

ФГБНУ «ПСИХОЛОГИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ
ОБРАЗОВАНИЯ»

На правах рукописи

Воронин Иван Александрович

**КРОСС-КУЛЬТУРНОЕ ЛОНГИТЮДНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ
ПРИРОДЫ ИНДИВИДУАЛЬНЫХ РАЗЛИЧИЙ
ИНТЕЛЛЕКТА**

Специальность 19.00.01 —

«Общая психология, психология личности, история психологии»

Диссертация на соискание учёной степени
кандидата психологических наук

Научный руководитель:
доктор психологических наук, профессор, академик РАО, заведующий
лабораторией возрастной психогенетики
ФГБНУ «Психологический институт РАО»
Малых Сергей Борисович

Москва — 2018

Оглавление

	Стр.
Введение	5
Глава 1. Кросс-культурные и лонгитюдные исследования природы индивидуальных различий интеллекта	13
1.1 Концепции интеллекта, оценка интеллекта	13
1.2 Нейрофизиологические и когнитивные механизмы интеллекта	20
1.3 Групповые различия интеллекта	23
1.4 Генетические и средовые источники индивидуальных различий интеллекта	28
1.4.1 Структура индивидуальных различий когнитивных способностей	28
1.4.2 Молекулярно-генетические исследования интеллекта	30
1.4.3 Изменение наследуемости интеллекта с возрастом	32
1.4.4 Лонгитюдные исследования интеллекта	42
1.4.5 Генетические факторы кросс-культурных различий интеллекта	45
1.4.6 Исследования генотип-средовой корреляции	50
Глава 2. Методы и методология исследования	56
2.1 Характеристика выборки и организация исследования	56
2.2 Используемые методики для оценки интеллекта	58
2.3 Метод близнецов	61
2.4 Математический инструментарий генетики поведения: методы моделирования структурными уравнениями	67
2.5 Статистический анализ данных	72
Глава 3. Кросс-культурное исследование генетических и средовых источников стабильности индивидуальных различий интеллекта	80
3.1 Оценка надежности русскоязычной версии методики Векслера	80

	Стр.	
3.2	Описательные статистики и фенотипическая стабильность интеллекта и частных когнитивных способностей	81
3.3	Вклад генетических и средовых факторов в индивидуальные различия интеллекта и частных когнитивных способностей	84
3.3.1	Первое тестирование	84
3.3.2	Второе тестирование	87
3.4	Динамика структуры индивидуальных различий интеллекта в подростковом возрасте	89
3.5	Кросс-культурное сравнение структуры индивидуальных различий интеллекта и ее динамики в подростковом возрасте	92
3.6	Обсуждение результатов	94
3.6.1	Анализ стабильности индивидуальных различий интеллекта и частных когнитивных способностей	94
3.6.2	Структура индивидуальных различий интеллекта и частных когнитивных способностей в подростковом возрасте	96
3.6.3	Динамика структуры индивидуальных различий интеллекта и частных когнитивных способностей в среднем и старшем подростковом возрасте	98
3.6.4	Кросс-культурное сравнение	100
Выводы	. . . . .	104
Заключение	. . . . .	106
Список литературы	. . . . .	108
Приложение А. Реализация лонгитюдной модели средствами пакета OpenMx	. . . . .	132
Приложение Б. Реализация однопеременной близнецовой модели средствами пакета OpenMx	. . . . .	133

Приложение В. Вклад генетических и средовых факторов в стабильность и изменение частных когнитивных способностей	135
Приложение Г. Показатели соответствия одномерных близнецовых моделей	136

Введение

Актуальность исследования.

Исследование интеллекта – способности решать теоретические и практические задачи, воспринимать сложные идеи, адаптироваться к условиям окружающей среды, обучаться – имеет большое значение для современного общества. Высокий уровень интеллектуальных достижений является основой инновационного развития страны, поскольку они определяют прогресс во всех областях науки и технологии и способствуют экономическому росту и технологическому прогрессу. Интеллект (общие когнитивные способности) во многом определяет успешность человека в получении образования и, соответственно, его успешность в усложняющемся технологическом обществе (Тихомирова и др., 2015; Deary et al., 2007; Gottfredson, 1997; Schmidt, Hunter, 2004; Strenze, 2007). Поэтому закономерно, что изучение природы индивидуальных различий интеллекта привлекает большое внимание исследователей.

Накопленный к настоящему времени большой массив данных российских и зарубежных исследований свидетельствует о существенном влиянии наследственных факторов на индивидуальные особенности интеллекта (Bouchard, McGue, 1981; Chipuer et al., 1990; Malykh et al., 2005; Nichols, 1978; Pearson, 1904; Plomin et al., 1994; Plomin et al., 2008). Мета-анализ близнецовых исследований последних пятидесяти лет показал, что индивидуальные различия общих когнитивных способностей обусловлены преимущественно генетическими факторами (50%), в меньшей степени – факторами общей и индивидуальной среды (30 и 20%, соответственно; Polderman et al., 2015). В то же время в целом ряде исследований отмечается, что генетическая архитектура индивидуальных различий интеллекта варьирует в зависимости от характеристик выборки. Так, например, может различаться структура фенотипической дисперсии интеллекта в близнецовых исследованиях, проведенных в разных странах (Polderman et al., 2015). В ряде работ обнаружено, что индивидуальные различия интеллекта в выборках семей с высоким достатком объясняются преимущественно генетическими факторами, а в семьях с низким достатком – факторами общей среды (эффект Скэпп-Роу: Tucker-Drob, Bates, 2016; Turkheimer et al., 2012; Turkheimer, E. E. Horn, 2014). Кроме того, практически во всех (когортных и лонгитюдных) близнецовых исследованиях наблюдается увеличение наследуемости интеллекта с возрастом, хотя в целом

индивидуальные различия интеллекта изменяются мало (Bouchard, 2013; Haworth et al., 2010).

Результаты этих исследований могут свидетельствовать об опосредующей роли особенностей как микросреды (семейная среда, школьная среда), так и макросреды (особенности языка и культуры, социоэкономические условия и т. д.) в сложных процессах взаимодействия генетических и средовых факторов в индивидуальных особенностях когнитивных характеристик. Например, мета-анализ ряда исследований продемонстрировал положительную связь между уровнем благосостояния и наследуемостью интеллекта на выборках из США (Tucker-Drob, Bates, 2016). Вместе с тем систематические комплексные исследования в этой области только начинаются. В имеющейся литературе практически отсутствуют данные о роли макросреды в сложных процессах генотип-средового взаимодействия в ходе формирования индивидуальных различий интеллекта в подростковом возрасте, что и составляет предмет настоящего исследования.

Целью данной работы является кросс-культурный анализ природы индивидуальных различий интеллекта в ходе развития на протяжении подросткового возраста.

Объект исследования: индивидуальные различия интеллекта.

Предмет исследования: генетические и средовые факторы индивидуальных различий интеллекта в подростковом возрасте.

Гипотезы исследования:

1. Предполагается, что индивидуальные различия интеллекта остаются стабильными в ходе индивидуального развития в подростковом возрасте вне зависимости от характеристик макросреды.
2. В структуре индивидуальных различий вербального, невербального и общего интеллекта в подростковом возрасте преобладают генетические факторы и факторы общей среды.
3. В подростковом возрасте стабильность индивидуальных различий вербального, невербального и общего интеллекта обеспечивается стабильностью соответствующих генетических факторов, тогда как их изменчивость связана с факторами индивидуальной среды. Факторы общей среды в старшем подростковом возрасте имеют как стабильный, так и изменчивый компоненты.
4. По сравнению с вербальным, невербальным и общим интеллектом, индивидуальные различия частных когнитивных способностей обладают

меньшей стабильностью в подростковом возрасте за счет более высокого вклада индивидуальной среды.

5. Ожидается, что структура индивидуальных различий интеллекта различается у подростков из России и Великобритании за счет особенностей в характеристиках макросреды.

