

## ПОПУЛЯЦИОННАЯ ФИЗИОЛОГИЯ ЧЕЛОВЕКА: ТРАДИЦИОННЫЕ ПОДХОДЫ И НОВЫЕ ВОЗМОЖНОСТИ

*Популяционная физиология человека – это направление физиологической антропологии, которое изучает физиологическую структуру популяций в конкретных условиях среды. Теоретический базис направления составляет концепция физиологического гомеостаза, а методологический – системность и целостность. Наипервейшей задачей популяционной физиологии человека является изучение внутри- и межгрупповой изменчивости уровней отдельных физиологических показателей и физиологического статуса в целом. Системный подход позволяет устанавливать различие или сходство физиологического статуса популяций и объяснять их с позиций экологического своеобразия, состояния адаптированности и дезадаптированности.*

Ключевые слова: физиологический гомеостаз, адаптация, экологические факторы, физиологический статус, системный подход, изменчивость.

### Введение

В 1964 г. на VII Международном конгрессе антропологических и этнографических наук (МКАЭН) физиологическая антропология была официально признана самостоятельной научной дисциплиной. Основоположником этой дисциплины в российской науке с полным правом можно назвать Татьяну Ивановну Алексееву.

Содержание физиологической антропологии определялось как изучение приспособительной изменчивости – «необходимой предпосылки панорайкуменного существования человека» [Алексеева, 1977, с. 6]. В методологическом отношении принципиально новым стал комплексный подход к изучению различных групп населения, обитающих в разнообразных географических условиях. В научный оборот был введен целый ряд новых признаков и методов. Широкая программа комплексных исследований включала изучение расоводиагностических признаков, морфологических и физиологических особенностей этнотерриториальных групп, их генетической и демографической структуры, сбор данных по питанию, определение дерматоглифических и одонтоло-

гических признаков. В 1961 г. коллектив сотрудников НИИ и Музея антропологии МГУ под руководством Т.И. Алексеевой приступил к реализации этой программы. На первом этапе решались конкретные задачи: выбор признаков и методов их исследования; изучение их половой, возрастной и географической вариабельности. В итоге была обнаружена географическая изменчивость средних величин изучаемых признаков, которая интерпретировалась в соответствии с научными тенденциями тех лет: эндогенная и экзогенная детерминация.

С 1970-х гг. в рамках Международной биологической программы (ИВР) начались систематические исследования по адаптации человека, в первую очередь, к экстремальным условиям обитания. Под руководством Т.И. Алексеевой обследовалось коренное население арктической зоны, под руководством ее ученика О.М. Павловского – аридной. В этом десятилетии в физиологической антропологии появилась экологическая ориентация и заметно расширились работы по комплексным программам. Под руководством Т.И. Алексеевой началось многолетнее изучение морфофизиологических особенностей коренного населения Алтае-Саян-

ского нагорья и в составе Советско-Монгольской экспедиции – населения Монголии (1976–1991 гг.).

На протяжении своего 30-летнего существования (1961–1991 гг.) физиологическая антропология постоянно обогащалась новыми признаками и методами, увеличивалось число исследователей, занимающихся проблемами этой научной дисциплины, и, естественно, с течением времени менялись ее цели и задачи. Развитие приоритетов: географическая изменчивость – адаптация – экология [Алексеева, 1977, 1986, 1998]; накопление результатов и стремление к их углубленной трактовке по отдельным разделам комплексных программ привели к закономерному появлению ряда научных направлений в рамках физиологической антропологии.

Прежде чем перейти к описанию популяционной физиологии человека, необходимо заметить, что в данной статье не упоминаются многочисленные фундаментальные исследования, проводившиеся в физиологической антропологии другими отечественными научными школами, например, школами профессоров МГУ Е.Н. Хрисанфовой и Н.Н. Миклашевой. Это обусловлено тематикой статьи: исследования по физиологии крови были начаты под руководством Т.И. Алексеевой и продолжены исключительно ею и ее учениками. Автор относится к школе Т.И. Алексеевой и работала под ее руководством с 1961 по 1972 г.\*

### **Предмет и задачи популяционной физиологии человека**

С самого начала становления отечественной физиологической антропологии в комплексную программу было включено изучение уровней физиологических показателей крови. В начальный период нам в основном приходилось ориентироваться на зарубежных исследователей: опережая нас в методическом отношении, они сумели собрать большой фактический материал по географической изменчивости этих показателей. Задача изучения межгрупповой изменчивости средних величин признаков заключалась в определении т.н. физиологических норм, свойственных практически здоровым людям. Оказалось, что «нормы» варьируют существенно. При попытке объяснить такое разнообразие принимали во внимание основные генетические моменты и влияние окружающей среды, которая, наряду с естественными факторами, включает экономическое и социальное положение популяции, определяющее количество и качество пищи и энергетические траты, связанные со спецификой тру-

да. Обзор литературы по интересующей нас теме показал, что на протяжении полувековой истории изучения уровней физиологических показателей крови в интерпретации этнотерриториальной variability их средних величин прогресс не наметился [Гудкова, 2008]. Поэтому поиск единой концепции, способной разрешить проблему трактовки результатов, получаемых многими исследователями, к концу XX в. стал насущной необходимостью.

