

**МОСКОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ  
имени М.В.ЛОМОНОСОВА**

*На правах рукописи*



**Федорчук Ольга Алексеевна**

**МЕТОДИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ СООТНОСИТЕЛЬНОЙ ИЗМЕНЧИВОСТИ  
ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ ПРИЗНАКОВ  
ЧЕРЕПА ЧЕЛОВЕКА**

**03.03.02 – «антропология» по биологическим наукам**

**АВТОРЕФЕРАТ**

**диссертации на соискание ученой степени  
кандидата биологических наук**

**Москва, 2022**

Работа выполнена на кафедре антропологии биологического факультета  
Московского государственного университета имени М.В.Ломоносова

**Научный  
руководитель:** **Пежемский Денис Валерьевич,**  
кандидат биологических наук  
(НИИ и Музей антропологии МГУ имени М.В. Ломоносова,  
старший научный сотрудник)

**Официальные  
оппоненты:** **Багашев Анатолий Николаевич,**  
доктор исторических наук  
(ФИЦ Тюменский научный центр СО РАН,  
директор)

**Хохлов Александр Александрович,**  
доктор исторических наук, доцент  
(Самарский государственный социально-педагогический  
университет (СГСПУ), профессор)

**Нанова Ольга Геннадьевна,**  
кандидат биологических наук  
(Научно-исследовательский зоологический музей,  
биологический факультет, МГУ имени М.В. Ломоносова,  
научный сотрудник)

Защита состоится «15» июня 2022 г. в 14:30 на заседании диссертационного  
совета МГУ.03.11 Московского государственного университета имени  
М.В.Ломоносова по адресу: 125009, г. Москва, ул. Моховая, д. 11, НИИ и Музей  
антропологии МГУ, ауд. 215. E-mail: [2020msu0311@gmail.com](mailto:2020msu0311@gmail.com).

С диссертацией можно ознакомиться в отделе диссертаций научной  
библиотеки МГУ имени М.В.Ломоносова (Ломоносовский просп., д. 27). Со  
сведениями о регистрации участия в защите в удаленном интерактивном режиме и  
с диссертацией в электронном виде можно ознакомиться, перейдя на страницу  
диссертационного совета по ссылкам:

<https://istina.msu.ru/dissertations/455266358/>

и [https://istina.msu.ru/dissertation\\_councils/councils/50460456/](https://istina.msu.ru/dissertation_councils/councils/50460456/)

Автореферат разослан «13» мая 2022 г.

Ученый секретарь  
диссертационного совета МГУ.03.11  
кандидат биологических наук



А.В. Сухова

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

**Актуальность выбранной темы.** Череп является важнейшим объектом для изучения закономерностей изменчивости такого полиморфического вида, как *Homo sapiens*. Более того, это один из основных источников информации о дифференциации человеческих популяций и микроэволюционных процессах, ее сопровождающих. Давно известно, что знаний об элементарных вариациях черепа недостаточно, нужно очень хорошо исследовать корреляционную структуру признаков, которая по-разному реализуется на внутри- и межгрупповом уровне. Однако, соотносительная изменчивость размеров черепа человека остается пока недостаточно разработанной областью краниологии.

Важным аспектом в исследовании корреляционной структуры размеров черепа является изучение ее изменчивости на уровне отдельных популяций и групп популяций, которые традиционно называются расами. Данный вопрос не раз привлекал внимание исследователей, которые в первую очередь писали об изменениях корреляционных структур в разных группах, а также обсуждали причины этих изменений [Бунак, 1922, 1965; Рогинский, 1954; Беневоленская, 1974, 1976; Gonzalez-Jose et al., 2004]. Очевидно, что эти вопросы непосредственно связаны с проблемой таксономической значимости признаков, которые изменяются с разной скоростью и в разных пределах, а их изменчивость зависит от связей признаков между собой и от структуры этих связей. Таким образом, вопрос о корреляционной структуре размеров черепа и ее изменчивости в разных группах первостепенен при анализе их таксономической значимости.

Немаловажен и вопрос о биометрических подходах к анализу соотносительной изменчивости. На современном этапе развития математических методов они стали доминировать в области биологической антропологии, что привело к появлению направления под названием «числовая таксономия» или «нумерическая классификация» [Алексеев, Трубникова, 1984; Перевозчиков, 2000]. Это количественные, в основном корреляционные методы, позволяющие интегрировать признаки в более сложные структуры для генерализации исходных цифровых данных и построения на этой основе различных классификаций, чаще всего носящих локальный характер. При этом актуальными остаются вопросы о случайном или неслучайном характере изменчивости самих корреляционных взаимосвязей, о таксономической ценности признаков, положенных в основу классификации, наконец, – о самом составе признаков в исследовательской программе. В краниометрии человека не раз была показана перспективность изучения новых признаков, которые бы обладали наилучшими группоразграничительными возможностями [Абиндер, 1960; Беневоленская, 1974, 1980, 1991; Пестряков, 1995, 2003; Пестряков, Федорчук, 2016; Федорчук, 2017]. Данный аспект также представляется одним из самых актуальных в современной краниологии.

В настоящий момент создано несколько классификаций современного человечества по разным системам признаков. Поиски путей объективной нумерической классификации по измерительным признакам черепа ранее всего были начаты в работах зарубежных авторов [Morant, 1928; Woo, Morant, 1932;

Howells, 1973, 1990, 1996; Hanihara, 1996, 2000]. В отечественной антропологии разработкой краниометрической классификации активно занимались В.В. Бунак, В.П. Алексеев, А.П. Пестряков, И.В. Перевозчиков [Бунак, 1922; Алексеев, 1973а, 1973б; Алексеев, Трубникова, 1984; Пестряков, 1995; 2003; Перевозчиков, 2000; Пестряков, Григорьева, 2004; 2013]. Однако, полноценной краниометрической классификации всего человечества до сих пор не существует. Поэтому проблема разработки таксономической значимости тех или иных размеров черепа, на основе которых можно ее построить (признаков-индикаторов по В.П. Терентьеву [1959; 1960]), поиск новых признаков и изучение их межгрупповой изменчивости по-прежнему не теряет своей актуальности.

**Степень разработанности темы исследования.** Исследования корреляционных взаимосвязей размеров организма начались в биологии достаточно давно. Множество работ было посвящено теоретическим вопросам, в первую очередь – системам корреляций организма, связям различных видов отбора и корреляционных структур [Северцов, 1939, 1987; Шмальгаузен, 1938, 1939, 1968; Dombrowski, 1926]. В биологической антропологии изучением взаимосвязей размеров черепа, в том числе характера изменчивости коэффициентов корреляции на популяционном уровне, активно занимались исследователи английской биометрической школы [Whiteley, Pearson, 1899; Lee, Pearson, 1900; Pearson, 1901; Fawcett, Lee, 1902; Pearson, Davin, 1924; Pearson, Woo, 1935]. Также разрабатывалась, хотя и не очень систематически, тематика, связанная с другими аспектами изменчивости, например, половой [MacDonell, 1904; Wallis, 1934].

В отечественной науке также было создано большое количество работ, посвященных исследованию внутренних связей организма человека в целом и черепа в частности. Важность изучения корреляционных взаимосвязей на двух разных уровнях – межгрупповом и внутригрупповом, была показана Е.М. Чепурковским в приложении к вопросам разработки классификаций [Tschepourkowsky, 1905; Чепурковский, 1913]. Затем была предложена концепция таксономической неравнозначности признаков, давшая большой толчок открытиям в данной области антропологии [Ярхо, 1934]. Вследствие этого к середине XX в. изучение корреляционных взаимосвязей тела человека вышло на новый виток [Бунак, 1940, 1959, 1960, 1965; Рогинский, 1954, 1962; Властовский, 1958; Куршакова, 1962]. Корреляционным взаимосвязям черепа также уделялось большое внимание [Беневоленская, 1974; Великанова, 1975; Козинцев, 1977; Алексеев, 1986; Звягин, 1986; Ефимова, 1991]. В результате данных исследований на различном материале были описаны многие закономерности соотносительной изменчивости размеров черепа. Отдельного внимания заслуживает анализ внутривнутригрупповой и межпопуляционной изменчивости коэффициентов корреляции черепа, который проводился в работах отечественных и зарубежных антропологов [Рогинский, 1954; Заллер, 1964; Бунак, 1965; Беневоленская, 1974; Gonzalez-Jose et al., 2001], а также в ряде зоологических работ [Карнеп, 1966; Прушинская, Большаков, Гилева, 1984].

Методы изучения соотносительной изменчивости прошли в своем развитии большой путь. Сначала, особенно в ботанической и зоологической литерату-

ре, признаки, тесно связанные друг с другом повышенными коэффициентами корреляции, объединяли в группы, называя их «корреляционными плеядами». Принципы такого объединения начали разрабатываться П.В. Терентьевым еще в 1930-е гг. [Terentjev, 1931; Терентьев, 1959; 1960]. Его труды заложили основу последующих разработок в данной области [Берг, 1956; 1993; Карнеп, 1966; Прушинская, Большаков, Гилева, 1984; Россолимо, Павлинов, 1976; Венгеров, 2001 и др.]. В зарубежной науке аналогичная идея была предложена Э. Олсоном и Р. Миллером [Olson, Miller, 1958]. Дальнейшее развитие направления, посвященного корреляционным плеядам, переросло в изучение «модулей» признаков, которые выделялись аналогично – на основе значений коэффициентов корреляции. В настоящее время подобные исследования многочисленны, особенно в рамках эволюционной и зоологической тематик [Ковалева, 2017; Goswami, 2006; Porto et al., 2009; Klingenberg, 2009, 2013, 2014; Goswami, Polly, 2010; Martin-Serra et al., 2019 и др.]. Исследования модульности черепа приматов, в том числе и человека опираются, в первую очередь, на основополагающую работу Д.М. Чевеверуда [Cheverud, 1982]. В подобных работах в основном фиксируется снижение корреляционных связей от более примитивных форм к человеку [Bookstein et al., 2003; Mitteroecker, Bookstein, 2008; Oliveira, Porto, Marroig, 2009]. В отечественной антропологии, модульность черепа человека остается недоизученной. В этой связи изучение корреляционных взаимосвязей в рамках отдельных «блоков» черепа человека, а также между ними, то есть применение блочно-модульного подхода, является актуальной задачей.

**Научной гипотезой** послужило представление о том, что размеры черепа человека в основном слабо скоррелированы друг с другом, то есть интегрированность размеров частей черепа низкая (из чего следует высокий популяционный полиморфизм), однако наличие таксономически значимых краниометрических признаков означает, что существует упорядоченная корреляционная структура, межгрупповая изменчивость которой носит неслучайный характер, а связана с внутривидовой (расовой) дифференциацией.

**Цель исследования** – изучение корреляционной структуры линейных размеров черепа человека на внутригрупповом и межгрупповом уровнях для выявления признаков, наиболее значимых при дифференциации групп.

**Задачи исследования:**

1. Дополнить краниометрическую программу редко используемыми признаками, изучить характер их изменчивости и дифференцирующие возможности для целей краниологической классификации.
2. Проанализировать корреляционную структуру линейных размеров и указателей черепа, выявить сходство и различия коэффициентов корреляции на популяционном и надпопуляционном уровнях.
3. Изучить корреляционную структуру черепа у мужчин и женщин в отдельности, сравнить корреляционные матрицы, полученные по мужским и женским черепам.

4. Для оценки интегрированности отделов черепа человека применить блочно-модульный подход, разработанный и широко распространенный в зоологической краниологии.
5. Выделить таксономически значимые признаки, используя широкий набор статистических методов, и проверить их дифференцирующие возможности на внутривидовом (расовом) уровне.

**Объектом исследования** послужили 60 краниологических серий (4370 черепов), датирующихся XVI – XIX веками и близких к современности.

**Предметом исследования** является соотносительная внутри- и межгрупповая изменчивость измерительных признаков черепа человека, а также выяснение таксономической значимости каждого из них для целей краниометрической классификации.

**Научная новизна работы** заключается в том, что общепринятая краниометрическая программа дополнена измерительными признаками, которые не используются в стандартном бланке и редко упоминаются в литературе (например, наименьшая ширина основания, базило-постериорная ширина черепа, длина основания лица до *subspinale*, высота скуловой кости и др.). По ним собраны и введены в научный оборот новые морфометрические данные, изучена их изменчивость и дифференцирующая значимость. Показано, что популяционная изменчивость некоторых из этих признаков демонстрирует высокие группоразграничительные способности. Введение дополнительных краниометрических признаков позволяет более полно охарактеризовать некоторые аспекты морфологии черепа человека.

