

КОМПЛЕКСНЫЙ ПОДХОД К ИЗУЧЕНИЮ ПРОЦЕССОВ АДАПТАЦИИ ЧЕЛОВЕКА К ЭКСТРЕМАЛЬНОЙ СРЕДЕ ОБИТАНИЯ

А.В. Степанова

НИИ и Музей антропологии МГУ, Москва

Комплексный подход к проблеме биологической адаптации человека является необходимым компонентом для изучения возможностей функциональной, генетической, экологической и эволюционной адаптации популяций к условиям среды. Представлена информация о распределении количественных показателей гормонального статуса и выявлен системный характер реакций эндокринных желез у коренных жителей Памира. Среди них: 1) популяция киргизов поселка Джиргаталь (2000 м над уровнем моря), 2) население таджиков кишлака Пастхуф (2000 м над уровнем моря), 3) таджики кишлака Хуф, (3000 м); 4) популяции киргизов и таджиков поселка Мургаб (3600 м над уровнем моря). Общая численность памирцев составляет 573 человека (315 мужчин и 258 женщин). Для всех популяций получены распределения частот фенотипов и частот аллелей. Показана устойчивая во времени модель морфологической структуры популяций, существенно зависящая от общего фона среды. В рамках дискриминантного анализа получены закономерности соотносительной изменчивости изученных признаков. Показано, что разные системы организма, детерминированные различными комплексами генов, обнаруживают между собой устойчивую, статистически значимую взаимосвязь, которая исключительно сложна по своим механизмам и строится на разнообразии компенсаторно-приспособительных реакций. Существование таких взаимоотношений может служить механизмом сохранения генетической изменчивости по адаптивно важным признакам.

Ключевые слова: адаптация, гормональный статус, генетические маркеры, морфологическая структура, популяции Памира, комплексный подход

Введение

Адаптация – фундаментальное и всепроникающее явление биологии человека, совокупность биосоциальных свойств и особенностей организма, обеспечивающих его устойчивое существование в конкретной экологической среде обитания. Под адаптацией понимают «новую наследственно закрепленную форму, возникающую в результате элиминации неустойчивых в данных условиях фенотипов» [Алексеева, 1977, 1998].

Процесс приспособления организма к окружающей среде, как одной из главных составляющих биологической истории человечества, представляет универсальное явление. Происходящие в организме в ходе адаптации сдвиги касаются всех его уровней – от субклеточного и молекулярного до целого организма. Приспособительные реакции человека могут осуществляться как на уровне

не акклиматизаций, генетически определяемых нормой реакции, так и на уровне эволюционных адаптаций, обусловленных действием естественного отбора. В ходе эволюционной адаптации как наиболее длительного процесса приспособления к среде, осуществляемого на протяжении многих поколений, происходит накопление новой и перераспределение уже имеющейся генетической информации.

Комплексный подход к проблеме биологической адаптации человека является необходимым компонентом для изучения возможностей функциональной, генетической, экологической и эволюционной адаптации к условиям среды. Такая позиция отражает интегративный принцип в изучении биологического статуса человека. Любая адаптивная перестройка сопряжена с вовлечением в процесс определенных биохимических механизмов и неизбежно сопровождается перестройкой

гомеостатических систем организма. Само явление гомеостаза рассматривается как постоянное уравновешивание ритмов биологических процессов с ритмами многочисленных и разнообразных воздействий на организм [Саркисов и др., 1975]. Гармоническая совокупность структурно-функциональных данных организма характеризует адекватность окружающей его среде и обеспечивает организму оптимальную жизнедеятельность.

Изучение изменчивости показателей гормонального статуса, генетических маркеров и морфологических признаков и обнаружение ассоциации между ними является очередным шагом в разработке сложной и важной проблемы интеграции генома на разных уровнях. Эндокринные железы, как и всякий регуляторный аппарат, очень чутко реагируют на изменения внешней и внутренней среды организма изменением своего функционального состояния. Базовый уровень гормонов крови является наиболее чувствительным показателем физиологического состояния и, как типичная количественная характеристика, служит важнейшим интегральным показателем функциональной активности организма, которая моделируется под воздействием различных факторов. Выработку каждого гормона рассматривают как один из процессов, направленных на регуляцию определенных физиологических функций и являющихся автоматическими звеньями единой функциональной системы гуморального регуляторного механизма [Комаров и др., 1981, цит. по: Хайдарлиу, 1984; Бец, 2000].