Причины и механизмы наблюдаемых явлений смогла объяснить концепция физиологического гомеостаза [Cannon, 1932]. Будучи зависимым от экологических факторов, он обуславливает разнообразие физиологической структуры популяций, находящихся в различных средовых условиях и на разных стадиях адаптированности. В популяционной физиологии человека гомеостаз, адаптация и экологические факторы обсуждаются на популяционном уровне в комплексе их причинно-следственной связи.

Методологической базой направления являются системность и целостность. В рамках системных воззрений гомеостаз определяется как способность популяции сохранять в меняющихся условиях окружающей среды динамическую стабильность физиологического статуса, под которым понимается совокупность физиологических переменных, взаимосвязанных на организменном уровне и скоррелированных на популяционном. Согласно этим дефинициям, физиологическая структура популяции воспринимается как целостное образование, которое обеспечивается устойчивыми связями отдельных частей общей системы. На сегодняшний день существует много способов оценки названных популяционных характеристик [Гудкова, 2008]. Биологический смысл оценки имеет непосредственное отношение к жизнеспособности популяции, которая зависит от физиологического гомеостаза всей популяции, слагающегося из физиологического гомеостаза отдельных индивидов.

Набор переменных, составляющих физиологический статус, в зависимости от целей и задач исследования может быть разным. Изучаемые нами физиологические показатели крови (гемоглобин, сывороточные протеины, общий холестерин, глюкоза) характеризуют отдельные метаболические свойства организма и принимают участие в разнообразных энергетических процессах. Уровни этих показателей – количественные фенотипические признаки, варьирующие в пределах своей нормы реакции. С одной стороны, физиологические характеристики крови относятся к «жестким» константам, для которых уже незначительное изменение является сигналом для мобилизации систем гомеостатической регуляции [Анохин, 1970]. Но, с другой стороны, именно благодаря своей реактивности они удобны для изучения адаптации, т.к., во-первых, физиологические реакции «лежат в основе всех адап-

\*Автор считает своим долгом выразить глубочайшую благодарность Татьяне Ивановне – учителю и яркому человеку, ушедшему столь неожиданно.

таций» [Шмальгаузен, 1968, с. 309] и, во-вторых, о степени адаптивности признака можно судить только относительно других его состояний [Солбриг О., Солбриг Д., 1982]. Поэтому в качестве своеобразной модели, которая раскрывает особенности физиологических процессов, не проявляющиеся в обычных условиях, в популяционной физиологии человека рассматриваются экстремальные воздействия. Любое экстремальное воздействие на популяцию стереотипным образом вызывает повышение фенотипической изменчивости, обусловленное целым комплексом генетико-физиологических механизмов адаптации [Сапунов, 1990].

Понятие изменчивости является одним из базисных в популяционной физиологии человека. При переменах в окружающей среде исключительное значение имеет индивидуальная приспособляемость организмов. На популяционном уровне она выражается в первую очередь увеличением изменчивости физиологических реакций. От ее резерва зависит успешное выживание популяции как основной эволюционирующей единицы в пределах вида. Только наличие такой изменчивости и ее поддержание из поколения в поколение в определенных границах может защитить популяцию от демографических катастроф. Поэтому магистральной линией нового направления физиологической антропологии является изучение внутригрупповой изменчивости уровней физиологических показателей в естественных популяциях, долгое время живущих в достаточно контрастных условиях. И именно по этой причине популяционная физиология человека кардинально отличается от традиционных работ физиологической антропологии, где главным критерием успешности адаптации служит средняя величина того или иного признака. Такая постановка вопроса ни в коей мере не отвергает информационное значение результатов, получаемых при сравнении средних величин признаков, но внутрипопуляционная изменчивость и ее динамика в стрессовых для популяции ситуациях будет более точным показателем ее адаптивных возможностей.

Прежде чем перейти к конкретным примерам, имеет смысл обозначить еще один из основных принципов популяционной физиологии человека. Изучение отдельных физиологических признаков как самоцель, с точки зрения популяционной физиологии человека, не актуально, т.к. действие популяционных факторов сказывается не на единичных признаках, а на их комплексах [Животовский, 1991]. Анализ каждой физиологической переменной как составляющей системы необходим, но это только первый, хотя и очень важный этап исследования. Более объемную информацию дает изучение физиологического статуса популяции в целом. Используя методы многомерной биометрии, можно оценить степень сходства или различия физиологических статусов отдельных популяций и понять

причины внутригрупповой изменчивости их физиологической структуры. Например, логический анализ получаемых при помощи факторного метода результатов с привлечением данных молекулярной биологии позволяет исследовать физиологический гомеостаз на разных уровнях организации (от молекулярного до популяционного) и определять внутренние и внешние параметры, влияющие на его стабильность и изменчивость [Гудкова, 2008].