Создана большая база индивидуальных краниометрических данных, как на основе собственных измерений, так и по опубликованным материалам других авторов. Большое количество привлеченных к работе этно-территориальных групп (60 выборок; около 4400 индивидов) позволило проанализировать корреляционную структуру черепа человека на разных уровнях: популяционном, надпопуляционном и видовом. Рассчитаны коэффициенты корреляции между линейными размерами черепа и краниометрическими указателями, а также изучены связи большого числа указателей друг с другом, что позволит использовать эти коэффициенты как константы в многомерных статистических анализах.

На этом же материале впервые показаны закономерности половой изменчивости корреляционной структуры черепа человека. Получена усредненная корреляционная матрица для женских черепов, несколькими методами проведено ее сравнение с корреляционной матрицей для мужских и продемонстрирован высокий уровень их сходства.

С привлечением всех данных, собранных автором, и при помощи новых биометрических подходов (расчет достоверности различий парных коэффициентов корреляции, многомерный анализ различия выборок на основе коэффициентов корреляции) корреляционная структура черепа человека изучена на популяционном и надпопуляционном уровне. Обоснован неслучайный характер ее изменчивости.

В настоящей работе впервые на одном и том же материале получены общевидовые внутригрупповая и межгрупповая корреляционные матрицы и проведено сравнение коэффициентов корреляции на двух уровнях изменчивости. Привлечение авторской базы данных позволяет изучить межгрупповые корреляции размеров черепа, как в целом для вида, так и для макрорегиональных выборок. На базе полученных данных выявлены признаки, наиболее вариабельные по уровню связей, протестирована их дифференцирующая значимость.

В работе впервые в отечественной антропологии проводится анализ модульности черепа человека, изучается его блочно-модульная структура, а также впервые для выявления дифференцирующих признаков применен алгоритм «деревьев принятия решения» (Decision tree).

**Теоретическое значение работы.** Детально проанализирована корреляционная структура измерительных признаков черепа человека, что позволяет лучше понять некоторые аспекты ее изменчивости, а также подтвердить результаты других исследователей на ином материале.

В работе так же продемонстрирована таксономическая значимость краниометрических признаков, которые редко используются.

Показано отсутствие выраженного полового диморфизма корреляционных связей размеров черепа человека. Важным аспектом работы является изучение изменчивости внутригрупповых коэффициентов корреляции и ее закономерностей. Для выборок, объединенных по макрорегиональному принципу (Африка, Европа, Северная и Восточная Азия), показан неслучайный характер этой изменчивости.

Сравнение межгрупповых и внутригрупповых коэффициентов корреляции демонстрирует изменчивость связей размеров черепа человека в ходе микроэволюционных процессов.

Протестирована возможность создания краниометрической классификации человечества с опорой на все полученные автором данные.

**Практической значимостью** данной работы является введение в научный оборот большого количества краниометрических данных, в том числе по редко используемым признакам, которыми дополнена стандартная краниометрическая программа; изучен характер их изменчивости, что позволяет исследовать новые аспекты морфологии черепа человека. Часть признаков позволяет отказаться от угловых размеров, в пользу линейных или указателей, для описания морфологической специфики тех или иных отделов черепа, например, альвеолярного прогнатизма.

Расчет усредненных корреляционных матриц (на видовом уровне, в рамках географических макрорегионов и половых групп) позволяет использовать полученные коэффициенты корреляции в биометрических анализах разного уровня сложности, в частности постулировать большую эффективность локальных корреляционных матриц.

С практической точки зрения важна усредненная корреляционная матрица, полученная по женским черепам. Продемонстрирована высокая степень сходства корреляционных матриц для мужских и женских черепов в отдельно-

сти, что существенно упростит проведение многомерных статистических анализов по средним значениям в женских выборках.

Полученные в результате работы усредненные коэффициенты корреляции между указателями и линейными размерами черепа, а также между множеством пар краниометрических указателей, позволяют использовать их в многомерных статистических анализах в качестве констант.

**Методология диссертационного исследования.** Теоретической основой работы послужило представление о том, что на корреляционную структуру черепа влияют макро- и микроэволюционные процессы [Северцов, 1939, 1987; Шмальгаузен, 1939, 1968]. В связи с этим анализировалась структура корреляций размеров черепа как в целом для вида *Homo sapiens*, так и отдельно для его ветвей, расселенных в разных географических макрорегионах. Далее автор исходил из того, что если связь между признаками многофакторная, то она будет различаться в разных группах из-за вариабельности факторов, если же связь элементарная, то чаще всего она не сильно варьирует в разных группах [Малиновский, 1948]. Работа написана с опорой на отечественные разработки в области антропологической биометрии [Игнатъев, 1951; Рогинский, 1954, 1962; Куршакова, 1962; Чтецов, 1962; Дерябин, 1978, 2001; Пасек, 2006; Гудкова, 2017].

Значимыми для внутривидовой дифференциации признаками можно считать лишь те, у которых внутригрупповые и межгрупповые корреляции не совпадают [Чепурковский, 1913]. Использован основанный на этих предпосылках постулат о таксономической неравнозначности признаков [Ярхо, 1934].

Дальнейшее развитие представлений о таксономической неравнозначности признаков связано с развитием корреляционных методов анализа. Смысл парадигмы заключается в том, что признаки, являющиеся ведущими в своем отделе черепа, то есть максимально связанные с другими размерами этого отдела и минимально с размерами других отделов, обладают наибольшей таксономической значимостью на изучаемом уровне дифференциации. На этом же принципе был основан метод выделения “признаков-индикаторов” развившийся в метод корреляционных плеяд [Терентьев, 1959, 1960; Карнеп, 1966; Прушинская, Большаков, Гилева, 1984; Россолимо, Павлинов, 1976]. Современным вариантом реализации метода корреляционных плеяд является блочно-модульный подход к исследованию черепа, широко развитый в зоологии [Porto et al., 2009; Goswami, Polly, 2010; Nanova, 2015; Goswami, Finarelli, 2016; Ковалева, 2017].

В работе использован классификационный подход, реализованный при помощи факторного анализа, что уже выполнялось на древних и современных материалах с территории Азии [Алексеев, Трубникова, 1984]. Таким образом, осуществлялась попытка выделить признаки черепа, которые наилучшим образом дифференцируют группы.

#### **Положения выносимые на защиту:**

1. Предложенные в работе дополнительные краниометрические признаки (например, наименьшая ширина основания, базило-постериорная шири-



на черепа, длина основания лица до subspinale, высота скуловой кости и др.) имеют высокую дифференцирующую способность, что позволяет расширить измерительную программу, используемую для межгрупповых сравнительных анализов.

2. Большинство размеров черепа человека слабо связаны между собой; более сильная связь наблюдается для однонаправленных размеров, а не для признаков, характеризующих части черепа единого происхождения, то есть пространственное единство превалирует над онтогенетическим.
3. Половой диморфизм корреляционных связей размеров черепа человека слабый или отсутствует.
4. Изменчивость корреляционной структуры краниометрических признаков имеет неслучайный характер, что в первую очередь определяется взаимосвязями широтных размеров черепа на внутривидовом уровне.
5. Череп человека характеризуется высокой модульностью и слабой интеграцией своих частей, что говорит о его эволюционной пластичности и обеспечивает высокий популяционный полиморфизм *Homo sapiens*.

### **Степень достоверности и апробация результатов**

**Достоверность результатов** следует из

- большого используемого фактического материала (принцип репрезентативности выборок);
- соответствия измерительной методики, использованной автором, и классической краниометрической методики [Дебец, 1935; Алексеев, Дебец, 1964; Пеземский, Харламова, 2013; Широбоков, 2016; Martin, 1928];
- последовательного применения методов одномерной и многомерной статистики (адекватных локальным задачам работы), в том числе не корреляционных статистических методов.

**Апробация результатов** проходила на российских и международных научных форумах, таких как: Международная научная конференция студентов, аспирантов и молодых учёных «Ломоносов-2016», Москва, НИИ и Музей антропологии МГУ, 11-15 апреля 2016 г. (доклад «Дифференцирующие возможности некоторых метрических признаков мозгового отдела черепа человека»); Международная научная конференция студентов, аспирантов и молодых учёных «Ломоносов-2018», Москва, НИИ и Музей антропологии МГУ, 9-13 апреля 2018 г. (доклад «Соотносительная изменчивость признаков мозгового и лицевого отделов черепа человека»); IV Молодежная антропологическая конференция «Актуальные проблемы физической антропологии: преемственность и новые подходы», Москва, Институт общей генетики РАН им. Н.И. Вавилова, 25-27 апреля 2018 г. (доклад «Соотносительная изменчивость признаков лицевого и мозгового отделов черепа человека: классификационный аспект»); Международная научная конференция «Антропология города: исторические,

медико-биологические аспекты исследований», Минск, Беларусь, 27-29 июня 2018 г. (доклад «Соотносительная изменчивость признаков лицевого и мозгового отделов черепа человека»); V Молодежная антропологическая конференция «Актуальные проблемы физической антропологии: преемственность и новые подходы», Москва, 25-28 марта 2019 г. (доклад «Межгрупповая изменчивость корреляционной структуры черепа человека»); Международная научная конференция студентов, аспирантов и молодых учёных «Ломоносов-2021», Москва, НИИ и Музей антропологии МГУ, zoom, 14 апреля 2021 г. (доклад «Некоторые аспекты блочно-модульной организации черепа человека»).

Результаты представлены и обсуждены на открытом заседании кафедры антропологии биологического факультета МГУ им. М.В. Ломоносова (17.12.2021 г.) и на научном семинаре «Антропологическая среда» в НИИ и Музее антропологии им. Д.Н. Анучина МГУ им. М.В. Ломоносова (09.02.2022 г.).

### **Личный вклад соискателя**

Исследователем лично измерены 1075 черепов по программе, включающей 46 размеров мозгового и лицевого отделов, в том числе редко используемых в краниометрических работах. Собрана база индивидуальных данных по 43 краниологическим сериям из литературы (3301). Вся статистическая обработка полученных данных, включая стратегию выбора методов и применения новых биометрических подходов, проведена лично автором, в том числе – в программной среде Python и на языке программирования R.

### **Структура и объем работы**

Результаты исследования изложены на 275 страницах, рукопись содержит 60 рисунков и 117 таблиц. Диссертация состоит из введения, 5-ти глав (обзор литературы, материалы и методы, результаты, обсуждение), заключения, выводов и приложение, содержащего 20 таблиц и 15 рисунков. Список литературы включает 189 наименований, из которых 93 на русском и 96 на иностранных языках.

## **ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ ДИССЕРТАЦИИ**

### **Глава 1. ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ**

В данной главе представлен обзор научных работ, посвященных изучению корреляционных связей, присутствующих в живых организмах. Проанализированы работы, изучающие проблематику линейных взаимосвязей размеров тела различных организмов. Обзор включает как зоологические работы, так и работы по биологической антропологии. Отдельно анализируются работы, посвященные корреляционным взаимосвязям размеров черепа человека. По результатам анализа литературных источников можно заключить, что данные о корреляционных взаимосвязях признаков в живых организмах имеют большое значение для исследований макро- и микроэволюционных процессов, так

как связь частей организма, и образование в результате этих связей единого целого, является базой, которая формирует пространство возможностей для дальнейших эволюционных преобразований.

В результате анализа работ, посвященных изучению корреляционных структур черепа человека и других млекопитающих, можно заключить, что по данной проблематике собраны достаточно многочисленные данные. Однако существуют относительно слабо изученные аспекты: связи некоторых краниометрических размеров, половая, популяционная и надпопуляционная изменчивость корреляционных структур черепа. Среди недостаточно разработанных тем можно назвать модульность черепа человека, так как блочно-модульный подход систематически применялся только в зоологии. Несмотря на то, что большинстве работ, посвященных изменчивости черепа человека, так или иначе присутствуют его элементы, исследование корреляционных связей внутри и между отдельными блоками черепа систематически все же не проводилось. Таким образом, делается вывод об актуальности дальнейшей разработки проблематики корреляционных взаимосвязей размеров черепа и их соотносительной изменчивости, несмотря на множество работ, посвященных этой тематике.