Специфика фенотипического проявления молекулярных признаков состоит в том, что они часто отражают не только нормальную изменчивость, а маркируют некоторые патологические состояния, связанные с нарушениями физиологических функций и нарушениями обмена веществ. Молекулярные признаки никогда не бывают безразличными для человеческого организма, заведая такими фундаментальными функциями как адаптивные свойства, иммунологическая реактивность, сбалансированность обмена. Для молекулярных признаков характерен простой тип наследования. Это позволяет определять концентрацию тех или иных аллелей в отдельных популяциях и, таким образом, переходить от фенотипических характеристик популяций и рас к их генотипу. Молекулярные признаки отражают физиологические, биохимические и иммунологические особенности кровяной системы – важнейшей внутренней системы организма, тонко уравновешивающей всю его жизнедеятельность, великолепно сбалансированной в эволюционно-генетическом смысле, четко реагирующей на изменения

внешней среды и управляющей приспособлением к ней [Алексеев, 1974].

Изучение морфологической структуры и разных вариантов телосложения является информативным, так как она имеет двойственную природу, сочетая как достаточно устойчивые во времени основные свойства, так и несомненную лабильность под действием различных факторов среды. При этом специфические особенности в соотносительном развитии основных компонентов сомы, имеют реальную биохимическую основу, связанную с уровнем гормональных показателей, определяющих различия метаболизма.

Таким образом, изучение основных закономерностей изменчивости показателей гормонального статуса и полиморфных генетических систем, особенностей телосложения, их взаимосвязи как на внутригрупповом, так и на межгрупповом уровне в представленных этно-территориальных группах является актуальной проблемой для современной антропологии и биологии человека.

Материалы исследования

В настоящей работе использованы данные обследования коренных жителей Памира, проживающих на разных уровнях высот и принадлежащих к разным этносам. Среди них: 1) популяция киргизов поселка Джиргаталь, находящегося на территории Верхнего Каратегина (2000 м над уровнем моря); 2) население таджиков кишлака Пастхуф (нижнее течение реки Хуф, 2000 м над уровнем моря); 3) таджики кишлака Хуф, расположенного в Западном Памире на высоте 3000 м; 4) популяции киргизов и таджиков поселка Мургаб, лежащего на плато Центрального Памира (3600 м над уровнем моря). Общая численность памирцев составляет 573 человека (315 мужчин и 258 женщин). Возрастной интервал обследованных – 18–77 лет.

Результаты и обсуждение

Население высокогорных регионов привлекает внимание исследователей как эволюционно сложившаяся модель адаптации организма к окружающей среде обитания. В течение длительного проживания в суровых климатических условиях сформировался высокогорный адаптивный тип [Алексеева, 1998], обладающий рядом морфофункциональных черт. Особенности их биоло-

гической организации позволяют в сложной экологической ситуации оптимизировать энергетические, терморегуляционные и гемодинамические процессы в организме.

Исследовался *гормональный профиль* по половым (тестостерон, эстрадиол), тиреоидным (трийодтиронин, тироксин) гормонам и тропным гормонам гипофиза (ТТГ, СТГ).

Физиологическая роль гормонов многообразна и реализуется на всех уровнях организации живого. Половые гормоны выступают как регуляторы многих жизненных процессов, оказывают существенное влияние на развитие всех систем организма, обладают мощным анаболическим и формообразовательным эффектом и четкой генетической детерминацией. Известна их первостепенная роль в дифференциации темпов онтогенеза, определении биологического возраста и конституционального статуса индивида. Половые стероиды рассматриваются как один из информативных критериев адаптированности популяций к экстремальным условиям существования.

Велик спектр действия и тиреоидных гормонов на функции организма. Они играют важную роль в регуляции морфогенеза, оказывая непосредственное влияние на рост и развитие, на процессы органогенеза и гистогенеза, на развитие костной ткани; влияют на синтез ДНК, РНК и многих ферментов; на функцию и развитие нервной системы, на работу сердца; стимулируют все уровни обмена, участвуют в регуляции содержания уровня глюкозы в крови. Их калоригенное действие проявляется в усилении окислительных процессов и повышении образования тепла, что способствует приспособлению организма к низкой температуре окружающей среды.