В предлагаемой статье будут кратко рассмотрены два аспекта популяционной физиологии человека: изменчивость физиологических переменных и сравнение физиологических статусов популяций как целостной структуры.

### Материалы и методы

Актуальность сравнения контрастных в экологическом отношении популяций определила выбор регионов. Камчатка и Хакасия находятся в умеренной зоне, Туркмения, Каракалпакия, Казахстан – в аридной и Чукотка – в арктической. Климатогеографические характеристики последних двух зон относятся к экстремальным факторам, при действии которых в организме человека возникает состояние «динамического рассогласования» [Медведев, 1979], что в первую очередь приводит к изменению физиологических реакций. Чаще всего экстремальность рассматривается как комплексное явление, имеющее естественное и антропогенное происхождение.

Естественная экстремальность аридной зоны слабее, чем арктической. Но в Средней Азии ярко выражена сезонность климата: с середины мая до середины октября – жаркий и сухой, остальную часть года – влажный и холодный. Это позволяет сравнить физиологический статус одной и той же популяции в разных условиях.

В отличие от коренного населения пустыни люди, живущие на Крайнем Севере, постоянно подвергаются действию экстремальных факторов арктической зоны, к которым аборигены Арктики адаптировались тысячелетиями. Однако в последние десятилетия происходит резкое изменение их образа жизни, и коренное население Севера вынуждено приспособливаться к новой гетерогенной среде, сильно отличающейся от той, где прошла большая часть его естественной истории. В связи с этим аборигены Чукотки испытывают физиологический стресс от целого комплекса экологических факторов, как климатогеографических, так и социально-культурных [Гудкова, 2008].

Итак, были изучены выборки из популяций, живущих в умеренной (хакасы, камчадалы и мигранты Камчатки), аридной (туркмены, каракалпаки, казахи) и арктической (береговые чукчи, эскимосы) зонах. Бу-

дут обсуждаться только мужчины в возрасте от 20 до 50 лет; объем выборки – от 50 до 150 наблюдений.

Уровни физиологических показателей крови – гемоглобин, сывороточные протеины (общий белок, альбумин, альфа1-, альфа2-, бета-, гамма-глобулины), общий холестерин – были определены стандартными спектрофотометрическими методами. Для правильной интерпретации их внутригрупповой и межгрупповой изменчивости крайне важно соблюдать методическую сопоставимость.

Для сравнения физиологических статусов популяций в статье используется один из многомерных статистических методов, применяемых в популяционной физиологии человека, – дискриминантный анализ. При этом из набора признаков исключается уровень общего белка как сумма нескольких переменных (уровней альбумина и глобулинов), поскольку такая переменная не несет какой-либо новой информации, кроме той, которая содержится в ее компонентах, и потому является лишней [Клекка, 1989]. Для расчетов и графических построений использовалась программа Statistica-6.0.

#### **Сравнительный анализ внутригрупповой изменчивости физиологических признаков**

Интегрирующее воздействие комплекса факторов окружающей среды на популяцию зависит от свойств каждого индивида и от физиологических различий между ними. Адаптация к внешним условиям отдельных особей, а не групп или генов, культуры или общества [Фоули, 1990] приводит к тому, что в экстремальной ситуации гомеостатический разлад в организме каждого человека дестабилизирует равновесную систему популяция–среда. В обстановке меняющейся среды популяция «должна обладать достаточным наследственным запасом изменчивости, который создавал бы возможность для приспособительных изменений» [Левонтин, 1981, с. 246].

В аридной зоне в жаркое время года под влиянием дискомфортных воздействий (высокая температура воздуха, дефолиация) происходит разлад в гомеостатической системе каждого человека, вызывающий как бы расширение диапазона толерантности популяции [Гудкова, 2008]. Различия между степенями изменчивости адаптивно значимых в аридной зоне признаков – уровней гемоглобина ( $F$ -критерий – 2,46) и альбумина (2,74) – у туркмен, обследованных весной и осенью, достоверны с вероятностью 0,99. Увеличение внутригрупповой изменчивости, больший размах вариационного ряда исследуемых признаков можно рассматривать как ответ популяции на сигналы неблагоприятия, поступающие из окружающей среды. В «осенней» выборке туркмен (обследованных

в жаркое время года) распределение уровней гамма-глобулинов (признак, отражающий иммунную устойчивость популяции) характеризуется островершинностью, что может свидетельствовать о серьезном напряжении иммунной системы в экстремальных условиях аридной зоны. В «осенней» выборке по сравнению с «весенней» (туркмены, обследованные до наступления жары) отмечается статистически достоверная асимметрия, указывающая на преобладание индивидов, физиологический гомеостаз которых стремится сохранить свою устойчивость, несмотря на воздействие неблагоприятных климатических факторов (табл. 1). Таким образом, различное выражение приспособленности у отдельных индивидов определяет популяционную изменчивость физиологических реакций, которые, как было отмечено выше, являются основой всех адаптаций.