В соответствии с целью исследования были сформулированы следующие **задачи исследования**:

1. Проанализировать индивидуальные различия показателей интеллекта на выборках из России и Великобритании. Оценить половые различия по этим показателям с целью исключения систематической ошибки, связанной с полом, на дальнейших этапах исследования. Проанализировать стабильность индивидуальных различий общего, вербального и невербального интеллекта, а также частных когнитивных способностей в ходе развития в подростковом возрасте.
2. Оценить вклад генетических и средовых факторов в индивидуальные различия общего, вербального и невербального интеллекта. Сравнить структуру индивидуальных различий интеллекта в указанных странах.
3. Сравнить структуру индивидуальных различий интеллекта в среднем и старшем подростковом возрасте. Оценить вклад генетических и средовых факторов в стабильность индивидуальных различий интеллекта в ходе развития в подростковом возрасте.
4. Сравнить структуру и динамику индивидуальных различий интеллекта и частных когнитивных способностей в подростковом возрасте.
5. Сравнить структуру индивидуальных различий интеллекта и ее динамику в подростковом возрасте на выборках из двух стран.

Теоретическая и методологическая основа работы. Диссертационное исследование выполнено на базе представления о культурной обусловленности высших психических функций в рамках культурно-исторического подхода (Л. С. Выготский, Л. И. Божович, Д. Б. Эльконин), социокультурного (U. Bronfenbrenner) и кросс-культурного подхода (Т. Г. Стефаненко, J. W. Berry, D. Matsumoto, Н. С. Triandis, F. J. R. van de Vijver), когнитивной психологии (А. Р. Лурия, Б. М. Величковский, В. Н. Дружинин, Р. Н. Lindsay, U. Neisser, D. A. Norman, R. L. Solso), дифференциально-психологического (С. Spearman, L. Thurstone, R. Cattell, J. Raven, D. Wechsler, Б. М. Теплов, В. Н. Дружинин, В. Д. Небылицын, М. К. Кабардов, С. Б. Малых, М. А. Холодная, Д. В. Ушаков)

и психогенетического подходов (F. Galton, J. Loehlin, R. Plomin, E. Turkheimer, Y. Kovas, А. Р. Лурия, И. В. Равич-Щербо, С. Б. Малых) к анализу психического развития.

Методы и методики исследования. Для решения поставленных задач и проверки гипотез были использованы: лонгитюдный метод; классический близнецовый метод; кросс-культурное исследование; методы психодиагностики общих когнитивных способностей; статистический анализ данных; методы количественной генетики; методы структурного моделирования.

В исследовании использовались данные Российского школьного близнецового регистра и данные Исследования раннего развития близнецов (Twins Early Development Study, TEDS, Великобритания). Данные были переданы автору диссертационного исследования по запросу в анонимизированном виде с соблюдением этических норм психологического исследования.

Включение в выборку подростков из России и Великобритании, протестированных в разное время, позволило внести в исследование вариацию факторов макросреды. Сравнение индексов социоэкономического благосостояния (индекс человеческого развития, валовый национальный доход на душу населения и продолжительность школьного обучения) подтвердило, что на момент первого тестирования уровень благосостояния в Великобритании был значительно выше, чем в России.

Для диагностики интеллекта на российской выборке использовалась шкала интеллекта Векслера. Эта методика многократно применялась в близнецовых исследованиях и показала себя как надежное средство оценки общего, вербального и невербального интеллекта. Методика проходила апробацию на выборках из разных стран, в том числе на российской выборке. В 13 лет российские подростки выполняли детский вариант методики Векслера (Wechsler Intelligence Scale for Children-III, WISC-III, Wechsler, 1991) в адаптации А. Ю. Панасюка (Панасюк, 1973; Филимоненко, Тимофеев, 1992). В 16 лет российские подростки выполняли взрослый вариант методики Векслера (Wechsler Adult Intelligence Scale-III, WAIS-III, Wechsler, 1997), адаптированный в Санкт-Петербургском психоневрологическом научно-исследовательском институте им. В. М. Бехтерева (Филимоненко, Тимофеев, 1991).

Показатели вербального, невербального и общего интеллекта у подростков из Великобритании вычислялись на основе словарной шкалы Милл-Хилл (Mill Hill Vocabulary Scale; Raven, Court, 1998) и сокращенной версии методики «Стан-

дартные прогрессивные матрицы Равена» (Raven, Court, 1998). Оценка проводилась в 14 и 16 лет.

Индивидуальные различия интеллекта у подростков из России и Великобритании оценивались с помощью разных наборов методик, однако мировая практика близнецовых исследований свидетельствует о том, что структура индивидуальных различий интеллекта мало зависит от конкретного средства измерения и может быть сопоставлена на выборках из разных стран (Кабардов, Матова, 1988; Haworth et al., 2013; Kovas et al., 2013b).

Надежность и достоверность полученных результатов обеспечивается соблюдением этических норм и научных принципов проведения эмпирического и теоретического исследования, применением адекватных поставленным задачам методов исследования, объемом и репрезентативностью выборки исследования, использованием стандартизированных психодиагностических методик, теоретически обоснованными и адекватными гипотезам исследования методами анализа данных.

Научная новизна исследования. В диссертационной работе впервые сочетаются лонгитюдный дизайн, кросс-культурный подход и близнецовый метод для исследования природы индивидуальных различий интеллекта. Впервые получены данные о роли макросреды в динамике генетических и средовых источников индивидуальных различий интеллекта в подростковом возрасте. Показано, что социоэкономические и культурные особенности выступают в качестве опосредующего фактора структуры фенотипической дисперсии интеллекта в подростковом возрасте. Роль генетических и средовых факторов при формировании индивидуальных различий интеллекта может варьировать в зависимости от специфики макросреды. У российских подростков индивидуальные различия интеллекта и их стабильность в большей степени связаны с факторами общей среды (43%) и в меньшей степени – с факторами индивидуальной среды (22%). К факторам общей среды относятся, например, уровень материального благосостояния и особенности воспитания в семье. Напротив, факторы индивидуальной среды, такие как субъективное восприятие родительского отношения или индивидуальная траектория когнитивного развития, вносят больший вклад в индивидуальные различия общих когнитивных способностей у британских подростков (45%).

Теоретическая значимость. Сложные механизмы взаимодействия генетических и средовых факторов в ходе когнитивного развития человека в последние годы находятся в фокусе исследований генетики поведения. Для описания этих

процессов используется биоэкологическая модель когнитивного развития, разработанная У. Бронфенбреннером (Bronfenbrenner, Ceci, 1994; Bronfenbrenner, Morris, 2006). Модель определяет несколько уровней средовых воздействий, составляющих контекст когнитивного развития, однако до сих пор их роль и конкретные механизмы остаются малоизученными. Сопоставление структуры индивидуальных различий интеллекта в двух популяциях, проведенное в диссертационном исследовании, дополняет и расширяет представление о роли факторов макросреды в когнитивном развитии. А именно: было показано, что уровень макросреды выступает одним из важных факторов, опосредующих соотношение вклада общей и индивидуальной среды. Полученные в работе данные о динамике структуры индивидуальных различий интеллекта углубляют понимание природы когнитивного развития в подростковом возрасте.

Практическое значение работы связано с тем, что повседневная жизнь и профессиональная деятельность требуют все большего вовлечения высокоуровневых когнитивных функций (Gottfredson, 1997). В связи с этим исследование природы индивидуальных особенностей интеллекта приобретает особую важность для повышения эффективности обучения. Полученные нами данные свидетельствуют о том, что уровень макросреды выступает одним из важных факторов, определяющих чувствительность непосредственной среды подростка по отношению к его индивидуальным особенностям, и сказывается на разнообразии индивидуальных траекторий когнитивного развития. Результаты диссертационной работы могут быть использованы в психодиагностике когнитивных способностей, а также в разработке индивидуализированных образовательных программ, направленных на когнитивное развитие детей и подростков.

Кроме того, в процессе подготовки анализа данных были разработаны новые программные средства, позволяющие определять и оценивать широкий класс близнецовых моделей. Разработка была многократно использована в исследованиях лаборатории возрастной психогенетики Психологического института РАО.