Важная роль в процессах адаптации принадлежит также соматотропному гормону. Он влияет на рост и созревание организма от момента рождения до подросткового периода. С прекращением линейного роста СТГ выступает в роли метаболического гормона, затрагивая различные стороны всех видов обмена. Во взрослом организме СТГ играет роль адаптивного гормона. Достаточно широк спектр его физиологических эффектов в организме: усиление синтеза белков, выраженного влияния на скелетный возраст, развитие костной, мышечной, сердечно-сосудистой, нервной систем. СТГ является важным фактором энергетического обмена, оказывающим жиромобилизующее и гипергликемическое действие, и относится к контринсулярным гормонам.

Нами были установлены определенные закономерности распределения изученных гормональных показателей у населения Памира, которые

характеризуются пониженными значениями, соответствующими нижней границы «нормы» для равнинных популяций или даже выходящими за ее пределы. Снижение уровней гормонов объясняется следствием эволюционных адаптивных процессов в изолированных популяциях высокогорья, где стойкая гипоксия и другие факторы экстремальной среды угнетают их секрецию и определяют скорость и направление адаптационных процессов, и является маркером экологического неблагополучия популяции [Бец, Степанова, 2000]. Проявления общего адаптационного синдрома при действии на организм стрессовых факторов обусловлены специфическим характером и определенной последовательностью вовлечения эндокринных желез в ответную реакцию, причем во многом они зависят от исходного физиологического состояния желез внутренней секреции, а также от биологического значения силы и продолжительности действия стрессора [Хайдарлиу, 1984]. Полученные результаты совпадают с положением, что эндокринная система, являясь одной из важнейших управляющих систем, обеспечивает успешность хода адаптации к внешним факторам среды путем возможного возникновения в ней целесообразных адаптивных реакций [Дильман, Орфеев, 1966].

Глубина и значительность адаптивных перестроек эндокринного профиля, влияние гормонального статуса на адаптацию и поддержание гомеостаза дает основание предположить наличие ассоциативных связей между уровнем гормонов и *генетическим полиморфизмом*. Первым и необходимым этапом популяционно-генетического изучения уровней гормонов является анализ общей фенотипической изменчивости этих параметров по генетическим полиморфным системам.

Принимая во внимание функциональную нагрузку ферментных и других систем, используемые нами генетические системы биохимических маркеров можно подразделить на следующие категории:

- 1) биохимические системы, участвующие в процессах гликолиза – фосфоглюкомутаза (PGM1), 6-фосфоглюконат-дегидрогеназа (6-PGD);
- 2) ферменты, влияющие на кислородтранспортную функцию крови - фосфогликолатфосфатаза (PGP), глиоксалаза-1 (GLO-1);
- 3) белки, участвующие в обмене и депонировании железа – гаптоглобин (HP), трансферрин (TF);
- 4) системы групп крови – ABO, MN, резус (RH);
- 5) прочие генетические маркеры – группоспецифический компонент (GC), эстераза D (ESD), эритроцитарная кислая фосфатаза (ACP1),

аденилаткиназа (АК), консистенция ушной серы (Serumen), ощущение вкуса фенилтиокарбамида (РТС).

В признаках, характеризующих изменчивую часть генофонда коренных жителей Памира, не было зафиксировано резко выраженного комплекса черт, которые могли бы явиться следствием генетической адаптации к экстремальным условиям среды. Нами было показано, что практически для всех вошедших в анализ полиморфных генетических систем получено удовлетворительное соответствие распределения наблюдаемых частот фенотипов теоретически ожидаемому согласно закону Харди-Вайнберга. Показано, что в исследуемых группах Памира наблюдается определенное соответствие региональному характеру распространения генетической изменчивости на азиатском материке. Гетерогенность населения этого региона отразилась в различиях частот ряда полиморфных генетических систем; в первую очередь по локусам Serumen, Rh, ESD, ACP, MN и HP. Большинство этих различий во многом определяется особенностями распределения полиморфных признаков в европеоидных и монголоидных группах [Новорадовский, 1987].