В популяциях аридной зоны вне влияния возмущающих средовых факторов изменчивость уровней физиологических показателей крови снижается, а средние величины переменных оказываются весьма сходными. Этот результат можно рассматривать как проявление стабильности уровней физиологических показателей крови у обследованного населения.

В арктических популяциях ситуация иная [Гудкова, 2008]. Средние уровни физиологических показателей крови у береговых чукчей и эскимосов, несмотря на единство экологических факторов (социально-культурных и климатогеографических), различаются существенно. Сходными оказались лишь средние величины альбумина и гамма-глобулинов, но внутригрупповая вариабельность этих признаков у эскимосов заметно больше, чем у чукчей. Например, коэффициент вариации уровня гамма-глобулинов равен соответственно 41,4 и 26,7 %. Дисперсионный анализ показал, что различия между степенями изменчивости этого признака (1,44) у эскимосов и береговых чукчей достоверны с вероятностью 0,95.

При анализе кривых распределения (табл. 2) для уровней альфа2-, бета- и гамма-глобулинов у эскимосов, а также для гамма-глобулинов и холестерина у чукчей получилась статистически достоверная положительная (правосторонняя) асимметрия, которая указывает на преобладание в выборках индивидов с большими и максимальными величинами признаков. Статистически достоверный положительный эксцесс, характеризующий островершинное распределение, отмечает, в свою очередь, более плотную концентрацию этих признаков около центральной тенденции. Полученные результаты свидетельствуют о нарушении физиологического гомеостаза обеих популяций, но степень реакции на стрессоры у береговых чукчей и эскимосов различна. Хотя обе группы находятся в экстремальных условиях, складывается впечатление, что эскимосы в значительно

Таблица 1. Статистические показатели физиологических признаков у туркмен

Признаки	$\bar{x}$	<i>Me</i>	<i>Mo</i>	<i>As</i>	<i>Ex</i>
<i>Весна</i>					
Гемоглобин, г/л	142	143	146	-0,23	-0,22
Общий белок, г/л	78,1	78,1	79,7	0,17	-0,15
Альбумин, г/л	42,7	43,0	43,1	-0,16	-0,26
Глобулины, г/л:					
альфа 1	4,9	4,9	4,3	0,52	0,89
альфа 2	6,7	6,8	7,2	0,04	-0,51
бета	10,2	10,1	9,6	0,36	-0,31
гамма	13,6	13,2	11,7	0,71	-0,20
Холестерин, ммоль/л	4,47	4,35	4,07	0,31	-0,82
<i>Осень</i>					
Гемоглобин, г/л	161	160	180	-0,41	0,06
Общий белок, г/л	79,8	80,3	80,9	0,05	1,48
Альбумин, г/л	53,9	54,7	55,2	-0,29	-0,05
Глобулины, г/л:					
альфа 1	3,9	3,6	3,5	0,74	0,41
альфа 2	5,2	5,3	5,5	0,27	0,34
бета	7,5	7,3	5,8	0,82	0,69
гамма	9,3	8,9	7,8	0,80	1,27
Холестерин, ммоль/л	3,99	3,83	3,70	0,53	0,11

Примечание:  $\bar{x}$  – средняя арифметическая, *Me* – медиана, *Mo* – мода, *As* – коэффициент асимметрии, *Ex* – коэффициент эксцесса (центрированный).

■  $p < 0,01$     ■  $p < 0,05$

Таблица 2. Статистические показатели физиологических признаков у чукчей и эскимосов\*