Положения, выносимые на защиту:

1. Макросреда выступает опосредующим фактором в сложных процессах взаимодействия генетических и средовых факторов, формирующих индивидуальные различия интеллекта. Особенности макросреды определяют возможности адаптации непосредственной среды подростка к его индивидуальным особенностям, что сказывается на соотношении факторов общей и индивидуальной среды в близнецовом исследовании.
2. У российских подростков индивидуальные различия общих когнитивных способностей – общего и вербального интеллекта – формируются преимущественно факторами общей среды, невербального интеллекта – генетическими факторами. У британских подростков индивидуальные различия общего, вербального и невербального интеллекта связаны в большей степени с генетическими факторами и факторами индивидуальной среды.
3. Индивидуальные различия вербального, невербального и общего интеллекта и их генетическая и средовая архитектура остаются стабильными на протяжении подросткового возраста. Стабильность индивидуальных различий наблюдается вне зависимости от условий макросреды и связана с генетическими факторами, сохраняющими свой эффект на разных этапах когнитивного развития подростка. По сравнению с вербальным, невербальным и общим интеллектом, индивидуальные различия частных когнитивных способностей обладают более высокой возрастной изменчивостью, которая обеспечивается специфическим для отдельных этапов развития средовым контекстом (факторами индивидуальной среды).

Экспериментальные базы исследования: Российский школьный близнецовый регистр (Россия), Близнецовый регистр проекта «Twins Early Development Study» (Великобритания).

Апробация и внедрение результатов диссертации. Теоретические и экспериментальные результаты диссертационного исследования обсуждались на заседаниях лаборатории возрастной психогенетики ПИ РАО, на заседаниях совета молодых ученых ПИ РАО. Основные положения работы были представлены на российских и международных конференциях: на конференциях Международного общества по исследованию интеллекта (Сан Антонио, США, 13–15 декабря, 2012; Грац, Австрия, 12–14 декабря, 2014; Санкт-Петербург, 2016), на 13-м Европейском психологическом конгрессе (Стокгольм, Швеция, 9–12 июля, 2013),

на 15-м Международном конгрессе общества по исследованию близнецов (Будапешт, Венгрия, 16–19 ноября, 2014), на Международной конференции «Наука будущего» (Санкт-Петербург, 2015), на Юбилейной конференции с международным участием «От истоков к современности», посвященной 130-летию организации Психологического общества при Московском университете (Москва, 29 сентября – 1 октября, 2015), на Научной конференции молодых ученых в области наук об образовании (Москва, 15 ноября, 2017).

Материалы исследования используются в Институте педагогики, психологии и социальных технологий Удмуртского государственного университета в реализации программы подготовки бакалавров психолого-педагогического направления и магистров по направлению «Психология образования» в рамках курсов: «Психология развития и возрастная психология», «Психодиагностика образования», «Биологические основы психического развития».

Публикации. Основные результаты по теме диссертации изложены в 7 печатных изданиях, из которых 3 изданы в журналах, рекомендованных ВАК, 4 – в журналах, индексируемых системами Web of Science или Scopus.

Объем и структура работы. Диссертация состоит из введения, трех глав, выводов, заключения, списка литературы и четырех приложений. Полный объем диссертации составляет 138 страниц, включая 6 рисунков и 13 таблиц. Список литературы содержит 279 наименований.

Глава 1. Кросс-культурные и лонгитюдные исследования природы индивидуальных различий интеллекта

1.1 Концепции интеллекта, оценка интеллекта

Немногие проблемы в психогенетике привлекали такое пристальное внимание, как этиология индивидуальных различий общей когнитивной способности (g-фактор), часто называемой интеллектом и измеряемой тестами IQ. Это не случайно, поскольку изучение когнитивных способностей человека имеет большое значение для современного общества. Интеллектуальные достижения определяют прогресс во всех областях науки и технологии и, соответственно, лежат в основе экономического роста, технологического прогресса и инновационного развития любой страны. Когнитивные способности также очень важны в жизни каждого человека, поскольку они во много определяют успешность в получении образования и соответственно успешность в современном все усложняющемся технологическом обществе. Действительно, в целом ряде исследований показано, что интеллект выступает важным предиктором академической успешности, карьерного роста, уровня доходов человека (Додонова, Тихомирова, 2010; Deary et al., 2007; Gottfredson, 1997; Schmidt, Hunter, 2004; Strenze, 2007; Tikhomirova et al., 2015).

Впервые различиями в интеллектуальных способностях заинтересовался Френсис Гальтон, заметив, что успешность в математике у студентов Кембриджа варьирует в широком диапазоне (Galton, 1869). В то же время он заметил, что математическая успеваемость подчиняется нормальному распределению: наибольшее количество студентов получает средний бал, гораздо меньше – выдающийся или недостаточный результат. Гальтон связывал эти различия с сенсорной различительной способностью. Идею Гальтона подхватил Джеймс МакКин Кеттелл (J. M. Cattell, Galton, 1890), использовавший батарею из десяти психофизических тестов. Однако психофизические характеристики оказались слабо связаны как между собой, так и с академической успеваемостью студентов (Wissler, 1901).

Первая успешная попытка измерения интеллекта принадлежит Альфреду Бине. В конце XIX века, когда во Франции было введено всеобщее образование, Министерство образования Франции столкнулось с необходимостью отбирать

детей, которые не могли успешно учиться по стандартным образовательным программам из-за низких способностей. Бине получил заказ на разработку средства оценки способностей и обнаружил, что задания, связанные с повседневной жизнью, гораздо лучше предсказывали успешность обучения в школе, чем сенсорные тесты Кеттелла. Такие задания задействовали внимание, память, воображение, абстрактное мышление и другие высокоуровневые когнитивные функции. Позднее А. Бине и Т. Симон адаптировали к своей батарее тестов предложенное В. Штерном понятие коэффициента интеллекта (IQ, Binet, Simon, 1916; Stern, 1930).

Идея об общем факторе индивидуальных различий познавательных способностей принадлежит Чарльзу Спирмену (Spearman, 1904). Спирмен обнаружил у школьников высокие корреляции между успеваемостью по разным предметам и выдвинул гипотезу о двух факторах индивидуальных различий успеваемости: фактор общего интеллекта (g) объясняет общую изменчивость оценок по разным предметам, в то время как специфические факторы объясняют специфическую для каждого предмета вариацию оценок. Также Спирмен продемонстрировал, что хотя каждый отдельный суб-тест из батареи тестов (такой как батарея Бине) призван оценивать специфическую способность, батарея тестов в целом измеряет фактор общего интеллекта. Это объясняется тем, что специфичные не связанные между собой факторы при усреднении баллов нивелируют друг друга.

В США тест Бине был адаптирован Л. Терменом в форме теста Стенфорд-Бине (Terman, 1916). Другие тесты, разработанные для оценки способностей в школе и при воинском призыве, выступили предшественниками широко распространенных Scholastic Aptitude Test и шкалы интеллекта Векслера (Wechsler Adult Intelligence Scale, Wechsler Intelligence Scale for Children, Wechsler, 1949; 1955). Шкала Векслера оценивала коэффициент интеллекта, т.е. развитие умственных способностей, соотнесенное с возрастными нормами. Сильной стороной этих тестов была способность диагностировать не только серьезную, но и легкую умственную отсталость. Оценка, получаемая в результате тестирования, стала рассматриваться не просто как текущий уровень умственного развития, но как показатель умственной способности человека, описывающий уровень его потенциальных достижений в обучении и работе.

Разработка и развитие метода факторного анализа открыли новые возможности для исследования структуры индивидуальных различий в когнитивных способностях. С помощью факторного анализа были выделены группы коррелирующих между собой заданий. Так были описаны вербальные и невербальные

способности. Например, модель когнитивных способностей Л. Терстоуна включала семь факторов: вербальное понимание, вербальную беглость, оперирование числами, пространственную визуализацию, индуктивное мышление, память, скорость восприятия (Thurstone, 1936). Р. Кеттелл предложил выделять факторы кристаллизованного и флюидного интеллекта (J. L. Horn, R. V. Cattell, 1966). Кристаллизованный интеллект призван отражать накопленное в течение жизни культурно-специфическое знание, в то время как флюидный интеллект связывался с биологическими основами когнитивных способностей. Прогрессивные матрицы Дж. Равена – один из известных тестов, разработанных для измерения флюидного интеллекта (Raven, Court, 1998).

Дальнейшие исследования с применением факторного анализа привели к разработке иерархической модели способностей (модель Кэрролла-Хорн-Кеттелла: Carroll, 1993; Keith, M. R. Reynolds, 2010; McGrew, 2009). На вершине иерархии находится фактор общего интеллекта, объясняющий общую вариацию промежуточных факторов, среди которых флюидный и кристаллизованный интеллект, скорость мыслительных процессов и другие. Набор промежуточных факторов варьирует у разных авторов. Так, МакГрю определяет 16 факторов второго уровня (McGrew, 2009). На третьем уровне располагаются более 80-ти частных когнитивных способностей. К примеру, к фактору флюидного интеллекта относятся такие способности как дедуктивное и индуктивное мышление, количественное мышление, скорость мышления.