## Глава 2. МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

### Материалы

В настоящей работе были использованы данные по 60-ти этно-территориальным группам, общей численностью 4394 индивида. Из этих групп 17 были измерены автором (1075 индивидов), поэтому только на них исследуется изменчивость дополнительных размеров. Материал по остальным 43 группам взят из литературы и включает стандартный набор краниометрических признаков.

Для объединения выборок использовался географический критерий. В связи с тем, что тематика работы затрагивает аспект разработки краниометрической классификации, было решено не использовать при описании материала антропологическую расовую классификацию.

**Африка.** С территории Африки в настоящей работе используются данные 12 этно-территориальных групп, которые взяты из литературы: тэйта (n=57/66); тигре (n=69/25); Уганда (n=95/81); ангоны (n=25/0); Габон (n=65/63); Камерун (n=93/0); Конго (n=49/27); зулусы (n=20/4); кафры (n=38/2); береговые бушмены (n=16/7); бушмены (n=16/17); готтентоты (n=27/11). Всего 570 мужских черепов и 303 женских.

**Европа и Кавказ.** С этих территорий происходит 10 исследованных групп. Всего 757 мужских черепов и 505 женских: баски (n=39/0); цыгане (n=27/10); болгары (n=20/10); турки (n=15/14); итальянцы (n=27/11); латыши (n=31/32); удмурты (n=60/20); осетины (n=96/51); армяне (n=106/0).

**Северная и Центральная Азия.** Всего 11 групп, 757 мужских черепов и 505 женских: ханты (n=103/99); селькупы (n=50/24); чулымцы (n=51/30); ка-

захи (n=119/97); киргизы (n=21/16); якуты (n=20/18); чукчи (n=15/9); эскимосы (Чукотка) (n=31/23); теленгеты (n=56/25); буряты (n=231/164); монголы (n=60/32).

**Северная Америка.** Данные по группам с территории Нового Света практически не рассматриваются в настоящей работе. Исключением является две краниометрические серии: алеуты (n=33/21); эскимосы (Аляска) (n=120/137).

**Восточная Азия.** 145 мужских черепов и 18 женских: айны (n=29/15); хокиен (n=36/0); тибетцы (n=32/0); непальцы (n=48/3).

**Южная и Юго-Восточная Азия.** Использован материал по 11 группам. Две, – с территории Южной Азии и девять – с территории Юго-Восточной. Всего 360 мужских черепов и 124 женских: тамилы (n=35/0); андаманцы (n=24/17); бирманцы (n=61/74); аэта (n=33/14); тагалы (n=31/19); Бантам (n=22/0); Джакарта (сунда) (n=33/0); яванцы (n=30/0); Ява (сборная) (n=35/0); Мадуро (n=15/0); даяки (n=41/0).

**Австралия и Океания.** Данные по 9 сериям, 425 мужских черепов и 236 женских: Квинсленд (n=23/20); Северная и Западная территории Австралии (n=14/12); тасманийцы (n=29/26); Северная Новая Гвинея (n=87/51); Южная Новая Гвинея (n=38/18); Новая Британия (n=127/43); Торресовы острова (n=19/19); остров Чатем (n=34/22); остров Пасхи (n=54/25).

Для структурирования групп использовался географический критерий. В связи с тем, что тематика работы затрагивает аспект разработки краниометрической классификации, было решено не использовать при описании материала антропологическую классификацию.

## Краниометрическая методика

Методы, использованные в работе, в основном соответствуют стандартной краниометрической методике, принятой в российской антропологии [Дебец, 1935; Алексеев, Дебец, 1964; Martin, 1928].

Из признаков стандартного бланка измерительная программа включает девять габаритных размеров мозгового отдела: продольный диаметр (M.1), поперечный диаметр (M.8), высотный диаметр (M.17), длина основания черепа (M.5), ушная высота (M.20), наименьшая ширина лба (M.9), наибольшая ширина лба (M.10), ширина основания черепа (M.11), ширина затылка (M.12).

Также программа включала 12 размеров сагиттального профиля: лобная хорда (M.29), теменная хорда (M.30), затылочная хорда (M.31), лобная дуга (M.26), теменная дуга (M.27), затылочная дуга (M.28); высота изгиба лба (M.29b, sub. N/β), высота изгиба теменных костей (M.30a), высота изгиба затылка (M.33a), проекционное расстояние от *nasion* до перпендикуляра, идентичного высоте изгиба лба (M.29c), проекционное расстояние от *bregma* до перпендикуляра, идентичного высоте изгиба темени (M.30b), проекционное расстояние от *opisthion* до перпендикуляра, идентичного высоте изгиба затылка (M.33b).

Для характеристики лицевого отдела выбрано пятнадцать признаков: скуловой диаметр (M.45), длина основания лица (M.40), верхняя высота лица до точки *alveolare* (M.48), верхняя ширина лица (M.43), средняя ширина лица (M.46), высота носа (M.55), ширина носа (M.54), длина альвеолярной дуги (M.60), ширина альвеолярной дуги (M.61), длина неба (M.62), ширина неба (M.63), ширина орбиты (M.51), высота орбиты (M.52), биорбитальная ширина (M.43(1)), высота  $n$  над биорбитальной шириной (Low sub.).

К признакам стандартного краниометрического бланка были добавлены десять дополнительных, редко используемых в краниологии человека признаков: высота поперечного изгиба лба (УПИЛ по Гохману [1961]), хорда  $n-l$  (M.3a), хорда  $b-op$ , наименьшая ширина основания черепа (M.11b), базилопостериорная ширина (*bas-post* по Беневоленской), верхняя высота лица до *prostion* (NPH по Хауэллсу [Howells, 1973]), длина основания лица до *subspinale* (по Бунаку [1960]), длина основания лица от точки *hormion*, наибольшая высота скуловой кости (*fmt-zm*), ширина скуловой кости (M.41c; Хауэллс. XML).

Сравнительный материал, который брался из иностранных литературных источников, в основном измерялся по программе биометрической школы [Fawcett, Lee, 1902; Morant, 1923]. Некоторые работы конца XIX века проводились по программе П. Брока [Broca, 1875]. Для длины основания лица GL – от *basion* до *alveolare* [ba-al] нами вводилась поправка в 1,5 мм, так как этот размер меньше длины от *endobasion* до *prostion* на 1–2 мм.

## Математическая обработка данных

Анализ изменчивости дополнительных признаков на начальном этапе осуществлялся с помощью методов одномерной статистики, а именно расчета показателей изменчивости с помощью статистических пакетов языка R.

Обобщенные корреляционные матрицы рассчитывались двумя способами. В первом случае сначала проводилась стандартизация первичных данных для каждой группы в отдельности, затем по стандартизованным данным рассчитывался коэффициент корреляции Пирсона. Во втором случае сначала рассчитывались коэффициенты корреляции Пирсона для каждой группы в отдельности. Затем они преобразовывались через  $z$ -преобразование Фишера [Fisher, 1921]. Для полученных в каждой группе коэффициентов находилось среднее значение, и оно уже преобразовывалось обратно в обычный коэффициент корреляции [Широбоков, 2021]. Межгрупповые коэффициенты корреляции, рассчитывались как коэффициент корреляции Спирмена.

Для расчета достоверности различий между коэффициентами сначала проводилось  $z$ -преобразование Фишера коэффициента корреляции, полученного через корреляцию нормализованных величин. Для проверки случайности различий коэффициентов корреляции использовался  $t$ -критерий Стьюдента. Все расчеты были сделаны с помощью программирования используемых формул на языке Python.

Факторный анализ проводился с помощью статистических пакетов языка Python на основе уже рассчитанных корреляционных матриц, а не на основе исходных данных. Факторный анализ для признаков-индикаторов производился с помощью пакета `factor_analyzer` из языка Python, методом минимальных остатков (MINRES). Для упрощения вида нагрузок использовался метод вращения варимакс. Результаты факторного анализа, которые приводятся в обсуждении, для визуализации факторной структуры рассчитаны с помощью пакета `sklearn.decomposition` из языка Python и реализован метод максимального правдоподобия.

Для исследования модульности черепа использовалось два метода: 2B-PLS анализ и EMMLi. Первый основан на методе частичных наименьших квадратов. Второй – на методе максимального правдоподобия. Анализ EMMLi предназначен для оценки наиболее подходящей модели модульности [Goswami, Finarelli, 2016]. В качестве исходных данных используются матрицы корреляций.

Для определения таксономически значимых признаков в дополнение к стандартным методам использовался метод машинного обучения – дерево принятия решений (decision tree), который реализовывался с помощью `scikit-learn` в Python. В качестве критерия использовался показатель энтропии.

Кластеризация данных проводилась на основе расстояний Евклида, которые рассчитывались с помощью языка R.

## Глава 3. РЕЗУЛЬТАТЫ

### 3.1. Дополнение к стандартной краниометрической программе

Всего было исследовано 10 дополнительных размеров. Некоторые из исследуемых размеров имеют аналоги в стандартной программе, поэтому было проведено сравнение дополнительных признаков и стандартных, во-первых, с помощью изучения изменчивости и соотношений, что должно отражать значимость дополнительных признаков, во-вторых, проводилось изучение их скоррелированности и наконец был проведен многомерный анализ дифференциации групп по дополнительному набору признаков и по набору их аналогов из дополнительной программы, для анализа различий распределения групп по суммарному набору.

#### *Изменчивость дополнительных краниометрических размеров*

Первая часть результатов работы посвящена изучению изменчивости дополнительных размеров черепа, для выявления признаков, пригодных для дифференциации исследуемых групп. Здесь приводятся наиболее значимые признаки для дифференциации азиатских и европейских групп.

Базило-постериорная ширина, (размер предложенный Ю.Д. Беневоленской) характеризует широтный размер основания черепа, не связанный при этом с развитием скулового отростка височной кости. Минимальные значения этого размера наблюдаются в европейских группах: у мужских черепов итальянцев, у женских черепов турок. Максимальный у азиатских и у мужских и

женских черепов якутов (рис. 1). Латыши и эскимосы отличаются друг от друга недостоверно ( $p=0,324$ ). Однако ханты и латыши уже имеют достоверные различия по данному размеру ( $p=0,035$ ).

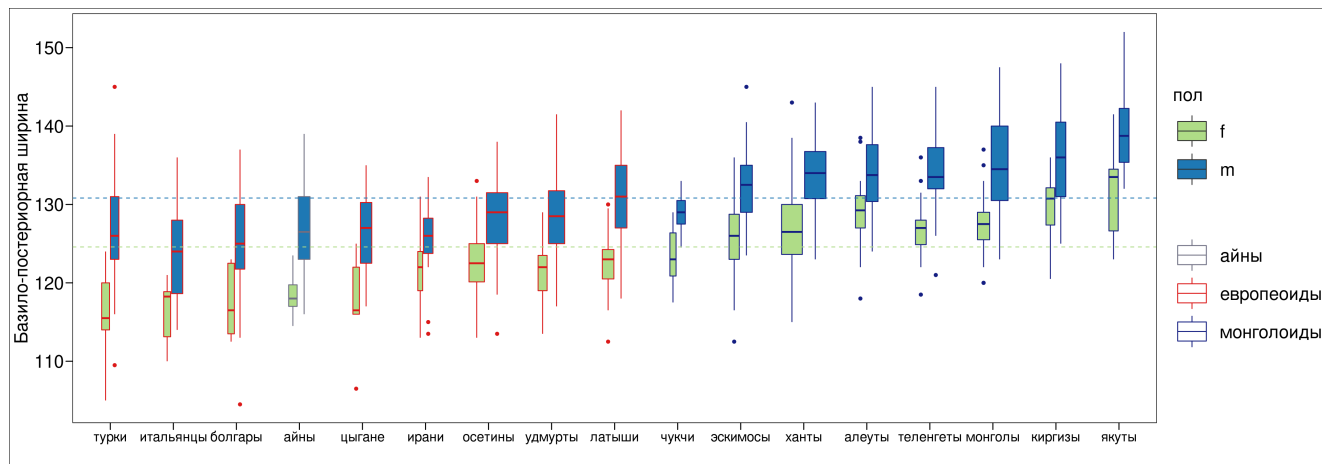


Рис. 1. Размах изменчивости базило-постериорной ширины (*bas-post*) в разных этно-территориальных группах

Данный размер сильно коррелирует с аурикулярной шириной основания черепа ( $r=0,80$ ). Средней силы связь наблюдается с шириной затылочной кости ( $r=0,61$ ) и поперечным диаметром ( $r=0,59$ ).