Признаки	$\bar{x}$	<i>Me</i>	<i>Mo</i>	<i>As</i>	<i>Ex</i>
<i>Чукчи</i>					
Гемоглобин, г/л	146	146	154	0,10	-0,85
Общий белок, г/л	75,9	75,5	75,7	0,39	0,12
Альбумин, г/л	46,5	47,2	47,5	-0,20	-0,08
Глобулины, г/л:					
альфа 1	3,3	3,1	3,6	0,51	-0,21
альфа 2	4,9	4,8	5,6	0,39	-0,02
бета	7,7	7,8	6,9	0,51	-0,18
гамма	13,4	13,1	14,5	0,89	0,90
Холестерин, ммоль/л	5,57	5,39	5,91	1,09	1,71
<i>Эскимосы</i>					
Гемоглобин, г/л	137	137	135	0,03	-0,24
Общий белок, г/л	80,2	80,1	81,9	0,45	0,26
Альбумин, г/л	48,5	48,9	45,0	-0,48	-0,05
Глобулины, г/л:					
альфа 1	3,6	3,6	4,1	-0,23	0,06
альфа 2	6,7	6,3	6,1	1,14	1,58
бета	8,8	8,6	8,8	1,26	2,82
гамма	12,6	10,9	10,9	1,60	2,85
Холестерин, ммоль/л	6,61	6,43	7,47	0,50	0,53

\*См. примеч. к табл. 1.



большей степени, нежели береговые чукчи, испытывают физиологический стресс.

Количественные признаки, «несущие значительную паратипическую компоненту», более других подвержены изменениям в зависимости от социально-экологических факторов. В последнее время среди многих популяций наблюдается «так называемый секулярный тренд, включающий увеличение средних значений некоторых антропометрических признаков, уменьшение их изменчивости, нормализацию кривых распределений». Такая тенденция связывается «с социальным прогрессом, способствующим уменьшению средовой компоненты дисперсии количественного признака и наиболее полной реализации генотипа в фенотип» [Курбатова, Ботвиньев, Алтухов, 1991, с. 1229]. При попытке экстраполировать тенденцию в изменчивости антропометрических признаков на физиологические наталкиваемся на диаметрально противоположную ситуацию у эскимосов. Примерно через 10 лет после нашей работы на Чукотке Е.Р. Бойко [1990], определив метаболические показатели всего лишь у 16 эскимосов, получил среднюю величину уровня холестерина 6,17 ммоль/л, т.е. ниже, чем в нашей выборке (табл. 2). Такое снижение можно считать положительным явлением, но очень высокий для этого признака коэффициент вариации (47,3 %) обескураживает. В выборке обследованных нами эскимосов он равен 17,0 %. Что касается чукчей, то данные, приведенные в работе Е.Р. Бойко, совпадают с нашими [Гудкова, 2008].

Итак, физиологические признаки способны варьировать в определенных пределах, соответствующих своему генотипу. И на сегодняшний день оценка приспособленности популяций только средними величинами физиологических переменных «по своему существу может рассматриваться как примитивная». Значительно более прогрессивна оценка, строящаяся «на анализе конкретной ситуации и конкретных соот-

ношений, при котором позитивный результат может извлекаться в том числе из явлений и отношений, которые первично с позиции устойчивости и норм воспринимаются как дестабилизирующие» [Пузаченко, 1992, с. 4]. Иной раз только по одной форме статистического распределения адаптивно значимого признака можно судить о степени отягощенности популяции [Алтухов, Курбатова, 1990]. В этом контексте внутригрупповая изменчивость физиологических признаков представляется основным критерием состояния адаптированности популяций; и наиболее прогностически надежным будет ее анализ в динамике, что позволит отделить временные обратимые изменения (популяции аридной зоны) физиологического гомеостаза в системе популяция–среда от возможной дезадаптированности (популяции арктической зоны).

### Дискриминантный анализ межгрупповых различий физиологического статуса

Сравнение выборок из популяций умеренной зоны показало, что физиологический статус хакасов достоверно отличается от такового мигрантов Камчатки и камчадалов (табл. 3, рис. 1), которые как группы из одного региона без экстремальных проявлений окружающей среды близки между собой (различия статистически недостоверны:  $F = 1,55$ ;  $p < 0,15$ ). Наибольший стандартизованный коэффициент в выборках умеренной зоны у уровня альбумина. Все остальные признаки менее значимы, как минимум, вдвое. Следует заметить, что вклад переменных в значение дискриминантных функций при анализе физиологического статуса мужских выборок из популяций умеренной зоны логичен и соответствует представлениям о половом диморфизме уровней физиологических показателей

Таблица 3. Результаты дискриминантного анализа

Дискриминантная функция	Собственное значение	Относительный процент	Каноническая корреляция	Значение $\lambda$ -статистики Уилкса	$\chi^2$	Степени свободы	Уровень значимости ( $p$ )
<i>Умеренная зона</i>							
1	0,527	91,40	0,587	0,624	86,35	14	0,000
2	0,050	8,60	0,217	0,953	8,86	6	0,181
<i>Аридная зона</i>							
1	1,827	74,61	0,804	0,209	446,52	21	0,000
2	0,478	19,53	0,569	0,592	149,83	12	0,000
3	0,143	5,86	0,354	0,875	38,25	5	0,000
<i>Арктическая зона</i>							
1	1,036	65,40	0,713	0,317	202,01	14	0,000
2	0,548	34,60	0,595	0,646	76,90	6	0,000