Феномен интеллекта – чрезвычайно устойчивый психологический конструкт, который наблюдается в подавляющем большинстве исследований, использующих факторный анализ разнообразных когнитивных тестов. Однако природа этого конструкта до сих пор остается дискуссионной. Корреляция между тестами может объясняться как одним общим процессом, так и несколькими процессами, связанными между собой. Более того, поскольку психометрический интеллект является результатом факторного анализа, нет гарантии, что различные тесты измеряют одну и ту же характеристику. В исследованиях Джонсон и др. (W. Johnson et al., 2004; 2008) корреляции между показателями общего интеллекта, полученными с помощью разных тестовых батарей, оказались близки к единице. Это означает, что с большой вероятностью разные батареи тестов измеряют одну и ту же характеристику.

Более поздние модели использовали содержательное описание структуры интеллекта. Так, Р. Стернберг предложил триархическую теорию интеллекта,

включающую в себя компонентную, опытную и контекстуальную части (Sternberg, 1985). Компонентная часть теории описывает компоненты мышления, среди которых планирование, контроль, мониторинг процессов переработки информации при решении задач, функции кодирования, комбинирования и сравнения информации. Опытная часть описывает индивидуальные различия интеллектуальной сферы, связанные с индивидуальным опытом. Контекстуальная часть рассматривает когнитивные способности как средство приспособления к конкретным средовым контекстам путем приспособления, отбора или формирования условий среды.

Г. Гарднер в теории множественного интеллекта отвергает концепцию общего интеллекта, утверждая, что интеллект всегда существует в контексте конкретного содержания задач (Gardner, 2011). В связи с этим Гарднер выделяет типы интеллекта: логико-математический, пространственный, лингвистический и другие. С точки зрения теории множественного интеллекта, типы интеллекта соответствуют содержанию основных культурных сфер. В качестве другого фактора, определяющего развитие интеллекта, выступает социальное окружение, которое предоставляет оценку компетентности человека.

В отечественной психологии принято рассматривать интеллект как аспект мышления. В учении Л. С. Выготского интеллект – это результат интеграции познавательных процессов, организованных на основе категориального аппарата понятийного мышления (Выготский, 2014). Исследования в рамках деятельностного подхода А. Н. Леонтьева обращались в основном к личностным факторам мыслительного процесса: к операциональным смыслам, эмоциям, мотивам (Тихомиров, 1969), а также к социальному контексту мышления (Абульханова-Славская, 1991). Школа С. Л. Рубинштейна, рассматривая процессуальный аспект мышления, понимала интеллект как качество процессов анализа, синтеза и обобщения, составляющих основу мыслительного процесса (Брушлинский, 2003; Рубинштейн, 2000). В оригинальной концепции интеллекта М. А. Холодной под интеллектом понимается форма организации ментального опыта (Холодная, 2002).

Б. М. Теплов подчеркивал важность рассмотрения способностей с точки зрения индивидуальных различий (Лейтес, 1971; Теплов, 1941; 1961). Признавая важность природных задатков индивида, Теплов отводил решающую роль деятельности, в которой способности формируются. Школа Б. М. Теплова известна исследованиями психофизиологических источников индивидуальных различий (Небылицын, 1966; Теплов, 1957).

Общепринятое понятие психометрического интеллекта связано с индивидуальными различиями в решении когнитивных задач, поэтому любая оценка предполагает соотнесение балла, полученного конкретным человеком, с распределением баллов в популяции. Точкой отсчета в этом случае выступает средний балл интеллекта в популяции, а единицей измерения — стандартное отклонение распределения баллов. Стандартное отклонение характеризует разброс распределения: 68% всех наблюдений попадают в интервал ± 1 стандартное отклонение от среднего, 95% наблюдений попадают в интервал ± 2 стандартных отклонения, 99% наблюдений лежат в интервале ± 3 стандартных отклонения. Таким образом, выдающиеся интеллектуальные способности или умственная отсталость определяются как значительное отклонение от среднего балла, соответственно, в большую или меньшую сторону.

Понятие «коэффициент интеллекта» (IQ) в первоначальном определении, предложенном У. Штерном, означало отношение когнитивного возраста к календарному и отражало соответствие уровня когнитивного развития актуальному возрасту (Stern, 1930). В дальнейшем понимание IQ изменилось: оно стало обозначать соответствие уровня интеллектуального развития возрастной норме в терминах стандартного отклонения. Традиционно шкалы IQ приводятся к распределению со средним 100 баллов и стандартным отклонением 15 баллов.

Тесты интеллекта различаются по способу проведения (индивидуальный или групповой), по популяции, для которой они предназначены, по типу содержания, по объему. Первые тесты интеллекта, получившие широкое распространение – тест Бине-Симона (в варианте теста Стенфорд-Бине) и тест Векслера – были предназначены для индивидуального тестирования, поскольку исследователь должен был предъявлять тестовые задания и фиксировать ответы и другое поведение испытуемого. А. Отис впервые применил тесты с вариантами ответа, пригодные для группового применения (Otis, 1922). Именно эта технология дала начало ряду тестов для массовой оценки способностей в учебных заведениях и при отборе в армейские и гражданские организации.

В зависимости от содержания заданий выделяют вербальные и невербальные тесты. Невербальные тесты, как правило, опираются на зрительный материал и оценивают визуально-пространственные способности, они содержат материал, не связанный с языком и спецификой культуры. Вербальные тесты специфичны относительно языка, поскольку используют вербальный материал и оценивают способности, связанные с языком: словарный запас, вербальное мышление и дру-

гие. Крупные батареи тестов интеллекта содержат как вербальные, так и невербальные суб-тесты, встречаются и методики, оценивающие только один тип способностей (например, «Прогрессивные матрицы Равена»).

К настоящему времени в психодиагностике разработано множество тестов интеллекта (Murphy, Buros Institute of Mental Measurements, 2011). К наиболее распространенным и надежным тестам интеллекта относятся тест Стэнфорд-Бине (Stanford-Binet, SB5, Murphy, Buros Institute of Mental Measurements, 2011), шкала Векслера (Шкала интеллекта Векслера для взрослых – WAIS-IV, Wechsler, 2008, детская шкала интеллекта Векслера – WISC-IV, Wechsler, 2003, шкала интеллекта Векслера для дошкольников – WPPSI-III, Wechsler, 2002), шкала Кауфмана (шкала Кауфмана для подростков и детей – KAIT, A. S. Kaufman, N. L. Kaufman, 2013b, батарея детской оценки Кауфмана – КАВС-II, A. S. Kaufman, N. L. Kaufman, 2013a), шкала Рейнолдса (шкалы интеллектуальной оценки Рейнолдса – Reynolds Intellectual Assessment Scales, C. R. Reynolds, Kamphaus, 2003), тест Вудкока-Джонсон (тест когнитивных способностей Вудкока-Джонсон, Woodcock-Johnson-IV, WJVI, Woodcock et al., 2001).

Шкала Векслера – одно из первых и самых популярных средств оценки когнитивных способностей. Батарея содержит вербальные («Осведомленность», «Понятливость», «Арифметика», «Сходство», «Запоминание цифр», «Словарный запас») и невербальные суб-тесты («Шифровка», «Недостающие детали», «Кубики Коса», «Последовательные картинки», «Складывание фигур»). Балл общего интеллекта вычисляется на основе всех суб-тестов в целом по нормативным таблицам. Разнообразие суб-тестов позволяет широко охватить когнитивную сферу: общий уровень знаний («Осведомленность»), понимание обобщенных закономерностей («Понятливость»), способность оперировать числами и произвольное внимание («Арифметика»), способность к абстрагированию и классификации («Сходство»), рабочую память («Запоминание цифр»), словарный запас («Словарный запас»), распределение и переключение внимания, зрительно-моторную координацию («Шифровка»), зрительное узнавание, выделение существенного («Недостающие детали»), пространственное воображение («Кубики Коса», «Складывание фигур»), понимание ситуации и смыслового сюжета («Последовательные картинки»). Суб-тесты по отдельности и батарея, в целом, хорошо дифференцируют способности на всем диапазоне распределения, что позволяет избежать эффектов пола и потолка.