Высота *on* над *ft-ft*, введен И.И. Гохманом как дифференцирующий монголоидные и европеоидные популяции. В настоящее время он довольно редко используется в краниометрических исследованиях. В настоящем исследовании используется лишь высота над фронто-темпоральной хордой. В изучаемых группах этот размер варьирует от 15,6 у якутов, до 21,9 у болгар. У женщин – от 15,7 у якутов до 21,8 у итальянцев. Для данного признака закономерность изменчивости, как и показано И.И. Гохманом, связана с европеоидно-монголоидным вектором дифференциации. У европейских групп высота изгиба лба выше, чем у азиатских (рис. 2). Ханты и ирани по данному размеру отличаются недостоверно, а ирани и теленгеты – достоверно ( $p=0,001$ ). Связью средней силы данный признак скоррелирован лишь с наименьшей шириной лба, практически средней силы связь ( $r=0,48$ ) наблюдается также с высотой назиона над бималлярной шириной.

Далее рассмотрим размеры, характеризующие скуловую кость. Наибольшая высота скуловой кости варьирует в мужских группах от 46,0 у болгар, до 53,0 у якутов; ширина скуловой кости – от 40,8 у эскимосов до 58,4 у хантов. У женщин высота варьирует – от 43,7 у итальянцев до 48,7 у эскимосов, ширина также минимальна у эскимосов – 40,0, а максимальна у якутов – 55,0.

Связь высоты скуловой кости с другими размерами в основном слабая или очень слабая. С высотой носа сила связи достигает средних значений, близки к средним значениям коэффициенты корреляции с верхней шириной лица, скуловым диаметром, а также с высотой лица. Ширина скуловой кости не имеет высоких или средних корреляций с изученными размерами. Высота скуловой

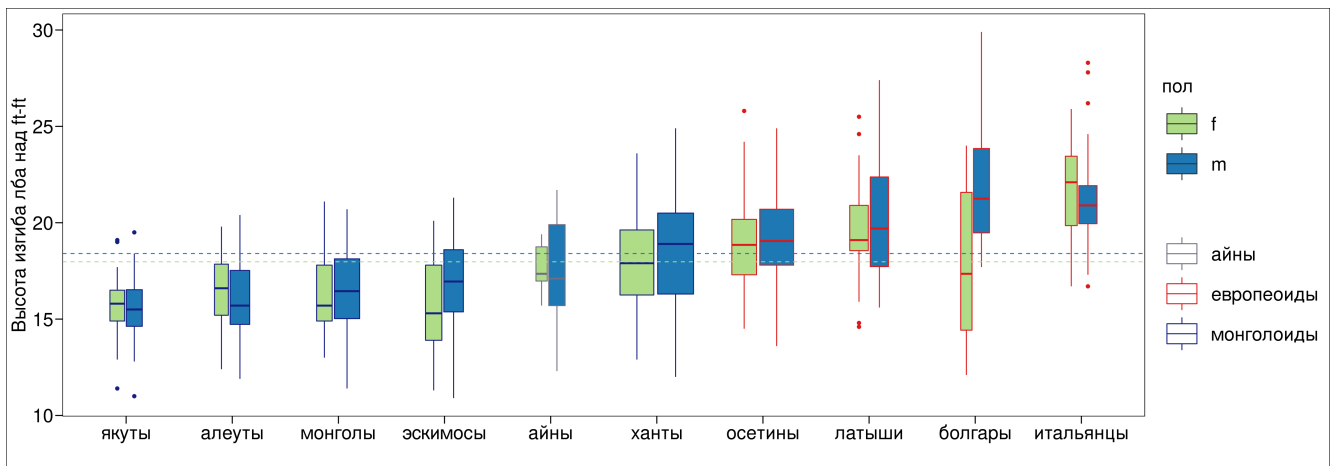


Рис. 2. Размах изменчивости высоты лобной кости над фронто-темпоральной хордой (по Гохману) в разных этно-территориальных группах.

кости имеет достаточно четкую географическую изменчивость – у популяций с территории Азии она стабильно больше нежели у европейских. Айны имеют промежуточные значения данного признака (рис. 3). Высота скуловой кости достоверно различается у итальянцев и хантов ( $p=0,001$ ).

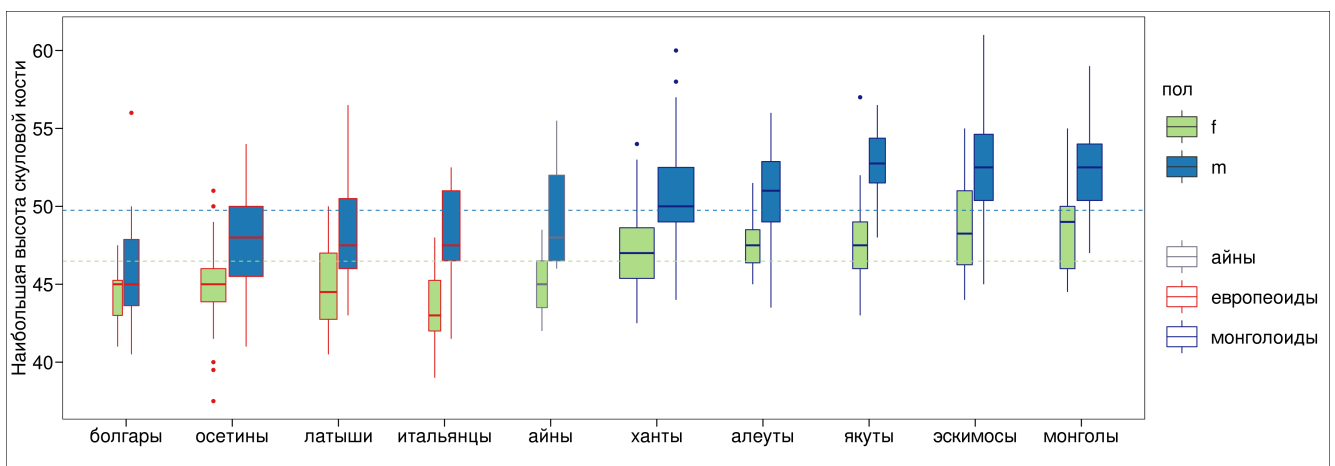


Рис. 3. Размах изменчивости наибольшей высоты скуловой кости ( $zm-fmt$ ) в разных этно-территориальных группах.

Для ширины скуловой кости наблюдается следующие закономерности – большие значения этого признака присущи азиатским группам, меньшие европейским. Однако, группы из циркумполярной зоны – эскимосы и алеуты, существенно отличаются по этому размеру от остальных групп в сторону малых значений (рис. 4). Ранее уже отмечалось своеобразное строение скуловой кости у эскимосов [Woo, 1937]. В исследовании изучались дуговые размеры между теми же точками, которые используются в настоящей работе. Авторами было отмечено, что скуловые кости эскимосов имеют значительно большие размеры, чем у других групп. Высота скуловой кости у них мала по сравнению с шириной. В случае с исследуемыми размерами (хордами, а не дугами) ширина мала, а высота, наоборот, достаточно большая. Это по всей видимости свидетельствует о



сильном изгибе кости, за счет которого получаются большие дуговые размеры и малые прямые.

Сильных связей или связей средней силы ширины скуловой кости с другими используемыми краниометрическими размерами не наблюдается.

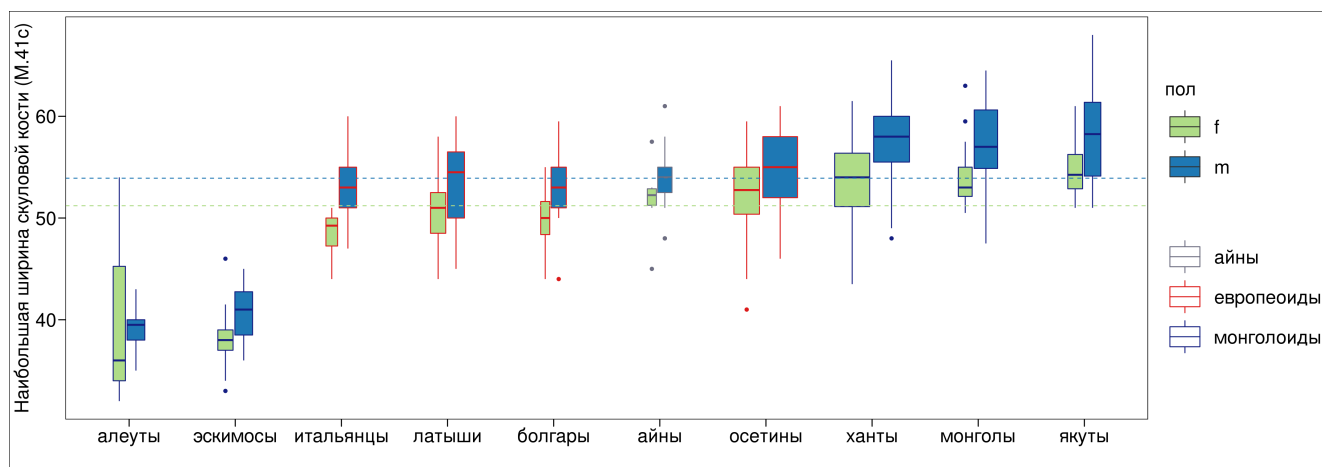


Рис. 4. Размах изменчивости ширины скуловой кости (M.41c) в разных этно-территориальных группах.

*Изменчивость указателей, рассчитанных на основе дополнительных признаков.*

Лучший способ протестировать значимость исследуемых признаков – изучение их изменчивости относительно их аналогов из стандартной программы. Дополнительные признаки могут быть удобнее в использовании или измерении, но их изменчивость может отражать те же закономерности, что и признаки основной программы. Однако, если отношения этих двух признаков каким-то образом дифференцируют группы, то их можно использовать как дополнительные, таксономические.

Соотношение базило-постериорной ширины к ширине основания черепа в целом демонстрирует определенную территориальную тенденцию в изменчивости, уменьшаясь у азиатских групп и увеличиваясь у европейских (рис. 5). Переходные значения и нечеткое положение имеют ираны и киргизы, что возможно связано с численностью выборок. В целом наблюдаются меньшие значения данного индекса у азиатских групп. Ханты и цыгане являются группами, между которыми наблюдаются достоверные различия.

### 3.2. Обобщенные корреляционные матрицы

*Корреляции линейных размеров черепа у мужчин.* По результатам анализа корреляционной матрицы, рассчитанной для размеров мужских черепов показано, что большая часть размеров связана друг с другом слабыми или очень слабыми коэффициентами связи – всего 7 % от общего числа. Большая часть полученных коэффициентов в целом совпадает с результатами предыдущих исследований [Pearson, 1924, Ефимова, 1991, Ширококов, 2021 и др.].

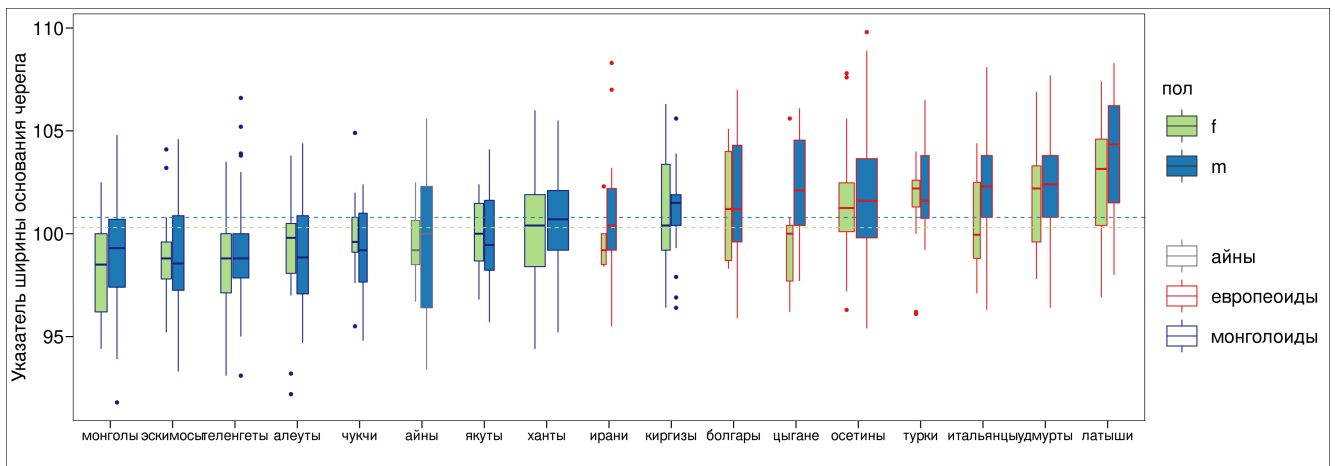


Рис. 5. Размах изменчивости отношения базило-постериорной ширины к ширине основания черепа в разных этно-территориальных группах.