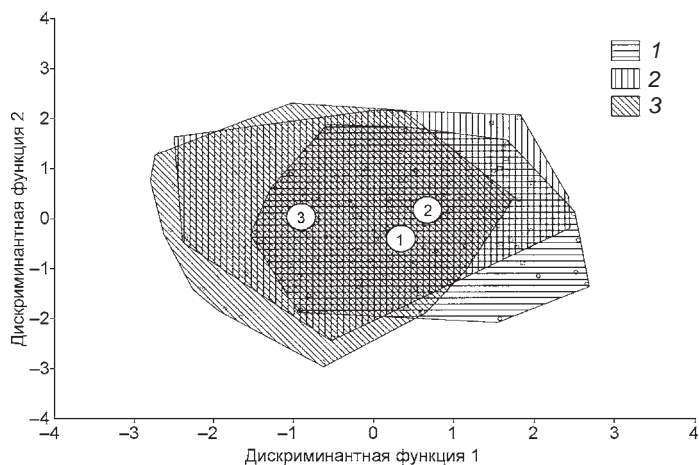


Рис. 1. Дискриминантный анализ физиологического статуса выборок из популяций умеренной зоны.  
1 – камчадалы; 2 – мигранты Камчатки; 3 – хакасы.

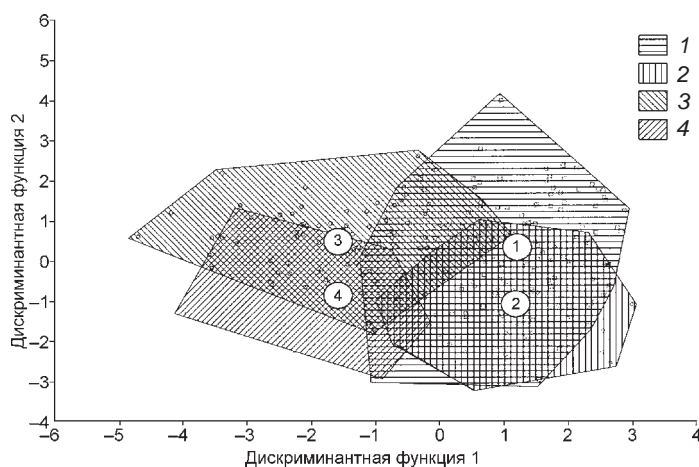


Рис. 2. Дискриминантный анализ физиологического статуса выборок из популяций аридной зоны.  
1 – туркмены, обследованные осенью; 2 – каракалпаки; 3 – казахи; 4 – туркмены, обследованные весной.

Таблица 4. Классификационная матрица выборок из популяций умеренной зоны (процентное соотношение)

Исходные выборки	Предполагаемые выборки		
	Камчадалы	Мигранты	Хакасы
Камчадалы	18,61	46,51	34,88
Мигранты	6,49	79,22	14,29
Хакасы	4,35	18,84	76,81

крови (максимальная нагрузка в женских выборках приходится на уровень гамма-глобулинов).

При проведении процедуры классификации оказалось, что наибольший процент правильно классифицированных по физиологическому статусу инди-

видов оказался в выборке мигрантов (табл. 4). Процентное содержание как мера точности прогноза относится к наиболее важной дискриминантной информации. Доля правильных предсказаний в выборке камчадалов не может считаться корректной, т.к. ожидаемая точность случайной классификации трех выборок составляет 33 %. Относительно большой процент камчадалов, диагностированных как мигранты, указывает, в свою очередь, на сходство физиологического статуса этих двух популяций. Может быть, кроме экологического фактора, на полученный результат повлияло и смешанное происхождение камчадалов. Таким образом, идентифицировать камчадалов по физиологическому статусу с достаточной точностью не представляется возможным.

Анализ материалов из аридной зоны показал статистически достоверные различия физиологического статуса всех выборок (см. табл. 3, рис. 2). В очередной раз проявилось своеобразие казахской выборки [Гудкова, 2008]; ее «переходная» суть на момент обследования: большая внутригрупповая изменчивость, как в «осенней» выборке туркмен, и сближение с «весенней» по центроидам в координатах первой дискриминантной функции, где максимальную значимость канонических переменных определяет уровень альбумина. Этот признак, играющий важную роль в приспособлении к экстремальным факторам аридной зоны, имеет самый большой вес и в женских выборках. Во второй дискриминантной функции самый высокий стандартизованный коэффициент у уровня гемоглобина (у женщин то же самое), который также является адаптивно значимым признаком в условиях жаркого климата пустынь. Таким образом, экстремальный прессинг четко отделил по первой дискриминантной функции физиологический статус туркмен и каракалпаков, обследованных в жаркое время года, от такового туркмен из «весенней» выборки и казахов. Антропогенные факторы (дефолиация хлопчатника), повлиявшие на физиологический статус каракалпаков, определили, в свою очередь, разделение системы переменных у них и туркмен.