Шкала Векслера имеет три формы: шкала интеллекта Векслера для взрослых (WAIS-IV), детская шкала интеллекта Векслера (WISC-IV), шкала интеллекта Векслера для дошкольников (WPPSI-III). Формы теста содержат схожие наборы заданий, различающиеся по сложности. Коэффициенты вербального, невербального и общего интеллекта вычисляются на основе групповых возрастных норм. Распределения коэффициентов обладают средним 100 баллов и стандартным отклонением 15 баллов. Последнее издание тестовой батареи оценивает когнитивные функции в соответствии со следующей структурой: вербальное понимание (Verbal Comprehension), перцептивное мышление (Perceptual Reasoning), рабочая память (Working Memory), время ответа (Processing Speed) (Wechsler, 2008). Разнообразие заданий в батарее Векслера позволяет производить не только количественную, но и качественную оценку когнитивных функций. В частности, разница между показателями вербального и невербального интеллекта в пользу вербального может быть следствием правополушарного или билатерального повреждения коры головного мозга (Duncan et al., 1995). В клинической практике был распространен анализ профилей (паттернов ответов на отдельные задания), однако позднее такой подход был подвергнут критике как не достаточно надежный (Mayes, Calhoun, 2004; McDermott et al., 1990; M. W. Watkins, 2000).

Тесты измеряют интеллект более или менее успешно в зависимости от того, принадлежит ли испытуемый к популяции, для которой предназначен тест. Важными характеристиками популяции являются возраст и культурная принадлежность. Тест, предназначенный для взрослых, не позволит оценить уровень интеллектуального развития у детей, поскольку задания будут слишком сложны. Тест, разработанный в одной культуре должен пройти процедуру адаптации для использования в другой культуре. Адаптация предполагает не только перевод заданий на соответствующий язык, но также замену культурно-специфичных заданий таким образом, чтобы они были понятны представителям соответствующей культуры. Кроме того из поколения в поколение средний уровень интеллекта увеличивается (эффект Флинна, Flynn, 1984; 1987; 1999; Trahan et al., 2014; Wicherts et al., 2004), что делает необходимой регулярную переоценку тестовых норм.

1.2 Нейрофизиологические и когнитивные механизмы интеллекта

Для понимания нейрофизиологических механизмов интеллекта первоначально в психологии использовались исследования на пациентах с поражениями мозга (Eslinger, Damasio, 1985; Posner et al., 1984; Stuss et al., 1983; Stuss, Frank, 1984). Результаты этих исследований свидетельствуют о важной роли структур головного мозга в когнитивном функционировании. Нарушение высокоуровневых когнитивных процессов может быть следствием недостаточности базовых когнитивных процессов (памяти, внимания, произвольного контроля, мотивации) при повреждении соответствующих зон мозга. Существенный прогресс, наблюдаемый в последнее десятилетие в разработке методов анализа нейрофизиологических данных и новых методов нейровизуализации (структурная и функциональная МРТ, позитронно-эмиссионная томография, диффузно-тензорная томография и др.), привел к повышению интереса к исследованиям мозговых механизмов когнитивных функций. Так, целый ряд исследований выявил статистически значимые (хотя и слабые) корреляции между общей интеллектуальной способностью и структурными особенностями головного мозга: как общим объемом мозга, объемом серого и белого вещества, объемом серого и белого вещества во фронтальной и теменной долях, участвующих в речи (Haier et al., 2004; McDaniel, 2005).

Анализ особенностей функционирования мозга при решении когнитивных задач – это одно из перспективных направлений изучения нейрофизиологических механизмов когнитивных функций. Так, исследования нейронной активности с помощью позитронно-эмиссионной томографии (ПЭТ) и функционального магнитного резонанса (фМРТ) позволили определить области мозга, участвующие в умственной деятельности. Например, Дункан и др. обнаружили, что выполнение задач, вовлекающих различные умственные способности, связано с усилением нейронной активности в нескольких областях мозга, но только латеральная префронтальная кора была активирована при выполнении всех задач (Duncan, Owen, 2000; Duncan et al., 2000). Однако эти данные о центральной локализации общей интеллектуальной способности, противоречат результатам некоторых фМРТ исследований, показывающих обширную активацию мозга при решении когнитивных задач (Esposito et al., 1999; Gray et al., 2003; Prabhakaran et al., 1997). Между тем, функциональные единицы интеллектуальных способно-

стей могут включать в себя как совокупности областей мозга, так и отдельные области (Gray, Thompson, 2004), а противоречивые результаты могут быть следствием различий в технологиях нейровизуализации. В исследовании Кабардова и Матовой демонстрируется связь между межполушарной асимметрией и вербальными и невербальными способностями (Кабардов, Матова, 1988). Индивидуальные различия интеллекта связаны с типом нервной системы: вербальные способности связаны с лабильностью, невербальные способности связаны с активностью нервной системы (Голубева, 2005).

Исследования с помощью позитронно-эмиссионной томографии (ПЭТ) показали, что общая интеллектуальная способность отрицательно связана с метаболизмом глюкозы в процессе умственной деятельности (Haier et al., 1992), что говорит о связи общей интеллектуальной способности с уровнем нейронного функционирования. Кроме того, общая интеллектуальная способность опосредуется нейронными механизмами, которые поддерживают исполнительный контроль внимания (Gray et al., 2003). Связь между общей интеллектуальной способностью и выполнением сложных задач на внимание может объясняться тем, что активность в латеральных префронтальных и теменных областях связана с контролем внимания. Напротив, активность в латеральной префронтальной области не коррелирует с общей интеллектуальной способностью при просмотре видеозаписей, то есть при решении задач, не предъявляющих высоких требований к общей интеллектуальной способности (Gray et al., 2003). Важность этих выводов заключается в том, что любая область мозга, участвующая в когнитивной деятельности, должна проявлять активность при участии в решении интеллектуальных задач и не должна ее проявлять вне процесса их решения.

В целом ряде работ в качестве механизмов, лежащих в основе интеллекта, рассматриваются простые когнитивные функции, в частности, время обработки информации, связанное со скоростью записи и извлечения информации в кратковременной памяти. Мета-анализ исследований связи между различными характеристиками скорости обработки информации и интеллектом демонстрируют умеренную корреляцию: $-0,24$ (Sheppard, P. A. Vernon, 2008). Скорость обработки информации и когнитивные способности демонстрируют сходные паттерны развития в детстве и подростковом возрасте и регресса в старости. Важным аспектом когнитивных способностей выступают характеристики рабочей памяти. Рабочая память – это временное хранилище информации, используемой в процессе решения задач. Эффективность рабочей памяти характеризуется объемом и скоростью из-

влечения информации. В исследованиях были обнаружены высокие корреляции между объемом рабочей памяти и невербальными способностями (0,41–1,00, в зависимости от типа задачи, используемой для оценки объема рабочей памяти). Тесная связь между невербальным интеллектом и рабочей памятью послужила основанием для предположения о том, что рабочая память – это основной механизм, объясняющий феномен интеллекта.

Время распознавания – еще один важный элемент, который может лежать в основе интеллекта – это характеристика процесса переработки информации в центральной нервной системе (ЦНС), она определяется как минимальное время предъявления простого стимула, которое требуется испытуемому для его точного перцептивного распознавания. Считается, что время зрительного распознавания отражает скорость понимания или перцептивную скорость. Кранцлер и др. (Kranzler, Jensen, 1989) провели мета-анализ практически всех исследований до 1989 года, анализирующих связи между временем распознавания и интеллектом, и показали, что корреляция между временем распознавания и интеллектом составляет около $-0,50$. Чем меньше времени нужно человеку для точного распознавания простого стимула, тем выше его IQ. Согласно Дири и Стафу (Deary, Stough, 1996), время распознавания объясняет около 20% вариативности интеллекта. Интеллект связывается с дискриминативной способностью мозга, что позволяет объяснить корреляцию между показателями интеллекта и временем ответа в задачах распознавания (Чуприкова, 1995).