*Половой диморфизм корреляционных связей.* При попарном сравнении мужских и женских корреляционных матриц достоверно различающихся пар коэффициентов получилось всего 26. В основном (в 22 случаях) коэффициенты корреляции имеют меньшее значение в женской выборке. Большинство коэффициентов корреляции, для которых наблюдаются достоверные различия – слабые или очень слабые. В связи с этим различия вызывают сомнения, так как с крайними значениями распределения коэффициента корреляции t-критерий дает менее достоверные результаты. Различия в основном невелики и могут быть связаны с разной численностью выборок.

Некоторые размеры различаются больше: продольный диаметр средне связан с лобной хордой у мужчин, а у женщин эта связь достоверно слабее. Лобная кость участвует в формировании продольного диаметра не только в активный период роста мозга, но и в пубертатный период за счет формирования лобных пазух, а также в связи с ростом лицевого скелета и развивающимся надбровьем. Возможно полученные результаты частично связаны с этими закономерностями.

Несмотря на все эти различия, корреляция между мужской и женской матрицами рассчитанная по тесту Мантеля равна 0,902. Таким образом, можно сделать вывод, что мужские и женские корреляционные матрицы чрезвычайно сходны, и при анализе женских выборок можно использовать корреляционную матрицу, рассчитанную по мужским черепам за неимением иного.

*Корреляции указателей с линейными размерами.* По результатам анализа связей указателей с линейными размерами черепа можно отметить, что они фактически не связаны друг с другом. Единственный индекс, для которого наблюдаются сколь-нибудь существенные связи, это – общая ростовая величина (ОРВ по Пестрякову), которая отражает не форму мозгового отдела, а его общий размер. То же наблюдается и для связи указателей формы лицевого отдела с линейными размерами мозгового: максимальное значение корреляции,  $r=0,26$  (не считая связи с общей лицевой величиной - ОЛВ). Связь формы соответствующего отдела с его линейными размерами в основном слабая или средняя,

не считая размеров, входящих в состав указателя. То есть можно говорить об относительно независимой изменчивости различных указателей от линейных размеров.

Также важно отметить, что связь указателя с размерами, входящими в его состав, может довольно сильно различаться. То есть один размер может коррелировать с указателем сильно, а второй слабо, особенно это характерно для лицевого отдела. Меньшая связь всегда наблюдается с размером, который стоит в знаменателе указателя, то есть с большим размером.

### **3.3. Исследование корреляционной структуры черепа на разных уровнях обобщения**

**Сравнение надпопуляционных корреляционных матриц.** Широко известно, что корреляционная структура черепа весьма изменчива от популяции к популяции, так как на связь признаков влияет ход популяционной истории группы. Остается вопрос: есть ли закономерности изменчивости корреляционной структуры черепа на надпопуляционном уровне. Для этого анализируются усредненные корреляционные матрицы по следующим макрорегионам: группы из Африки, с территории Европы и Передней Азии, из Западной Сибири, Северной, Центральной и Восточной Азии (за исключением айнов), и Аляски. Здесь и далее (для краткости) под группами из Северной Азии подразумеваются все серии севернее Юго-Восточной Азии.

В качестве генерализованной оценки сходства макрорегиональных матриц использовался тест Мантеля. С его помощью рассчитывался суммарный коэффициент корреляции между парами корреляционных матриц. Корреляция между европейской и африканской матрицами равна 0,622, между европейской и азиатской – 0,6208, между африканской и азиатской – 0,774 (все значения достоверны). Таким образом, можно говорить о сильном сходстве матриц азиатской и африканской выборок и о средней силы сходстве между европейской матрицей с двумя другими. Рассчитанный показатель говорит о слабой изменчивости коэффициентов корреляции в надпопуляционных общностях. Однако, так как тест Мантеля является генерализованной характеристикой, то есть не отражает различие отдельных коэффициентов корреляции, необходимо провести попарное сравнение коэффициентов, чтобы выявить различающиеся, если таковые имеются.

#### *Попарное сравнение коэффициентов корреляции*

По результатам анализа достоверности различий попарного сравнения коэффициентов из трех макрорегиональных корреляционных матриц, корреляционная структура черепа в разных группах оказывается чрезвычайно сходной. Всего достоверность рассчитана для 406 коэффициентов корреляции. Различаются для данных групп от 19 до 24 пар коэффициентов. Больше всего достоверных отличий обнаруживается для обобщенных матриц по группам Северной Азии и Африки. Меньше всего – между матрицами по Европе и Северной Азии. Интересно, что по тесту Мантеля матрицы для групп Африки и Азии коррели-

руют сильнее, чем другие пары матриц. Несоответствие результатов говорит о том, что эти анализы описывают явления разного порядка.

По результатам анализа полученных различий следует обратить внимание на следующие закономерности. Связь продольного диаметра с широтными размерами мозгового отдела мала в группах с территории Северной Азии (0,08 с наибольшей шириной лба и шириной затылка, 0,00 с поперечным диаметром) по сравнению с другими макрорегиональными выборками (табл. 1).

В группах с территории Африки связь наибольшей ширины лба с широтными размерами лица достоверно меньше, чем в европейских группах. Также у них снижены коэффициенты корреляции между поперечным диаметром и шириной основания черепа, и между поперечным и скуловым диаметрами относительно европейских и азиатских групп.

Европейские группы отличаются от остальных повышенной связью высотного диаметра с шириной основания черепа, скуловым диаметром. Различия в скоррелированности с высотного диаметра со скуловым достоверны только в сравнении с африканскими группами.

Наблюдаются значительные отличия корреляционной структуры размеров лицевого отдела в африканских группах. Длина черепа у них сильнее связана с высотой лица, это различие достоверно как для европейских, так и для азиатских групп. От европейских они также отличаются более высокой связью длины основания лица с высотой носа, средней шириной лица и длиной основания черепа.

Таблица 1

Достоверно различающиеся коэффициенты корреляции размеров черепа, в макрорегиональных матрицах

$r_{x,y}$		Европа	Африка	С. Азия	Африка	Европа	С. Азия
M.1	M.10			0,08	0,27		
M.1	M.12			0,08	0,42	0,29	0,08
M.1	M.27			0,34	0,51		
M.1	M.8			0,00	0,27	0,25	0,00
M.10	M.43	0,53	0,30				
M.10	M.45	0,53	0,28				
M.11	M.17	0,40	0,08			0,40	0,07
M.11	M.8	0,71	0,45	0,71	0,45		
M.17	M.45	0,40	0,25				
M.40	M.48	0,11	0,48	0,31	0,48		
M.45	M.8	0,53	0,31	0,45	0,31		

*Сравнение результатов факторного анализа*

При анализе факторной структуры трех макрорегиональных выборках были получены определенные отличия. По сути факторный анализ является анализом корреляционных плеяд, то есть набор признаков, максимально коррелирующий с одним фактором, является корреляционной плеядой. Таким образом, в результате данного анализа мы получаем надпопуляционные плеяды. Во всех трех макрорегиональных матрицах наблюдаются несколько одинаковых коррелирующих групп признаков. Например, во всех группах с тремя разными фак-

торами коррелируют длины костей свода (хорды и дуги), что говорит о том, что длина каждой кости представляет свою плеяду признаков, однако другие исследуемые размеры с ними мало связаны, поэтому без расширения программы говорить, какие еще признаки входят в корреляционные плеяды длин костей свода, нельзя. В отдельную группу обособляются высотные размеры лица и широтные размеры альвеолярной дуги.

Корреляции внутри группы широтных признаков мозгового отдела меняются в разных макрорегиональных выборках. В африканской выборке широтные размеры свода (М.8 и М.10) входят в одну корреляционную плеяду, но при этом слабо связаны с другими широтными размерами черепа – шириной основания или шириной затылка. В европейской выборке в корреляционную плеяду широтных размеров свода черепа уже включаются ширина основания и ширина затылочной кости. С этой плеядой начинает сильнее коррелировать скуловая ширина. В азиатских группах плеяда, которая объединяет широтные размеры мозгового отдела, не включает максимальную ширину лобной кости. Это может свидетельствовать о более независимом варьировании ширины задней части свода и передней. Так же как и в европейских группах, с этой плеядой широтных размеров средне связан скуловой диаметр.

В африканской выборке ярко выраженным фактором являются размеры основания лица: длина основания лица, длина альвеолярного отростка и длина неба. В европейской группе длина основания лица входит в группу с длиной основания черепа и гораздо меньше коррелирует с длинами альвеолярного отростка. Это может говорить о том, что в связи с уменьшением альвеолярного прогнатизма у европейских групп по сравнению с африканскими, длина лица стала больше зависеть от длины черепа, а не от развития альвеолярного отростка. Длина основания лица в азиатских группах, так же как в африканских связана с длиной альвеолярной дуги сильнее, чем с длиной основания черепа. Длина основания черепа при этом выделяется отдельным фактором, чего не было в двух предыдущих случаях.

Отдельной плеядой в африканских и европейских группах выступают широтные размеры надглазничной и глазничной области (М.43, М.9, М.51). В азиатской группе из этой плеяды выпадает размер, характеризующий наименьшую ширину лба, он так же как и длина основания черепа представляет отдельный фактор.

### **Сравнение популяционных корреляционных матриц**

Выделение трех макрорегиональных выборок для изучения изменчивости корреляций выглядит несколько искусственно. Потому что в каждой из этих трех выборок также существует изменчивость коэффициентов корреляции. Таким образом следующий шаг это анализ изменчивости коэффициентов корреляции в отдельных краниосериях. Для этого проводился расчет расстояний Евклида между 52 группами, где признаками служили не линейные размеры, а коэффициенты корреляции. Всего в расчетах участвовали около 155 коэффициентов. На основе полученной матрицы расстояний проводилось многомерное шкалирование.

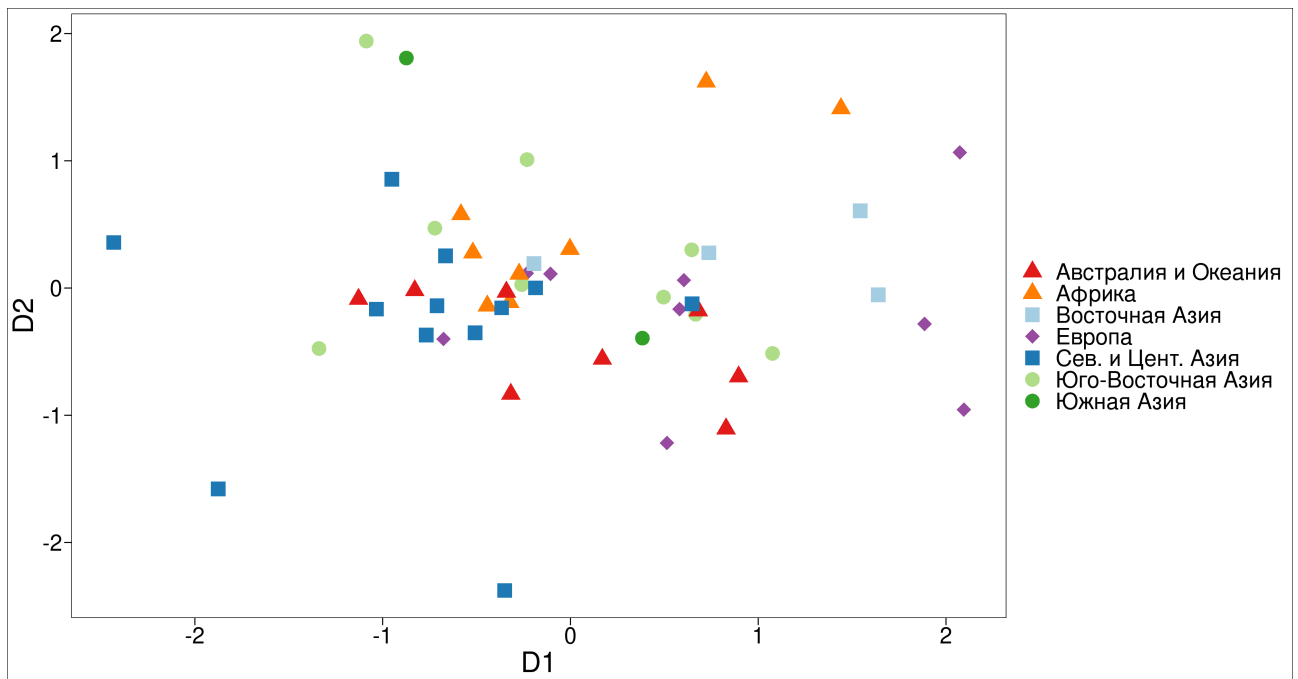


Рис. 6. Расположение групп в пространстве осей многомерного шкалирования, матрица расстояний для которых, рассчитана на основе коэффициентов корреляции

По результатам этого анализа можно заключить, что большинство групп расположены достаточно хаотически. На правой половине поля расположено большинство групп с территории Европы, а также Восточной Азии. Это те выборки и те популяции, в которых коэффициенты корреляции оказались относительно высокими. На противоположной стороне поля расположилось большинство групп Северной и Центральной Азии и большинство африканских групп (рис. 6). Группы с территории Юго-Восточной Азии, Австралии и Океании более или менее равномерно распределены в значениях первой оси.