В классификации выборок из популяций аридной зоны наибольший интерес представляет дискриминация двух выборок туркмен, обследованных в разные сезоны (табл. 5). Получилось, что только 2,5 % туркмен из «осенней» выборки попадает в «весеннюю», и никто из последней не диагностирован как обследованный осенью. Процентное содержание корректных классификаций (для четырех

Таблица 5. Классификационная матрица выборок из популяций аридной зоны (процентное соотношение)

Исходные выборки	Предполагаемые выборки			
	Туркмены (осень)	Каракалпаки	Казахи	Туркмены (весна)
Туркмены (осень)	83,05	10,17	4,24	2,54
Каракалпаки	30,00	62,00	4,00	4,00
Казахи	17,72	0	74,68	7,60
Туркмены (весна)	0	4,44	26,67	68,89

выборок случайный вариант составляет 25 %) можно считать значительным; особенно велика доля точных предсказаний в выборке туркмен, обследованных в экстремальной ситуации. Интересно, что, несмотря на воздействие антропогенных факторов, влияющих на уровни отдельных физиологических показателей крови, в целом физиологический статус каракалпаков оказался довольно сходным с таковым туркмен из «осенней» выборки: в эту выборку попали 30 % каракалпакских мужчин.

Популяции арктической зоны представлены в нашем исследовании только эскимосами и береговыми чукчами, а для получения двумерного графического изображения по условиям дискриминантного анализа необходимо оперировать, как минимум, тремя совокупностями, поэтому была взята выборка из умеренной зоны. Согласно традициям, сложившимся в антропологии, и по причине отсутствия экологически экстремальной ситуации в этой зоне наиболее подходящим фоном для анализа различий физиологического статуса эскимосов и чукчей представляется выборка мигрантов Камчатки.

Дискриминантный анализ системы физиологических признаков в графическом изображении (рис. 3) дает генерализованное представление о как бы промежуточном положении эскимосов между мигрантами и чукчами. Все различия статистически достоверны (см. табл. 3). Полученный результат хорошо трактуется с позиции нарушения физиологического гомеостаза у эскимосов, например, под влиянием перехода на «европейский стиль» питания. К этому же выводу можно прийти, рассматривая стандартизованные коэффициенты. Самые высокие нагрузки по первому дискриминатору приходятся на уровни бета-глобулинов. Максимальный вклад в значение второй функции вносят уровни альфа2-глобулинов. Заметим, что 35 % изменчивости, которые она описывает, – довольно большая величина. Поэтому самые существенные нагрузки по обеим функциям на уровни бета- и альфа2-глобулинов – признаки, связанные с углеводным и липид-

ным обменом, – имеют определенное значение для интерпретации особенностей физиологического статуса аборигенов Чукотки [Гудкова, 2008].

Процедура классификации показала (табл. 6), что доля правильно классифицированных по физиологическому статусу эскимосов значительно меньше, чем береговых чукчей. Дискриминантная информация, которую представила классификационная матрица, уточнила положение эскимосов, отображенное на рис. 3. По физиологическому статусу 16 % эскимосов попадают в выборку чукчей, 22 % – в выборку мигрантов. Как видно, процедура классификации для популяции эскимосов оказалась недостаточно эффективной:

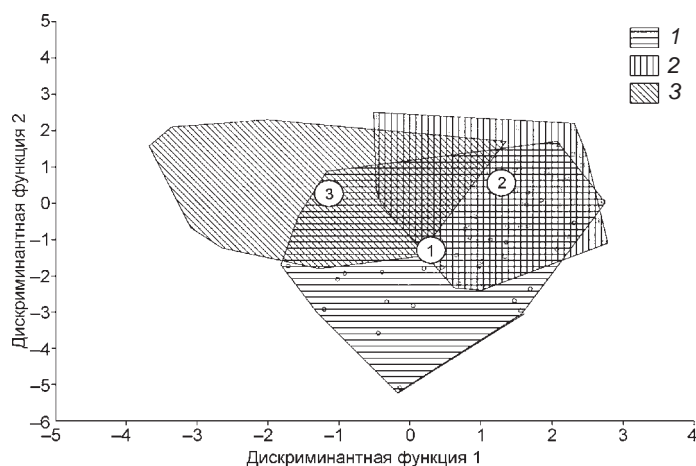


Рис. 3. Дискриминантный анализ физиологического статуса выборок из популяций арктической зоны. 1 – эскимосы; 2 – береговые чукчи; 3 – мигранты Камчатки.