Нами изучались *морфологические особенности* аборигенного населения, проживающего на разных высотах над уровнем моря. Были отмечены такие характерные для высокогорных популяций особенности, как относительное увеличение длинных костей скелета и более выпуклая форма грудной клетки, что хорошо согласуется с определением «высокогорного адаптивного типа», выделенного Т.И. Алексеевой [Алексеева, 1977, 1998]. В то же время увеличения тотальных размеров тела, параллельного возрастанию высоты места обитания над уровнем моря, в изученных популяциях Памира не выявлено. Напротив, обнаружено статистически достоверное снижение этих показателей у киргизов Мургаба, что может быть связано со спецификой экстремальных условий высокогорья. Согласно проведенному биоклиматическому зонированию [Шаназаров, 1999], поселок Мургаб относится к зоне некомпенсированного дискомфорта. По высокогорной классификации он занимает промежуточное положение между верхним ярусом обжитого высокогорья и нижней границей снежного нежилых высокогорья [Миррахимов, Гольдберг, 1978]. Данный высокогорный комплекс природно-климатических факторов оказывает отрицательное влияние на развитие ряда показателей.

Выявленные на фактическом материале специфические особенности в морфологической характеристике постоянных жителей Памира, при-

надлежащих к разным этническим группам и проживающих на разных высотах над уровнем моря, указывают на своеобразие путей морфологической адаптации, опосредованной комплексом физиологических функций.

Для выявления связей между изученными системами признаков нами был использован дискриминантный анализ, который отразил общую картину межгрупповой структуры, существующей в вариации отдельных наблюдений. На современном этапе развития антропологической науки именно комплексный подход к изучению проблемы биологической адаптации является наиболее актуальным и перспективным в плане решения проблем теоретических и прикладных вопросов приспособления человека к среде обитания.

В рамках дискриминантного анализа получены закономерности соотносительной изменчивости признаков (показатели гормонального статуса, генетические маркеры и морфологический статус) и косвенным образом показана связь между изученными системами. Рассчитанные дискриминантные функции позволили представить основные закономерности межгрупповой вариации и отделить выборки друг от друга. Общая картина межгрупповой структуры, существующей в вариации отдельных наблюдений, наглядно представлена на рисунке 1.

В данном случае в анализ были включены популяции таджиков Пастхуфа и Хуфа и киргизов Мургаба, поскольку именно эти группы изучены по наиболее полной программе: гормональный статус (T_3 , T_4 , ТТГ, СТГ, тестостерон, эстрадиол), генетические маркеры (15 полиморфных систем) и морфологические признаки (27 антропометрических параметров у мужчин и 16 – у женщин). Показано, что разные системы организма, детерминированные различными комплексами генов, обнаруживают между собой устойчивую, статистически значимую взаимосвязь.

Полученные взаимосвязи оказываются устойчивыми и при сравнении популяций, живущих в контрастных внешнесредовых условиях. В анализ была включена группа русских мужчин Новгородской области (собственные данные). В этом случае в программу вошли: уровень тестостерона, 8 генетических маркеров и 20 измерительных признаков. Необходимо отметить, что, поскольку в группе русских уровень тестостерона был определен только у 30 индивидов, анализ проводился с использованием метода замены отсутствующих данных средними значениями для выборки. Распределение полученных дискриминантных функций представлено на рисунке 2.