Этот анализ позволяет утверждать, что те закономерности по уровню связей, которые были зафиксированы на макрорегиональном уровне, подтверждаются и при сравнении корреляционных структур отдельных популяций. За исключением того, что группы Восточной Азии, оказались среди тех популяций, в которых отмечен более высокий уровень корреляций. Большинство групп из Африки расположены в центре распределения.

Таким образом, по коэффициентам корреляции безусловно нельзя дифференцировать группы, однако продемонстрированный результат говорит о некоторой гетерогенности групп по корреляционным коэффициентам в разных макрорегионах. Наиболее дифференцированы азиатские и европейские серии. Причем для азиатских (северных и центральных) групп характерна концентрация в центральной части графика, за исключением трех сильно обособленных групп: якутов, чукчей и алеутов.

### 3.4. Блочно-модульная структура черепа человека

Модульность организма в целом и черепа в частности, довольно актуальная и развивающаяся проблематика. Модульность и интеграция организма напрямую связаны с его эволюцией. Так как в зависимости от интегрированности разных частей организма или, наоборот, возрастающей модульности изменяется фенотипическая пластичность.

Так как в анализе модульности участвовали дополнительные признаки, возможно было использовать только данные, измеренные по расширенной программе. Таким образом, в анализ вошли 10 этно-территориальных групп (айны, алеуты, эскимосы, ханты, якуты, монголы, осетины, латыши, итальянцы, болгары) общей численностью 451 индивид.

Используемый метод (EMMLi) основан на анализе максимального правдоподобия и разработан для определения наиболее вероятной модели модульности черепа, по корреляционной матрице. На основе информационного критерия Акаике было протестировано несколько моделей – варианты выделения модулей. Также в каждой модели возможны разные варианты связей внутри и между модулями [Goswami, Finarelli, 2016, с. 4].

В результате проведенного анализа наиболее подходящей для нашего объекта оказалась модель с максимальным количеством модулей и с разными меж- и внутримодульными корреляциями. Можно заключить, что модульность черепа человека достаточна высока, то есть зависимость между различными отделами черепа небольшая, а это говорит о высокой фенотипической пластичности размеров разных блоков черепа. Самыми слабосвязанными внутри себя модулями оказались орбитный модуль (0,22) и модуль затылочной кости (0,27) (табл. 2). Максимально скоррелированные модули: модуль теменной области (0,38), скуловой кости (0,36) и верхней части лица (0,35).

Межмодульная интеграция как правило не превышает значение 0,25, за несколькими исключениями. Верхний этаж лица скоррелирован с модулем основания черепа несколько выше, чем остальные модули между собой (0,27). Это вероятно связано с сильной связью между шириной основания черепа и скуловой шириной, фактически относящейся к нейрокраниуму. Также, повышение коэффициента связи наблюдается между верхним этажом лица альвеолярным

Таблица 2  
Оптимальные значения  $r$  для 8 модулей и 28 межмодульных корреляций

Модули	$r$
лобный (1)	0,32
теменной (2)	0,38
затылочный (3)	0,27
основания ч. (4)	0,30
верх.ч.лица (5)	0,35
альвеолярный (6)	0,33
орбитный (7)	0,22
скуловой (8)	0,36
1.to.2	0,17
1.to.3	0,11
1.to.4	0,17
1.to.5	0,17
1.to.6	0,08
1.to.7	0,11
1.to.8	0,14
2.to.3	0,11
2.to.4	0,15
2.to.5	0,10
2.to.6	0,07
2.to.7	0,06
2.to.8	0,10
3.to.4	0,16
3.to.5	0,17
3.to.6	0,08
3.to.7	0,07
3.to.8	0,11
4.to.5	0,27
4.to.6	0,17
4.to.7	0,15
4.to.8	0,18
5.to.6	0,28
5.to.7	0,27
5.to.8	0,32
6.to.7	0,12
6.to.8	0,21
7.to.8	0,24

и скуловым модулями (0,28 и 0,32 соответственно), корреляцией 0,27 связан модуль верхней части лица с орбитным. Для связей модулей мозгового отдела наблюдаются намного меньшие значения. Можно предположить, что лицевой отдел несколько сильнее интегрирован, нежели мозговой. Однако это, по всей видимости, не позволяет объединять выделенные модули лицевого отдела в один.

### 3.5. Межгрупповые корреляции и таксономическая значимость

Для выявления признаков, которые могли бы наилучшим образом дифференцировать популяции, было использовано три метода. Первый основан на сравнении внутригрупповых и межгрупповых коэффициентов корреляции. Вторым – исключительно на внутригрупповых связях и выявлении группы признаков, максимально вариабельных, но при этом минимально связанных между собой. Третий метод не связан с корреляционной структурой черепа, он выявляет признаки, в распределении которых имеются разрывы между макрогруппами, по которым можно за наименьшее количество шагов, разделить все группы.

Анализ межгрупповых корреляций важен для оценки отличия их от внутригрупповых. Это различие, в свою очередь, может свидетельствовать о таксономической значимости признака. То есть, чем больше различается межгрупповая и внутригрупповая корреляция одной пары признаков, тем сильнее популяционные процессы формирования групп изменили исходную физиологическую связь. В связи с этим была проведена оценка различия коэффициентов корреляции, рассчитанных на основе индивидуальных данных, и на основе средних значений. Данный анализ был проведен только для матриц, рассчитанных на основе всех групп. Оценки макрорегиональных матриц не проводилось в связи с малым количеством достоверных межгрупповых коэффициентов корреляции.

Для выявления признаков, чьи межгрупповые и внутригрупповые коэффициенты связи наиболее различны, рассчитывалась разность коэффициентов в двух матрицах. Затем эти разности (для каждого признака) складывались по модулю. Полученная сумма делилась на количество коэффициентов, для которых разности были рассчитаны. В результате была получена таблица, в которой указан параметр D, характеризующий различие межгрупповых и внутригрупповых коэффициентов корреляции для каждого

Таблица 3

Параметры, характеризующие различие меж- и внутригрупповых коэффициентов корреляции черепа

Признаки	D
M.1	0,20
M.8	0,34
M.17	0,09
M.20	0,07
M.21	0,18
M.5	0,17
M.9	0,15
M.10	0,39
M.11	0,28
M.12	0,35
M.29	0,19
M.30	0,38
M.31	0,21
M.26	0,13
M.27	0,42
M.28	0,30
M.43	0,26
M.45	0,25
M.46	0,31
M.40	0,17
M.48	0,33
M.55	0,30
M.54	0,15
M.60	0,27
M.61	0,25
M.51	0,28
M.52	0,36
M.62	0,26
M.63	0,32



признака (табл. 3). Значение D варьирует от 0,13 у лобной дуги, до 0,42 у теменной дуги. Максимальное различие межгрупповых и внутригрупповых коэффициентов корреляции наблюдается, для теменной дуги и чуть меньшее, но также значительное – для теменной хорды (0,42 и 0,38 соответственно) (табл. 3). Также существенные различия двух вариантов связи имеют наибольшая ширина лба (0,39), высота орбиты (0,36), ширина затылка (0,35), поперечный диаметр (0,34), высота лица (0,33).

### Алгоритм деревьев принятия решений

В качестве следующего этапа анализа таксономической значимости признаков нами был выбран алгоритм под названием “деревья принятия решений”. Принцип анализа основан на поэтапном разделении групп по признакам, по которым можно это сделать с максимальным уменьшением энтропии – меры разнородности выборки. Таким образом, первое разделение происходит по признаку, который отделяет наибольшее количество групп, на втором шаге разделяются уже два набора и так далее, пока не останутся гомогенные наборы групп (то есть группы относящиеся к одной макрорегиональной выборке). В результате разных вариантов данного анализа можно составить представление о том, какие из используемых признаков наиболее значимы при разделении исследуемых групп. Этот метод не является корреляционным, поэтому является важным дополнением к корреляционным методам, а также он является достаточно простым и наглядным.

Анализ проводился по средним значениям, так как результаты, полученные на индивидуальных данных, сложно интерпретировать. Использовались как линейные размеры, так и черепные указатели. Наиболее интересные результаты получились для варианта анализа с использованием указателей.

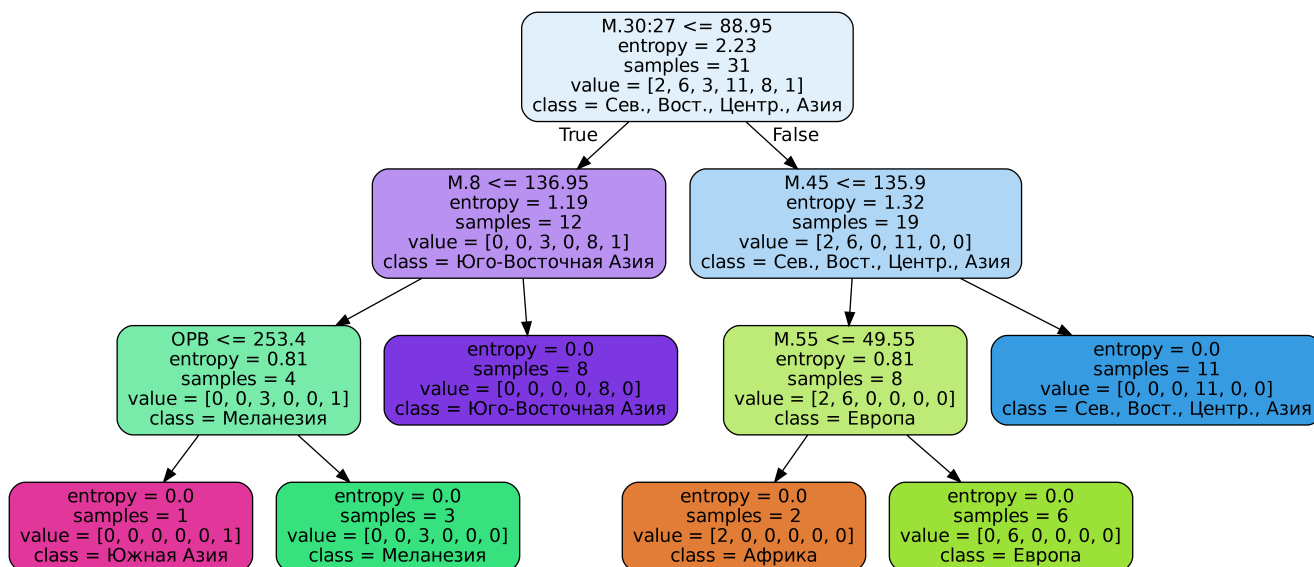


Рис. 7. Дерево решений с максимальным количеством признаков (линейные размеры и указатели)

По указателям дифференциация происходит за меньшее количество шагов, так как указатель изгиба темени хорошо разделяет группы Южной, Юго-

Восточной Азии и Меланезии от остальных групп (рис. 7). Так как у первых степень изгиба темени оказалась несколько меньше. Группы Южной и Юго-Восточной Азии от меланезийских отделились по поперечному диаметру – у первых он больше. Группы с территории Северной, Восточной и Центральной Азии обособляются от европейских и африканских по скуловому диаметру. Последние дифференцируются друг от друга по высоте носа.