Таблица 6. Классификационная матрица выборок из популяций арктической зоны (процентное соотношение)

Исходные выборки	Предполагаемые выборки		
	Эскимосы	Чукчи	Мигранты
Эскимосы	61,22	16,33	22,45
Чукчи	7,02	85,96	7,02
Мигранты	9,21	6,58	84,21



процент корректных определений существенно ниже, чем в выборках чукчей и мигрантов. Таким образом, результаты классификации отразили особенности физиологического статуса эскимосов.

Итак, величина канонической корреляции, значения  $\lambda$ -статистики Уилкса и стандартизованных коэффициентов, классификационная матрица и, наконец, возможность визуального восприятия разделения выборок по системе признаков – все это делает дискриминантный анализ чрезвычайно чувствительным инструментом оценки межгрупповых различий целостной структуры физиологического статуса популяций.

### Заключение

Традиционные способы изучения физиологического статуса популяций включают определение средней арифметической величины, дисперсии, коэффициента вариации и анализ кривых распределения отдельных физиологических признаков. При системном подходе в качестве одного из существенных механизмов интеграции рассматривается корреляция, и поэтому корреляционный метод также имеет широкое применение в популяционной физиологии человека. Актуальность изучения физиологического статуса как целостной структуры определило использование методов многомерной биометрии (факторный, дискриминантный, кластерный и канонический). Они предоставили новые возможности для анализа внутри- и межгрупповой изменчивости системы переменных. Многомерные методы позволяют установить различие или сходство физиологического статуса популяций и объяснить их с позиций экологического своеобразия, адаптированности или дезадаптированности.

Различные оценки физиологического состояния популяции могут успешно применяться при рассмотрении экологических проблем населения. Можно, например, рассчитать усредненный показатель изменчивости физиологических переменных как составляющих системы, чтобы увидеть адекватность популяции окружающей ее среде. Воздействие целого ряда экологически значимых антропогенных факторов вызывает существенные изменения в физиологическом гомеостазе популяций. Правильная трактовка этих изменений при помощи различных биометрических методов имеет важное значение для разработки эффективных мер защиты населения.

### Список литературы

- Алексеева Т.И.** Географическая среда и биология человека. – М.: Мысль, 1977. – 302 с.
- Алексеева Т.И.** Адаптивные процессы в популяциях человека. – М.: Изд-во Моск. гос. ун-та, 1986. – 216 с.
- Алексеева Т.И.** Адаптация человека в различных экологических нишах Земли (экологические аспекты). – М.: Изд-во Междунар. независимого экол.-политол. ун-та, 1998. – 279 с.
- Алтухов Ю.П., Курбатова О.Л.** Проблемы адаптивной нормы в популяциях человека // Генетика. – 1990. – Т. 26, № 4. – С. 583–598.
- Анохин П.К.** Общие вопросы физиологических механизмов: Анализ и модели развития физиологических систем. – М.: Наука, 1970. – 326 с.
- Бойко Е.Р.** Метаболические особенности у представителей малочисленных народностей Севера: Автореф. дис. ... канд. биол. наук. – Ташкент, 1990. – 24 с.
- Гудкова Л.К.** Популяционная физиология человека: Антропологические аспекты. – М.: Литература, культура, искусство, 2008. – 316 с.
- Животовский Л.А.** Популяционная биометрия. – М.: Наука, 1991. – 271 с.
- Клекка У.** Дискриминантный анализ // Факторный, дискриминантный и кластерный анализ. – М.: Финансы и статистика, 1989. – С. 78–138.
- Курбатова О.Л., Ботвиньев О.К., Алтухов Ю.П.** Адаптивная норма и стабилизирующий отбор по антропологическим признакам при рождении // Генетика. – 1991. – Т. 27, № 7. – С. 1229–1240.
- Левонтин Р.** Адаптация // Эволюция. – М.: Мир, 1981. – С. 241–264.
- Медведев В.И.** Психологические реакции человека в экстремальных условиях // Экологическая физиология человека. – М.: Наука, 1979. – С. 525–570.
- Пузаченко Е.Г.** [Предисловие] // Проблемы устойчивости биологических систем. – М.: Наука, 1992. – С. 3–4.
- Сапунов В.Б.** Взаимоотношение генетических и физиологических механизмов при адаптации на популяционном уровне: Автореф. дис. ... д-ра биол. наук. – Красноярск, 1990. – 52 с.
- Солбриг О., Солбриг Д.** Популяционная биология и эволюция. – М.: Мир, 1982. – 488 с.
- Фоули Р.** Еще один неповторимый вид. – М.: Мир, 1990. – 368 с.
- Шмальгаузен И.И.** Факторы эволюции. – М.: Наука, 1968. – 452 с.
- Cannon W.** The Wisdom of the Body. – N.Y.: W.W. Norton & Company, Ync., 1932. – 312 p.

*Материал поступил в редколлегию 15.05.08 г.*