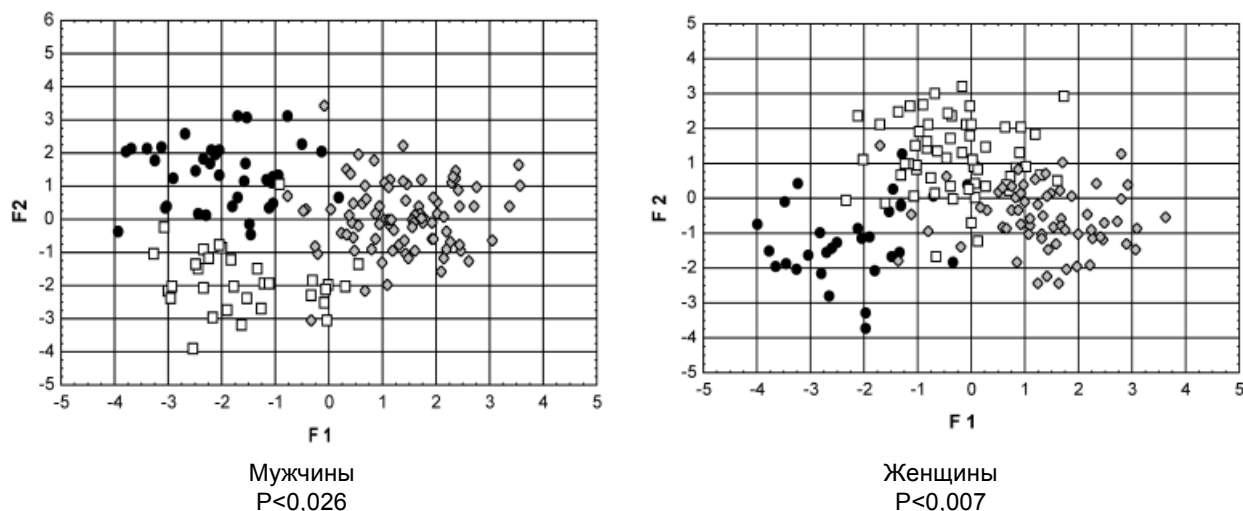


Рис. 1. Результаты дискриминантного анализа коренных жителей Памира (эндокринный статус, генетические маркеры, морфологические признаки)

● – Пастхуф, □ – Хуф, ◆ – Мургаб

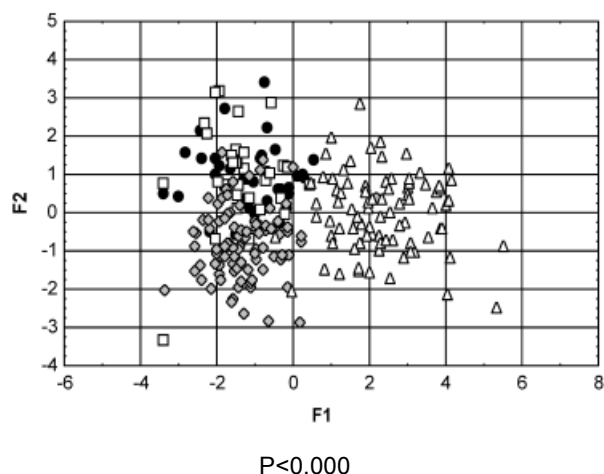


Рис. 2. Результаты дискриминантного анализа изученных групп (эндокринный статус, генетические маркеры, морфологические признаки)

△ – Новгородская область; ● – Пастхуф;
□ – Хуф; ◆ – Мургаб

Таким образом, наблюдается статистически значимая дифференциация групп различной этнической принадлежности и проживающих в контрастных климатогеографических условиях. При этом показана достоверная ассоциация между эндокринным статусом, генетическими полиморфизмами и морфологическими признаками. Гармоническая совокупность структурно-функциональных данных организма характеризует адекватность окружающей его среде и обеспечивает организму оптимальную жизнедеятельность.

Согласно современным представлениям биологический полиморфизм трактуется как устойчивое состояние, поддерживаемое стабилизирующим отбором и системной организацией популяций [Алтухов и др., 1996]. Детерминирующее и контролирующее действие гормонов, обусловленное последовательной активацией генетического аппарата клетки, создает оптимальные возможности функционирования самых разнообразных биологических систем. Отличительной чертой биологической подсистемы в системе человеческой индивидуальности является ее относительная жесткость, устойчивость [Русалов, 1979].

Нами были рассчитаны системы дискриминантных функций по комплексу морфологических признаков и гормональных показателей у киргизов Джиргаталя и Мургаба и у таджиков Пастхуфа и Хуфа (рис. 3). Результаты исследований подтверждают мнение о существенном значении гормонов как факторов морфогенеза в формировании и поддержании типов телосложения человека [Бец и др., 1999]. Множество переменных, связанных с высотой, условия окружающей экстремальной среды,

