptations to the environment.*

*Keywords: ecological anthropology, adaptive variability, physiological homeostasis, holistic approach, correlation analysis, correlation adaptometry*