Из описанных выше результатов можно заключить, что используемый алгоритм “деревьев принятия решений” достаточно нагляден и дает интерпретируемые результаты, по крайней мере, для средних значений. Конечно, основываясь на столь малом количестве имеющихся выборок, нельзя однозначно постулировать дифференцирующие способности тех или иных признаков. Однако большинство из выделенных анализом размеров известны своей таксономической ценностью (M.8, M.45, M.55). Можно также обратить внимание на указатель изгиба темени, который успешно дифференцирует группы Юго-Восточной Азии и Меланезии от групп с территории Северной, Центральной, Восточной Азии, а также Европы и Африки. Ранее нами отмечалась также дифференцирующая способность длины теменной кости, которая, как правило, больше у экваториальных групп (как восточных, так и западных) что согласуется с результатами других исследователей [Урысон, 1969, 1970]. В сочетании с шириной черепа этот размер хорошо разделяет группы. При том, что на внутригрупповом уровне эти размеры практически не связаны, а на межгрупповом уровне увеличение ширины черепа сопровождается уменьшением длины теменной кости. Благодаря деревьям принятия решений видна дифференциация групп не только по длине теменной кости относительно ширины черепа, но и по степени изгиба темени. Причем по степени изгиба выделяются уже не экваториальные группы (и восточные и западные), а именно юго-восточные и меланезийские.

### **Факторный анализ для выявления признаков-индикаторов**

Результаты факторного анализа по линейным размерам черепа в целом совпадают с результатами предыдущих исследователей [Howells, 1973; Дерябин, 2001; Бахолдина, 2004, 2008]. Большой вклад в изменчивость вносят широтные размеры, основным из них является, ширина основания черепа. Обнаруживается большое влияние высотного диаметра мозгового отдела черепа, а также (как и в предыдущих исследованиях), сильный вклад длин основания черепа, лица и альвеолярного отростка. Высота лица и высота носа также вносят существенный вклад в изменчивость черепа, меньший процент изменчивости – признаки надорбитной области и верхней ширины лица. Дуги и хорды костей свода черепа выделяются отдельными факторами, однако факторы эти, как правило, описывают небольшой процент изменчивости, то же можно сказать и про продольный диаметр, который оказался мало значимым.

Признаки, оказавшиеся наиболее значимыми по результатам факторного анализа, были использованы на следующем шаге, в кластерном анализе для рассмотрения дифференциации групп. Кластерный анализ проводился на основе матрицы расстояний Евклида, которая рассчитывалась на основе средних значений.

## Дифференциация групп

Были выделены два набора таксономически значимых признаков, по результатам двух анализов.

По результатам сравнения внутри- и межгрупповых коэффициентов корреляции: поперечный диаметр (М.8), наибольшая ширина лба (М.10), ширина затылочной кости (М.12), теменная и затылочная дуги (М.27 и М.28), средняя ширина лица (М.46), верхняя высота лица (М.48), высота орбиты (М.52), ширина неба (М.63).

По результатам факторного анализа выделены: поперечный диаметр (М.8), высотный диаметр (М.17), наименьшая ширина лба (М.9), ширина основания черепа (М.11), лобная, теменная и затылочная дуги (М.26, М.27, М.28), средняя ширина лица (М.46), длина основания лица (М.40) и верхняя высота лица (М.48).

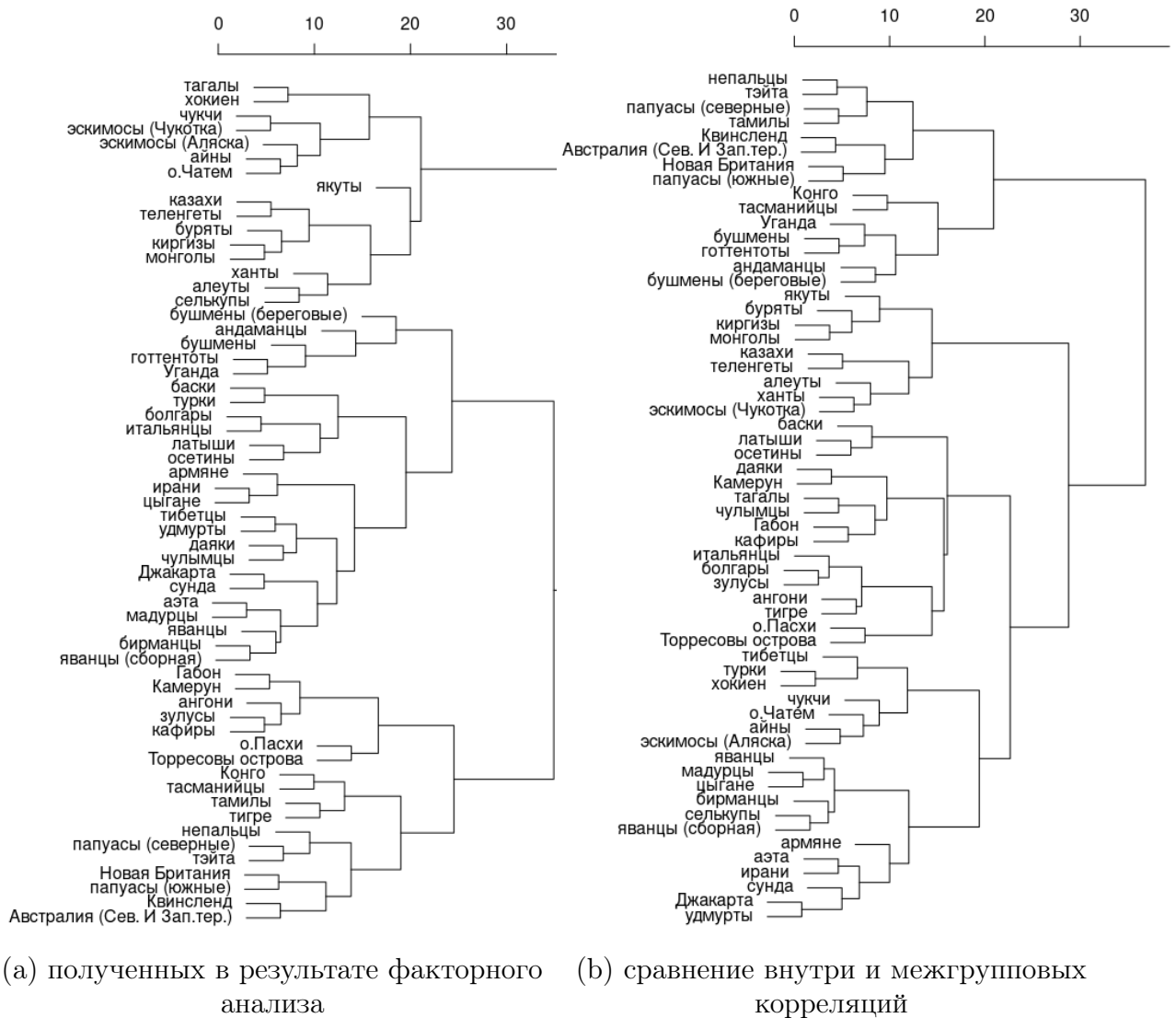


Рис. 8. Кластерная структура 59 изучаемых групп по набору таксономически значимых признаков черепа.

По признакам, выделенным в результате факторного анализа получается сложно интерпретируемая дифференциация групп (рис. 8a). Первый кластер

объединяет группы Северной и Центральной Азии. Обособляются от большинства эскимосы, чукчи, айны, тагалы, хокиен и группа с острова Чатем, интересно, что алеуты в этот кластер не входят. Следующий выделяемый кластер объединяет группы Юго-Восточной Азии, европейские популяции и некоторые популяции с территории Африки. В варианте с максимальным количеством групп в этом большом кластере обособляются группы бушменов и готтентотов, к которым примыкают андаманцы и группа с территории Уганды. Выделяются также большинство европейских групп, за исключением армян, ирани, цыган и удмуртов, которые обособляются в кластере Юго-Восточной Азии. В этот же кластер попали тибетцы и чулымцы, что проблематично интерпретировать. Последний большой кластер объединяет часть африканских групп и групп с территории Австралии и Океании.

По второму набору признаков закономерности дифференциации групп еще менее очевидные (рис. 8b). Европеоидные группы и выборки из Юго-восточной Азии также не дифференцируются, группы Северной Азии также обособляются. Экваториальные группы сильно перемешаны с группами других регионов. При сравнении с первой кластерной структурой можно сказать, что результаты второй дифференциации хуже. Таким образом, габаритные размеры мозгового отдела, которые выявились в результате факторного анализа, более эффективны при дифференциации групп, нежели локальные размеры лица: такие как ширина неба и высота орбиты, которые были выявлены в результате сравнения внутригрупповых и межгрупповых коэффициентов корреляции.

## Глава 4. ОБСУЖДЕНИЕ

### *Корреляционная структура черепа человека в целом*

Скелет головы представляет собой общность отдельных элементов, которые в процессе развития организма соединяются в единую систему – череп. Благодаря определенному уровню связей в этой системе, изменения, происходящие под давлением отбора или в результате случайных факторов, затрагивают не один признак, а целый комплекс. Именно взаимосвязь разных частей организма в целом, и размеров черепа в том числе, определяет поле возможностей для изменения в этой системе. Эти связи для черепа млекопитающих исследуются достаточно давно и продолжают исследоваться до сих пор, так как это основополагающая тема в изучении эволюционных преобразований формы черепа.

Согласно полученным нами данным сильных связей между размерами черепа, предусмотренных стандартной измерительной программой, довольно мало. В большинстве работ, затрагивающих так или иначе проблему корреляций краниометрических признаков, получены сходные результаты [Pearson, Davin, 1924; Звягин, 1981; Ефимова, 1991; Широбоков, 2021]. Так, из 215-ти коэффициентов корреляции, рассчитанных нами для всех изученных групп, к категории сильных связей можно отнести лишь четыре коэффициента – между дугами и хордами покровных костей, взятыми по сагиттальному профилю, а также между верхней высотой лицевого отдела и высотой носа. Для этих же коэф-

фициентов характерна крайне слабая межгрупповая изменчивость. Значения коэффициентов, показывающих среднюю силу связи, наблюдаются лишь для одиннадцати пар признаков. Остальные 200 коэффициентов корреляции размеров черепа варьируют от 0,4 до -0,2, то есть связь между подавляющим большинством признаков очень слабая или отсутствует. Наличие такого количества слабых или очень слабых связей говорит о многофакторной основе корреляций размеров черепа. При этом естественно, что коэффициент межгрупповой вариации возрастает с уменьшением показателей силы связи (коэффициентов корреляции). Из этого следует, как и указывалось А.А. Малиновским, что коэффициенты корреляции значительно различаются от популяции к популяции [Малиновский, 1945, 1948]. Полученные результаты хорошо соотносятся с данными других авторов [Pearson, Davin, 1924; Звягин, 1981, 1986].

Судя по нашим результатам, для черепа человека можно выделить несколько относительно независимых факторов изменчивости. В первую очередь – фактор, регулирующий длины покровных костей свода, которые варьируют независимо от остальных размеров. Эти данные полностью соответствуют итогам исследований отечественных антропологов, изучавших покровные кости свода черепа [Урысон, 1969; Беневоленская, 1976; Чистов, 1980]. Длина лобной кости несколько больше связана с высотными характеристиками, которые также обособлены от других размеров черепа. В работах Ю.Д. Беневоленской высказывалась мысль о том, что кости свода черепа имеют определенную автономность ростовых процессов [Беневоленская, 1991].

В отдельный фактор выделяются широтные размеры свода, а также связанная с ними ширина основания черепа. Этот результат очень хорошо соотносится с работами других авторов [Howells, 1973; Дерябин, 2001; Бахолдина, 2008]. Значительно обособлены от других размеров черепа длины основания лицевого отдела. Остальные размеры лицевого скелета близко объединены друг с другом в факторном пространстве. Из признаков мозгового отдела можно также отметить продольный диаметр и длину основания черепа, которые обособлены от остальных размеров и также представляют собой отдельный фактор. Вероятно, это можно объяснить тем, что это общие, габаритные характеристики, которые связаны с большинством отделов черепа напрямую или косвенно, могут формироваться под действием нескольких факторов изменчивости. В данном случае не стоит упускать из внимания также и очень древний в филогенетическом отношении фактор продольного роста черепа.