В ряде исследований оценивалась связь между индивидуальными различиями интеллекта и скоростью когнитивных процессов, корреляция между интеллектом и временем реакции или временем реакции выбора составила в среднем 0,30 (Grudnik, Kranzler, 2001). Высокий уровень когнитивных способностей связан с меньшей латентностью и большей амплитудой вызванных потенциалов, что свидетельствует о более высокой скорости обработки информации и более эффективной когнитивной дифференциации.

Высокие корреляции были найдены в исследованиях вербального интеллекта и вербальной рабочей памяти в задачах с запоминанием последовательности (reading span, 0,50–0,60: Ackerman et al., 2005), однако до сих пор не найдено когнитивных или нейробиологических характеристик, которые объясняли бы более 50% индивидуальных различий интеллекта.

1.3 Групповые различия интеллекта

Любые исследования групповых различий всегда привлекали внимание широкой общественности, поскольку рано или поздно попадали в контекст дискриминации по тому или иному признаку. Одной из таких тем является вопрос о половых различиях интеллекта, возникающий в связи с тем, что мужчины и женщины в среднем демонстрируют разный уровень достижений. Исследования половых различий интеллекта призваны ответить на вопрос, является ли это результатом дискриминации по половому признаку или вызвано естественными различиями между мужчинами и женщинами. Основным препятствием к исследованиям такого рода является то, что тесты конструируются таким способом, чтобы устранить систематическую ошибку, связанную с полом. Большинство исследований половых различий интеллекта действительно показывают отсутствие либо малый размер половых различий. Во втором случае различия могут быть следствием нарушения репрезентативности нормативных выборок по отношению к женской и мужской частям популяции (Dykiert et al., 2009).

Тем не менее, установленным фактом считается то, что женщины в среднем получают более высокие оценки вербальных способностей (Hedges, Nowell, 1995; Jensen, 1998; Kimura, 1993), а мужчины – визуально-пространственных и математических способностей (Hedges, Nowell, 1995; Hyde, 2005). Различия в вербальных способностях возникают довольно рано в онтогенезе: уже в возрасте двух лет девочки, как правило, обладают большим словарным запасом, чем мальчики (Lutchmaya et al., 2001). В средней школе девочки превосходят мальчиков в написании текстов и использовании языка (Hedges, Nowell, 1995). Разница сохраняется и у взрослых (Maitland et al., 2000). Половые различия в пространственных способностях также возникают очень рано: в возрасте 3–5 месяцев (Moore, S. P. Johnson, 2008; Quinn, Liben, 2008). Эти различия также сохраняются в течение жизни, особенно в задачах, связанных с трехмерными объектами (Geiser et al., 2008).

Природа различий когнитивных способностей, связанных с полом, остается неясной. О значительном компоненте социо-культурных факторов в половых различиях пространственных способностей свидетельствует то, что тренировка зрительно-пространственных навыков снижает разницу между мужчинами и женщинами (Terlecki et al., 2008). В то же время, разница не устраняется

полностью. В пользу физиологической обусловленности половых различий также свидетельствует то, что исследования с использованием нейровизуализации обнаруживают различные паттерны активации зон мозга у мужчин и женщин при решении одних и тех же когнитивных задач (Giedd et al., 1997). В пользу социальной обусловленности половых различий когнитивных способностей говорят исследования связей между гендерными стереотипами и академической успеваемостью и успешностью выполнения когнитивных задач (Kiefer, Sekaquaptewa, 2007; Nguyen, Ryan, 2008). В настоящее время распространена психобиосоциальная модель, утверждающая, что половые различия интеллекта и успеваемости формируются при взаимодействии биологических и социальных факторов (Halpern, 2004; 2013; Halpern, Tan, 2001).

Вопрос о межкультурных различиях интеллекта является одним из самых острых и широко обсуждаемых не только в психологии, но и в обществе в целом (Воронин, 2015). В целом ряде исследований было показано наличие межкультурных различий в среднем уровне измеряемого интеллекта. Так, мета-анализ более ста работ, опубликованных в 60–90-х годах XX века и оценивающих различия интеллекта (с общей выборкой более шести миллионов человек) в разных культурах, показал, что в среднем коэффициент интеллекта у представителей европейской культуры выше, чем у представителей из Африки и Латинской Америки (1,1 и 0,7 стандартного отклонения, Roth et al., 2001). В то же время, у представителей азиатских культур наблюдается более высокий уровень достижений (Neisser et al., 1996). В ряде исследований отмечается постепенное уменьшение разницы IQ белых и чернокожих (Nisbett, 2005).

Для объяснения этих связей культуры и интеллекта предложено четыре модели (Sternberg, 2004). Согласно первой модели, природа интеллекта не меняется в зависимости от культуры и одни и те же тесты могут применяться в разных культурах (Eysenck, 1985; Jensen, 1998). Артур Дженсен полагает, что общий интеллект или «g» неизменен во времени и пространстве. Согласно второй модели, существуют различия интеллекта в разных культурах, но это не влияет на методики его измерения. Так, одни и те же тесты (при должном переводе) могут быть использованы в разных культурах, однако они будут давать разные результаты. Эта позиция близка Ричарду Нисбетту (Nisbett, Masuda, 2003), использовавшему одни и те же тесты в разных культурных группах, выявляя разные стили мышления и решения когнитивных задач. В третьей модели структура интеллекта остается той же самой, но инструментарий, используемый для его измерения, меняется.

Инструмент и процедура измерения должны быть адаптированы к культурному контексту, понятны в конкретной культурной среде, иначе результаты трудно будет интерпретировать. Этой концепции придерживается сам Роберт Стернберг со своей теорией успешного интеллекта, компоненты и ментальные репрезентации которого, по его мнению, универсальны, однако наполнение, ментальное содержание, конкретные знания отличаются в разных культурах (Sternberg, 1999). Тесты интеллекта должны быть построены с учетом этих различий. Согласно четвертой модели, различаются и измерения интеллекта, и тесты. Приверженцем такой радикальной культуралистской позиции является, например, Джон Берри (Berry, 1969), полагавший, что интеллект можно понимать и измерять только на основе существующих в том или ином культурном контексте конструкторов.

Фонс Ван де Вийвер (Van de Vijver, 1998) также выделяет несколько подходов к пониманию кросс-культурных различий в тестах на когнитивные способности. Первый подход предполагает наличие универсальной когнитивной системы (Segall et al., 1990), тогда как культура только оформляет ее, определяя ее проявления. Критика данного подхода ставит под сомнение универсальность тех или иных познавательных процессов. Так, Тульвисте (Tulviste, Hall, 1991), опираясь на работы А. Р. Лурия и Л. С. Выготского, утверждает, что абстрактное, логическое мышление не является универсальным и во много зависит от грамотности и уровня образования. Многие исследования предполагают, что формальное мышление, уровень формальных операций не является универсальным, а когнитивное развитие не происходит по одному единственному пути, телеологически стремящейся к универсальной цели (Buck-Morss, 1975; Chapman, 1988). Онтогенетически развитие постепенно отклоняется от универсального исходного состояния, существующего при рождении, в соответствии с тем или иным культурным контекстом.

Другая модель – модель когнитивной сложности – была предложена Спирменом в 1923 году (Spearman, 1924). Он предположил, что задания с высоким уровнем когнитивной сложности в большей степени проявляют кросс-культурные различия. Когнитивная сложность (cognitive complexity) не тождественна сложности задания (task difficulty), которое обычно рассчитывается как процент правильно решенных задач. Критерием когнитивной сложности является не процент решенных задач, а требования, предъявляемые к абстрактному мышлению.

В 70-е Дженсен (Jensen, 1977) предложил модель кумулятивного дефицита (cumulative deficit model). Разница в выполнении теста детьми из семей с низким и высоким социо-экономическим статусом, согласно этой гипотезе, возрастает с возрастом. Аналогично и в отношении кросс-культурных различий. Сами по себе сравнительные кросс-культурные исследования интеллекта сложны по целому ряду причин, внешних и внутренних. Внешние причины связаны с социальными факторами, тогда как внутренние причины определяются различиями экспериментальных дизайнов исследований.