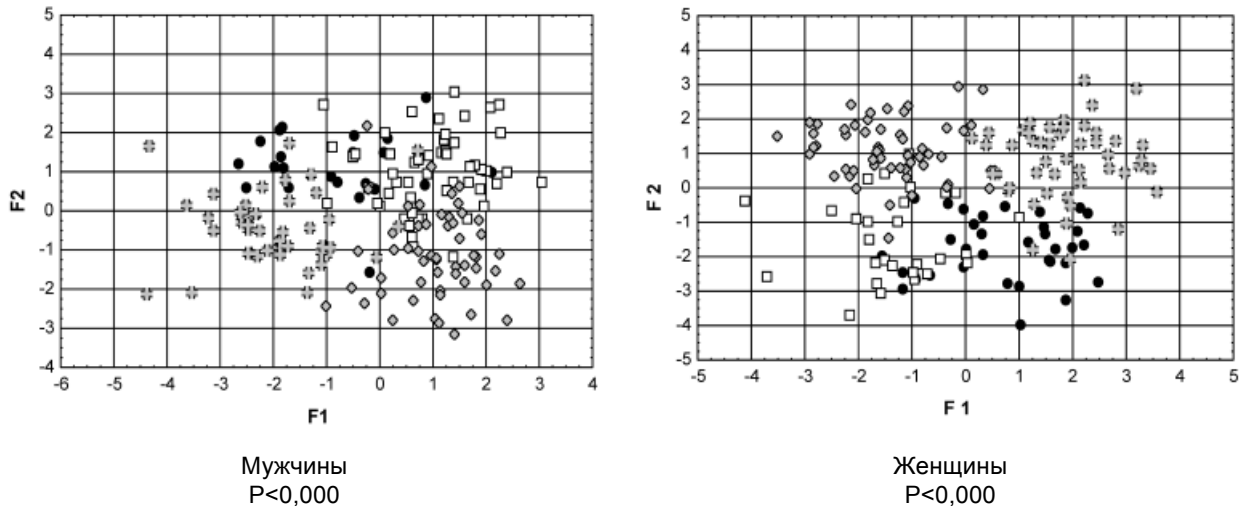


Рис. 3. Результаты дискриминантного анализа у коренных жителей Памира (эндокринный статус, морфологические признаки):

⊕ – Джиргаталя; ● – Пастхуф; □ – Хуф; ◆ – Мургаб

изолированность, самобытность, исторические и культурные ситуации обусловили отчетливые адаптивные реакции, проявившиеся в особенностях гормонального статуса и морфологических характеристик коренных жителей Памира.

Заключение

Таким образом, по совокупности данных о функциональной активности гормональных параметров, изменчивости генетических маркеров и морфологическому статусу рассмотрено соотношение групповых механизмов биологической приспособленности человека к условиям его существования. Функционирование организма в процессе взаимодействия его отдельных систем между собой и со средой невозможно без тончайшим образом сбалансированного биохимического аппарата. Проявление подобной сбалансированности лежит в обеспечении стабильности онтогенеза, которая является следствием взаимодействия большого числа генов, среди которых, вероятно, имеются те, которые играют модифицирующую роль, осуществляя супрагеномный уровень интеграции онтогенеза, и контролируют функционирование нейро-эндокринной системы [Трут, 1993].

В полигенных системах большинства количественных признаков есть не только гены, экспрессия которых относительно независима от среды [Gillespie, Turelli, 1989]. Имеются гены, которые обеспечивают пропорциональные вклады в признак в каждой среде, а также гены, которые моди-

фицируют средовые воздействия, и поэтому в разных средах эволюционируют до некоторой степени независимо [Трут, 1993]. И, наконец, в разных средах могут экспрессироваться различные части генома, из чего следует, что взаимоотношения генотип-среда могут быть силой, поддерживающей в гетерогенных во времени и пространстве средах генетическую изменчивость количественных признаков [Gillespie, Turelli, 1989; Jones et al., 1990].

Таким образом, показана роль генетических механизмов в формировании морфо-физиологических параметров – итога длительной эволюции, в ходе которой организм человека сформировался как высоко гомеостазированная система. Существование таких взаимоотношений может служить механизмом сохранения генетической изменчивости по адаптивно важным признакам. Представленные результаты комплексного исследования свидетельствуют об определяющей роли экологических факторов в формировании физиологических, биохимических и структурных особенностей организма и могут быть применены для разработки региональных норм в районах с разными климатическими условиями, а также как показатели здоровья человека.

Благодарность

Автор выражает благодарность за предоставленный уникальный материал Бец Л.В., Годиной Е.З., Спицыну В.А., Клевцовой Н.И.