При анализе отдельных коэффициентов корреляций нам не удалось выделить, самостоятельные факторы лицевого и мозгового отделов. Например, достаточно хорошо скоррелированные размеры лицевого отдела обособлены от длины его основания. Для мозгового же отдела корреляционное единство признаков соответствует их пространственным осям, а не их топографической близости, например. Это может свидетельствовать о том, что изначальные связи, присущие черепу млекопитающих, были нарушены в ходе колоссального увеличения свода черепа под действием процессов церебрализации, когда и возникли новые топографические координаты [Северцов, 1939]. Данные комплексы при-

знаков продолжают находиться под влиянием растущего мозга, формируя пространственные связи, не подчиненные принципу максимальной близости костей или их эмбриологического единства.

#### *Изменчивость корреляционной структуры черепа человека*

Так как корреляционные связи размеров черепа в основном слабые, они должны иметь высокую межгрупповую изменчивость. Этот факт ранее отмечался другими исследователями [Малиновский, 1945; Рогинский, 1954; Бунак, 1965; Беневоленская, 1974]. Однако существуют работы, демонстрирующие достаточно высокое сходство групп по корреляционным связям черепа [Звягин, 1986; Gonzalez-Jose et al., 2001]. Наши результаты подтверждают факт высокой и неслучайной изменчивости коэффициентов корреляции на разных уровнях, как популяционном, так и надпопуляционном. В первую очередь, это изменчивость макрорегиональных выборок, которая связана с особенностями корреляции широтных размеров мозгового отдела черепа. В африканских группах данные размеры максимально независимы. В европейских – широтные размеры свода и основания мозгового отдела входят в одну плеяду, а в азиатских группах наибольшая ширина лба уже относительно не связана с этой группой признаков.

В результате анализа связей между абсолютными значениями признаков, показателями их дисперсии и коэффициентами их корреляции с другими размерами черепа эмпирическим путем установлено, что эти параметры варьируют независимо. По этой причине выдвигается гипотеза о влиянии микроэволюционных процессов на изменение характера связи между размерами черепа в разных макрорегиональных выборках. Так как связи изменяются в первую очередь для широтных размеров, можно предположить, что они сильнее всего подвержены давлению микроэволюционных процессов. В азиатских и европейских выборках широтные размеры выделяются в отдельный фактор, в африканской выборке этого не наблюдается, что также показывает различную координацию признаков в разных макрорегиональных выборках. В европейских группах развитие черепа наиболее гармонично во всех направлениях, а в азиатских группах широтные размеры разделены, признаки задней части черепа и признаки передней его части связаны друг с другом слабее, что в данном случае дезинтегрирует широтную плеяду.

#### *Анализ модульности черепа человека*

Слабые корреляции между разными частями черепа человека позволяют предположить его высокую модульность, для изучения которой применяется блочно-модульный подход, хорошо разработанный в зоологии [Ковалева, 2017; Goswami, 2006; Porto et al., 2009; Nanova, 2015; Goswami, Finarelli, 2016]. Этот подход реализован путем сравнения эмпирических данных с набором моделей, в которых размеры черепа разделены на разное количество модулей. Наиболее статистически достоверной моделью оказывается та, в которой насчитывается максимальное количество модулей. Однако и в наиболее достоверной модели корреляции между признаками, входящими в один модуль, достаточно слабые, что еще раз подтверждает вывод о малой интеграции частей черепа челове-

ка. Эти данные хорошо соответствуют результатам других работ, в основном зоологических, в которых постулируется, что снижение интеграции организма является основной эволюционной тенденцией в животном мире [Goswami, 2006; Porto et al., 2009; Goswami, Polly, 2010; и др.]. Связано это с тем, что естественный отбор начинает действовать на отдельные части организма, а не на весь фенотип в целом, в результате чего они остаются стабильными внутри себя и относительно независимыми от других частей. Таким образом создается пространство для модификационной изменчивости. Это является предпосылкой для увеличения степени полиморфизма вида, который и наблюдается в случае с человеком. Столь сильная разобщенность признаков черепа служит основой для дивергенции вида на подвидовые стволы. В ходе естественно-исторического развития популяций формируются новые группы связанных признаков. Появление новых межгрупповых корреляционных связей позволяет использовать их для классификации групп путем сравнения их с внутригрупповыми.

#### *Таксономическая значимость признаков*

Размеры черепа человека сильно варьируют в связи с тем, что между ними преобладают слабые связи. К тому же эти вариации не являются дискретными, а переходят непрерывно одна в другую. Таким образом, любая классификация будет являться искусственной [Бунак, 1922]. Поэтому В.В. Бунак предложил взять за основу классификации наиболее существенные признаки, которыми он считает продольный, широтный и высотный диаметры. Продолжая эту идею, А.П. Пестряков разработал краниологическую классификацию современного населения на основе трех черепных диаметров (М.1, М.8, М.17). Согласно вариации основных диаметров и авторских указателей, рассчитанных на их основе, население планеты делится на три большие группы: тропиды, голарктиды и пацифиды [Пестряков, 1995, 2003; Пестряков, Григорьева, 2004, 2013]. В настоящей работе мы решили отойти от парадигмы, при которой трем основным диаметрам мозгового черепа придается ведущая роль. Во-первых, потому что на их основе классификация уже разработана, во-вторых, результаты данной работы не выявили особой значимости только этих признаков. Таким образом, эта часть работы была статистическим экспериментом по тестированию различных методов выявления таксономически значимых признаков.

В ходе работы было выявлено, что в группу таксономически значимых краниометрических признаков попадает лишь часть из тех, которые традиционно используются антропологами для нумерических классификаций. Кроме того, выявлена высокая таксономическая значимость признаков, предложенных разными авторами, не входящих в стандартный краниометрический бланк. Из стандартного набора признаков стоит упомянуть высотный диаметр (М.17), значимость которого отмечалась и в работах предшественников. Так, в исследованиях Ю.Д. Беневоленской показано, что отношение высотного и продольного диаметров вместе с затылочно-теменным указателем надежно дифференцируют монголоидов и европеоидов [Беневоленская, 1991].

Одним из важнейших итогов проведенных анализов является установление значимости длин покровных костей (М.26, М.27, М.28), что также соответствует

результатам предшествующих работ [Урысон, 1969, 1970; Беневоленская, 1974, 1980, 1991; Чистов, 1980, 1981, 1986].

Полученные результаты свидетельствуют о таксономической значимости широтных признаков лобной кости, верхней ширины лица и ширины основания черепа (М.9, М.10, М.11, М.43). Важность этих признаков для дифференциации монголоидов и европеоидов была продемонстрирована ранее [Пестряков, Федорчук, 2016; Федорчук, 2017; Howells, 1973].

Кроме того, выявлена значимость длины основания лицевого отдела (М.40). Этот результат согласуется с тем, что известно о его связи со степенью выступания лица, которая также описывается общим лицевым углом, для которого таксономическая значимость хорошо показана [Бунак, 1959; Алексеев, Дебец, 1964].

В результате сравнения трех методов поиска таксономически значимых признаков, наиболее наглядную дифференциацию групп показал алгоритм “деревьев принятия решений“. Его можно использовать как для выявления наиболее значимых для дифференциации признаков, так и классификации выборок неопределенного положения, так как он является частью алгоритмов машинного обучения.

Из трех методов, использованных для выявления таксономически значимых признаков, результаты сопоставлены только для двух, потому что алгоритм “деревьев принятия решений“ дал короткий список краниометрических признаков. Сравнение результатов, полученных методом факторного анализа и методом разности внутригрупповых и межгрупповых коэффициентов корреляции, показало, что кластеризация групп, построенная на основе признаков, где преобладают габаритные размеры мозгового отдела, лучше интерпретируется, чем кластерная структура, которая включала локальные размеры лицевого отдела. Высокие дифференцирующие способности общих размеров мозгового отдела неоднократно освещались [Пестряков, 1995, 2003; Пестряков, Григорьева, 2004, 2013].

Значительный полиморфизм черепа человека определяется тем, что отдельные его размеры слабо связаны друг с другом. Судя по всему, это связано с отсутствием жесткого давления отбора на череп в целом, о чем свидетельствуют широкие рамки нормы реакции. В этой связи разработка краниометрической классификации, как и в принципе любой нумерической классификации, наталкивается на определенные сложности. Размеры могут одинаково изменяться, увеличиваться или уменьшаться в группах независимо от истории сложения популяций. Поэтому выявление комплексов, составленных из большого набора признаков, которые однозначно дифференцировали бы макрорегиональные выборки (аналогичные большим расам), весьма проблематично. Дифференцирующая значимость небольшого комплекса признаков выше, чем у большого количества признаков, даже таксономически значимых. Вероятно, по этой причине алгоритм “деревьев принятия решений“, где разделение происходит поэтапно, дает такой хороший результат. На каждом уровне ветвления используется только один признак, который наилучшим образом разделяет только участвующие



на этом этапе разделения группы, а не весь набор. В качестве продолжения настоящей работы необходим поиск групп признаков, который будет основан на сравнении не общих межгрупповой и внутригрупповой матриц, или выделении признаков-индикаторов, при использовании общей внутригрупповой корреляционной структуры, а на анализе частных матриц – для выявления дифференцирующих признаков, характерных для отдельных макрорегионов (или расовых категорий).

### **Выводы**

1. Предложенные в работе дополнительные краниометрические признаки позволили описать новые аспекты морфологической изменчивости черепа человека; для большинства из них доказаны высокие группоразграничительные способности, что свидетельствует о недостаточности широко используемой краниометрической программы для целей краниометрической классификации.
2. На большом морфометрическом материале подтверждено, что линейные размеры черепа человека в подавляющем большинстве случаев имеют слабую или очень слабую связь друг с другом, как и связи линейных размеров черепа с краниометрическими указателями, а также указателей друг с другом.
3. Выявлена высокая модульность и слабая интеграция частей черепа человека; блоки краниометрических признаков сформированы как пространственные образования (составлены из однонаправленных размеров), а не как онтогенетические.
4. Показано, что корреляционная структура мужских и женских черепов взятых по отдельности практически не отличается друг от друга (тест Мантеля,  $r=0,902$ ); при попарном сравнении достоверность различий обнаружена лишь для слабых или очень слабых связей, следовательно, что доказывает допустимость использования матриц разработанных на мужских черепах для анализа женских при многомерных статистических анализах.
5. Выявлен неслучайный характер изменчивости корреляционной структуры черепа человека на надпопуляционном уровне, что, в частности, выражается в более высоком уровне связи краниометрических признаков у европейских популяций и более низком у азиатских; кроме того внутривидовая изменчивость корреляционной структуры черепа в первую очередь реализуется за счет широтных признаков.
6. Закономерности соотносительной изменчивости черепа человека на внутривидовом уровне обуславливают способность макрорегиональных матриц давать более точные результаты при дифференциации групп, однако

использование обобщенной корреляционной матрицы является допустимым.

7. Сравнение разных методов поиска таксономической значимости краниометрических признаков, показывает, большую эффективность факторного анализа, однако и по сравнению внутри- и межгрупповых коэффициентов корреляции удается получить сходный набор признаков, в который обязательно входят: поперечный диаметр, широтные размеры лобной кости, теменная и затылочная дуги, средняя ширина и верхняя высота лицевого скелета.
8. Алгоритм “деревьев принятия решений“, как не корреляционный инструмент анализа морфометрических данных, показал эффективную дифференциацию групп на макрорегиональном уровне.

#### СПИСОК РАБОТ ОПУБЛИКОВАННЫХ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

Основные положения диссертационного исследования отражены в 4 публикациях в научных журналах, индексируемых в международных базах RSCI WoS. Общий объём – 60 страниц, на долю автора приходится 47 страниц.

1. Пестряков А.П., Федорчук О.А. Изменчивость некоторых параметров черепной коробки по сериям, близким к современности с территории Северной Евразии // Вестник антропологии. 2016. № 3. С. 11–26. (RSCI; RINC IF 2019: 0.072) (доля автора 0,50)
2. Федорчук О.А. Дифференцирующие возможности некоторых признаков мозгового отдела черепа человека // Вестник Московского университета. Серия 23: Антропология. 2017. № 2. С. 94–110. (RSCI; RINC IF 2019: 0.578) (доля автора 1,0)
3. Пежемский Д.В., Федорчук О.А. К проблеме корреляционных взаимосвязей общих размеров черепа человека // Вестник Московского университета. Серия 23: Антропология. 2020. № 2. С. 126–137. (RSCI; RINC IF 2019: 0,578) (доля автора 0,50)
4. Федорчук О.А. Корреляционная структура черепа человека: сравнительный анализ данных для двух больших рас // Вестник Московского университета. Серия 23: Антропология. 2021. № 1. С. 109–124. (RSCI; RINC IF 2019: 0,578) (доля автора 1,0)