В последние годы исследователи в Африке, Азии и других странах показывают, что вне Европейской культуры представление об интеллекте может существенным образом отличаться от того, как его понимают в западной цивилизации и как оно операционализировано в тестах интеллекта. Нисбетт полагает, что Восточноазиатские и Западные культуры в ходе своего развития выработали фундаментальным образом отличающиеся когнитивные стили и формы функционирования когнитивных способностей, в том числе и того, как понимается интеллект. Если в Западной культуре интеллект отождествляется со средством разграничения категорий и вовлечения в рациональные дискуссии, то в Восточных культурах интеллект больше рассматривается не как индивидуализированная способность, а как средство разрешения сложностей и противоречий социальной жизни, а также успешного осуществления социальных ролей. Стернберг и Янг обнаружили, что представления об интеллекте в тайваньской и китайской культурах подчеркивают понимание и отношения с другими, в том числе понимание, когда стоит, а когда и не стоит проявлять себя, свой интеллект, ум, понятливость (Yang, Sternberg, 1997). Нисбетт полагает, что эти различия в понимании интеллекта связаны с различиями и в базисных когнитивных процессах в Восточной и Западной культурах, разных когнитивных стилях представителей этих культур. Однако это не значит, что, родившись азиатом, человек автоматически начинает мыслить как азиат. Культура – это не просто раса, национальность или иная социальная категория, культура – это опыт (Benson, 2003).

Кросс-культурные исследования высвечивают ряд тем в изучении интеллекта и методик его измерения. Среди вопросов, касающихся понимания интеллекта и методов его измерения – связь между интеллектом и научением, образованием, вопрос о структуре интеллекта на разных фазах развития, соотношения среды и наследственности во влиянии на разные стороны интеллектуальных спо-

способностей, константность и изменчивость интеллекта в разные годы жизни человека (Bleichrodt et al., 1999).

Один из центральных вопросов, возникающих в связи с кросс-культурными исследованиями, касается того, насколько универсальна структура интеллекта. В психометрической литературе делается предположение о наличии одних и тех же измерений интеллектуального функционирования в разных культурах, однако эти способности могут быть развиты неравномерно (Demetriou et al., 2005). Например, считается, что у китайцев скорость мышления выше, чем у белокожих, и что в среднем их значения IQ выше на 5 баллов (а пространственный IQ – на 15, Jensen, 1998). Впрочем, интерпретация этих данных может быть различной: одни говорят о биологической детерминации (Jensen, 1998; Lynn, Vanhanen, 2002; Rushton et al., 2002), тогда как другие подчеркивают различия в культурной среде (Helms-Lorenz et al., 2003; Segall et al., 1990; Van de Vijver, 1998).

Кросс-культурные сравнения особенно интересны для понимания адаптивных и функциональных аспектов интеллекта. Особенно в случае различий между культурами по тому опыту, который формируется у ее членов в отношении процессов и функций, составляющих архитектуру интеллекта. В этом случае кросс-культурные сравнения могут рассматриваться как крупномасштабный естественный эксперимент. Так, сравнение китайцев с европейцами может быть интересно, потому что иероглифическое письмо значительно сложнее западных форм письменности. Этот опыт может оказывать влияние на ментальные функции от базисных механизмов переработки информации до стратегий памяти и мышления, что в итоге может приводить к более высокой оценке общих и пространственных способностей, о чем говорилось выше.

До недавнего времени кросс-культурные сравнения интеллектуальных способностей во многом касались сравнения между США и другими странами (чаще проводились с азиатскими странами, такими как Япония, Китай, Корея, чем с европейскими) (A. S. Kaufman et al., 1991; 1989; Lynn, Hampson, 1986). Согласно данным Ф. ван де Вийвера (Van de Vijver, 1998) среди стран, чаще всего участвующих в кросс-культурных исследованиях когнитивных процессов – США (29%), Великобритания (11%), Япония (8%), Канада (5%) и Китай (4%). Доминирование США по числу работ наблюдается также и в отношении кросс-культурных исследований внутри страны. Довольно много кросс-культурных исследований также в Австралии, Израиле, Южной Африке и Великобритании. Чаще всего исследуются расовые различия между черными и белыми, негроидами и европеоидами.

Результаты исследований показывают относительно небольшие различия между американцами и азиатами, которые имеют, однако, различные паттерны. Так, японские дети по данным исследований превосходят в симультанной и зрительно-пространственной переработке информации, тогда как американские дети лучше сверстников справляются с вербальными и последовательными заданиями (Ishikuma et al., 1988; A. S. Kaufman et al., 1996; Lynn, Hampson, 1986). Корейские и китайские дети более успешны в решении последовательных задач (sequential step-by-step) (A. S. Kaufman et al., 1996; 1989).

1.4 Генетические и средовые источники индивидуальных различий интеллекта

1.4.1 Структура индивидуальных различий когнитивных способностей

Вопрос о вкладе генетических и средовых факторов в индивидуальные различия интеллекта был поставлен еще Френсисом Гальтоном, утверждавшим, что интеллект – это высоко наследуемая характеристика. Гальтон также предложил метод близнецов как способ исследовать вклад генов и среды в индивидуальные различия человеческих характеристик. Близнецовые исследования и исследования приемных семей, проведенные позднее, действительно позволили получить оценки наследуемости интеллекта. Недавно опубликованный мета-анализ всех близнецовых исследований последних 50 лет дает общую оценку наследуемости когнитивных способностей 47% (Polderman et al., 2015). 18% индивидуальных различий когнитивных способностей объясняется факторами общей среды и 35% – факторами индивидуальной среды, включающей в себя ошибку измерения методики.

Многопеременные близнецовые исследования показали, что разные когнитивные способности связаны с одними и теми же генами. Общие генетические факторы объясняют значительную часть ковариации между когнитивными способностями. Так, в раннем детстве фенотипическая корреляция 0,42 между вербальными и невербальными способностями в равной степени объясняется генетическими факторами и факторами общей среды (Price et al., 2004). Генетическая

корреляция равна 0,30, что свидетельствует о значительной доле специфических генетических факторов. В процессе когнитивного развития фенотипическая и генетическая корреляции увеличиваются, равно как и относительный вклад генетических факторов в фенотипическую корреляцию между вербальными и невербальными способностями. Обратную тенденцию демонстрируют общие факторы общей среды.

Высокую долю общих генетических факторов, обуславливающих ковариацию между отдельными когнитивными способностями, показывают и исследования на близнецах подросткового и взрослого возраста. В 11 лет генетические факторы объясняют около половины общей вариации факторов вербального понимания, перцептивной организации и свободы от дистракторов, оцененных на основе WISC-R (Casto et al., 1995; Tambs et al., 1986). В 18 лет общая вариация факторов объясняется уже исключительно генетическими факторами (Rijsdijk et al., 2002). Более того, Райсдаijk и др. на основе иерархической близнецовой модели обнаружили, что генетические факторы имеют иерархическую структуру, соответствующую структуре факторов Козна: вербальное понимание, свобода от дистракторов и перцептивная организация, связанные с фактором общего интеллекта.

Гены также обуславливают связь между интеллектом и другими фенотипами. Исследование (Luciano et al., 2001) показало, что базовые когнитивные процессы и характеристики (скорость обработки информации, рабочая память) разделяют значительную долю генетической вариации с общим интеллектом. Генетические корреляции между интеллектом и показателями скорости обработки информации составили от $-0,45$ до $-0,70$, между интеллектом и показателем эффективности рабочей памяти $0,34$. В то же время значительная часть генетической вариации интеллекта (43%) оказалась не связанной с рабочей памятью и скоростью обработки информации и, скорее всего, отражает высокоуровневые когнитивные функции.

Общая генетическая вариация была обнаружена между интеллектом, контролем подавления и расстройствами внимания (рассматриваемого как признак недостаточности управляющих функций, Polderman et al., 2009). В 9, 12 и 18 лет фенотипическая корреляция между интеллектом и контролем подавления составила $-0,16$, $-0,24$ и $-0,35$, соответственно. Генетическая корреляция между этими переменными составила $-0,15$, $-0,35$ и $-0,50$. Расстройства внимания пока-

зали связь с интеллектом только в 9 и 12 лет (фенотипические корреляции $-0,26$ и $-0,34$, генетические корреляции $-0,26$ и $-0,38$).

Исследование Лайт и др. (Light et al., 1998) рассматривает опосредующий эффект вербального интеллекта и фонологических способностей на связь между способностями к чтению и математическими способностями. Было обнаружено, что общая вариация переменных связана преимущественно с генетическими факторами. 82% корреляции между способностями к чтению и математическими способностями объясняется генами, которые также связаны с вербальным интеллектом и фонологическими способностями. В другом исследовании связи между вербальным интеллектом и способностями к чтению был получен аналогичный результат: 61–85% связи между вербальными субтестами WISC-R и баллом по Author Recognition Test (методика, оценивающая фонологические и орфографические компоненты чтения) объясняются общими генами (N. W. Martin et al., 2009).