Библиография

- Алексеев В.П. Молекулярные аспекты антропологии, М.: Знание, 1974.
- Алексеева Т.И. Географическая среда и биология человека. М.: Мысль, 1977.
- Алексеева Т.И. Адаптация человека в различных экологических нишах Земли (биологические аспекты), М.: Изд-во МНЭПУ, 1998.
- Алтухов Ю.П., Корочкин Л.И., Рычков Ю.Г. Наследственное биохимическое разнообразие в процессах эволюции и индивидуального развития // Генетика. 1996. Т. 32. № 1. С. 1450–1473.
- Бец Л.В. Антропологические аспекты изучения гормонального статуса человека. Автореф. дисс. ... докт. биол. наук, М., 2000.
- Бец Л.В., Степанова А.В., Година Е.З., Клевцова Н.И., Спицын В.А., Спицына Н.Х. Морфо-функциональные особенности коренных жителей Памира. 1999. Деп. в ВИНТИ 27.12.1999, № 3831-В99.
- Бец Л.В., Степанова А.В. Средовые и генетические факторы изменчивости гормонального профиля у коренных жителей Памира // Экология человека. Архангельск, 2000. № 1. С. 47–50.
- Дильман В.М., Орфеев Ю.В. Данные к изучению регуляции в эндокринных системах // Физиологический журнал. 1966. Т. 32. № 12. С. 1481–1485.
- Миррахимов М.М., Гольдберг П.Н. Горная медицина. Фрунзе: Кыргызстан, 1978.

- Новорадовский А.Г. Антропологические аспекты в исследовании генетико-биохимической изменчивости в популяциях Памира. Дисс. ... канд. биол. наук, М., 1987.
- Русалов В.М. Биологические основы индивидуально-психологических различий, М.: Наука, 1979.
- Саркисов Д.С., Пальцын А.А., Втюрин Б.В. Приспособительная перестройка биоритмов. М., 1975.
- Трут Л.Н. Альтернативен ли отбор изменчивости или комплементарен ей // Генетика. 1993. Т. 29. № 12. С. 1941–1952.
- Хайдарлиу С.Х. Функциональная биохимия адаптации, Кишинев: Штиица, 1984.
- Шаназаров А.С. Характеристика нетрадиционных форм деятельности и оценка работоспособности в условиях биоклиматического дискомфорта высокогорья // Физиология человека. 1999. Т. 25. № 2. С. 119–126.
- Gillespie J.H., Turelli M. Genotype-environment interactions and the maintenance of polygenic variation // Genetics. 1989. Vol. 121. P. 122–138.
- Jones P.M., Burrin J.M., Ghtein M.A., O'Halloran D.J., Legon S., Bloom S.R. The influence of thyroid hormone status on the hypothalamo-hypophysial growth hormone axis // Endocrinology. 1990. Vol. 126. N 3. P. 1374–1379.

Контактная информация:

Степанова А.В. Раб. тел.: (495) 629-55-45.

INTERDISCIPLINARY APPROACH TO THE STUDY OF THE PROCESSES OF HUMAN ADAPTATION TO EXTREME ENVIRONMENTAL CONDITIONS

A.V. Stepanova

Institute and Museum of Anthropology, MSU, Moscow

Interdisciplinary approach to the problem of biological adaptation of humans is necessary for the study of functional, genetic, ecological and evolutionary adaptation of human populations to environmental conditions. Data on hormonal levels of the Pamir native people are analyzed. The following groups of Pamir peoples were examined: 1) Kirghizs of Djirgatal village (2000 m above sea level), 2) Tadjiks of Pasthuf village (2000 m above sea level), 3) Tadjiks of Huf village (3000 m above sea level); 4) populations of Kirghizs and Tadjiks in Murgab settlement (3600 m above sea level). The total number of investigated people is 573 (315 males and 258 females). The systemic nature of endocrine reactions is revealed. For all the populations studied frequencies distributions of alleles and phenotypes are obtained. The model of morphological structure of the populations seems to be stable in time and strongly dependent on general environmental background. Results of discriminant analysis reveal the relationships between the traits studied. It is observed that different systems of the organism determined by different gene complexes show a stable and statistically significant relationship, which is based on intrinsic and very complicated mechanisms and includes the variety of compensatory-adaptive reactions. The presence of such relationships may serve as a mechanism of genetic variations for adaptive important characters.

Key words: *adaptation, hormonal levels, genetic markers, morphological structure, Pamir populations, interdisciplinary approach*