1.4.2 Молекулярно-генетические исследования интеллекта

Открытие и развитие методов генотипирования и секвенирования ДНК сделало возможной непосредственную оценку связи между генетической вариацией и общими когнитивными способностями. Изначально этот вопрос исследовался с точки зрения когнитивной патологии. Отдельные синдромы, включающие умственную отсталость, оказались моногенными, или связанными с конкретными генетическими мутациями. Среди таких синдромов фенилкетонурия, синдром Дауна, синдром Ретта (Plomin et al., 2006). Тем не менее, эти редкие генетические мутации оказались слабо связаны с индивидуальными различиями интеллекта в норме. Хотя дальнейшие исследования локуса количественного гена указали на ряд связанных с интеллектом кодирующих участков ДНК (Dick et al., 2005; 2006; Gosso et al., 2008; Plomin et al., 2001; 1995; Posthuma et al., 2005), последующие исследования с применением метода генов-кандидатов не воспроизвели эти результаты.

Первая волна молекулярно-генетических исследований рассматривала наиболее распространенный тип генетической вариации: однонуклеотидные полиморфизмы (Single Nucleotide Polimorphism, SNP). Однонуклеотидные полимор-

физмы встречаются на всем протяжении как кодирующей, так и не кодирующей ДНК и составляют 5% всей последовательности (примерно 150 млн. нуклеотидов). Как правило, в исследованиях рассматривают распространенные однонуклеотидные замены (встречающиеся не менее чем в 1% популяции).

Исследования первой волны молекулярно-генетических исследований показали, что не существует отдельных генов, вносящих значительный вклад в вариацию интеллекта (Plomin et al., 2006). Когнитивные способности обладают полигенной природой: генетическая вариация интеллекта обусловлена суммой малых эффектов множества генетических вариантов (Benyamin et al., 2014; Butcher et al., 2008; Davies et al., 2011; Davis et al., 2010). Эффекты отдельных однонуклеотидных замен не превышают 1%. Это осложняет поиск конкретных генетических вариантов, связанных с интеллектом, поскольку слабые связи могут быть достоверно установлены только на больших выборках. Надежным свидетельством в пользу связи между конкретным генетическим вариантом и интеллектом могут служить исследования, воспроизводящие полученный ранее результат (Chabris et al., 2012), и исследования на больших выборках (Davies et al., 2015).

Другой аспект этой проблемы заключается в том, что малые эффекты отдельных генетических вариантов в сумме объясняют лишь незначительную часть генетической вариации интеллекта и других сложных признаков, гораздо меньше оценок, полученных в близнецовых и других генетически чувствительных исследованиях. Этот феномен был назван «потерянной наследуемостью» (missing heritability, Zuk et al., 2012). Объяснить значительную часть «потерянной наследуемости» позволили исследования с применением метода всегеномного анализа сложных черт (Genetic Complex Trait Analysis, GCTA). Если всегеномное исследование ассоциации рассматривает связь между фенотипом и отдельными генетическими вариантами, то всегеномный анализ сложных черт позволяет оценить суммарный вклад всех измеренных генетических вариантов в целом. Исследования с применением GCTA показали, что распространенные однонуклеотидные замены (примерно 1,7 млн. нуклеотидных оснований) объясняют более половины генетической вариации когнитивных способностей (Plomin et al., 2013; Trzaskowski et al., 2014).

К источникам генетической вариации относятся также иные распространенные типы вариации ДНК (в частности, вариацию числа копий, CNV), неаддитивный эффект генов (взаимодействие генов, эпистаз), эпигенетические эффекты.

Эффекты генотип-средовой корреляции и взаимодействия также ведут к увеличению генетической вариации в близнецовых и семейных исследованиях.

Эпигенетические и эпистатические источники индивидуальных различий интеллекта не изучены. Несколько исследований рассматривают связь между индивидуальными различиями интеллекта и вариацией числа копий. Вариация числа копий – это тип распространенной вариации ДНК, при которой варьирует количество копий хромосомных сегментов кодирующей или некодирующей ДНК. Как правило, такая вариация связана с уровнем экспрессии генов (большее количество копий связано с более высокой экспрессией генов). Однако исследования не обнаруживают устойчивых связей между вариацией числа копий и индивидуальными различиями интеллекта (Bagshaw et al., 2013; MacLeod et al., 2012). Только в одном исследовании (Yeo et al., 2011) была обнаружена статистически значимая отрицательная связь между интеллектом и общим количеством редких делеций.

1.4.3 Изменение наследуемости интеллекта с возрастом

Оценки вклада генов в индивидуальные различия интеллекта варьируют от исследования к исследованию. Возраст – одна из важных переменных, с которой связана вариабельность оценок наследуемости. Многие исследования показывают, что вклад генов в индивидуальные различия интеллекта с возрастом увеличивается от 40% в детстве до 80% во взрослом возрасте. Факторы общей среды играют значимую роль в детстве (вклад около 40%), однако у взрослых уже перестают вносить какой-либо вклад в индивидуальные различия интеллекта (Bouchard, 2009; 2013). Ниже рассматриваются близнецовые исследования интеллекта, проведенные на разных возрастных группах.

Раннее детство (до 5 лет)

В большинстве исследований генетических и средовых факторов индивидуальных различий интеллекта в раннем детстве для оценки когнитивных спо-

способностей используется Шкала детского развития Бейли (Bayley Scale for Infant Development). Методика содержит набор игровых заданий на моторное, языковое и когнитивное развитие и подходит для детей до трех лет.

Близнецовые исследования с использованием шкалы Бейли показывают, что в раннем детстве вклад генетических факторов в вариацию когнитивных способностей незначителен. Так, в исследовании Такер-Дроба и др. (Tucker-Drob et al., 2011) оценка наследуемости интеллекта, полученная на выборке из 750 пар десятимесячных близнецов из Early Childhood Birth Cohort, составила всего 2%. Аналогичный результат был получен в исследовании Петриллы и др. (Petrill et al., 1998): у близнецов из исследования MacArthur Longitudinal Twin Study в 14 месяцев не было обнаружено вклада генов, а факторы общей среды объясняли 33% вариации высоких когнитивных способностей. Однако другие исследования на этой же выборке демонстрируют иные результаты. В работах Брант и др. (Brant et al., 2009) и Черни и др. (Cherny et al., 1992) оценки наследуемости интеллекта составили 40% и 50%, соответственно. Аналогичная оценка получена и в исследовании приемных детей (39%, Petrill et al., 2004).

В возрасте двух лет оценки наследуемости интеллекта в разных исследованиях более согласованы и составляют 23–40% (Brant et al., 2009; Cherny et al., 1992; Petrill et al., 2004; 1998; Tucker-Drob et al., 2011). Значительный вклад в этом возрасте вносит общая среда (36–55%). Начиная с трех лет, для оценки когнитивных способностей используется батарея Стенфорд-Бине. Величина наследуемости общих когнитивных способностей в возрасте 3–4 лет составляет 30–68% (Brant et al., 2009; Cherny et al., 1992; Petrill et al., 2004; 1998). Оценки вклада факторов общей среды ниже оценок наследуемости, хотя также демонстрируют большой разброс: 7–43%.

Иным образом измерялись когнитивные способности у детей в Исследовании раннего развития близнецов (Twins Early Development Study). Когнитивные способности оценивались на основе ответов родителей о поведении ребенка с помощью методик MacArthur Communicative Development (вербальные способности) и Parent Report of Children's Abilities (невербальные способности). Наследуемость общих когнитивных способностей составила 30–35% (Eley et al., 1999; Hanscombe et al., 2012). Девиса и др. (Davis et al., 2009) на основе данных TEDS приводят общую оценку наследуемости в раннем детстве 23% и вклад общей среды 74%. Эти факторы вовлечены на протяжении всего раннего детства. Факторы

индивидуальной среды в основном специфичны для отдельных временных отрезков измерения.

Вклад генетических факторов в невербальные способности составил 23–40% (Eley et al., 1999; Price et al., 2004; 2000a), вербальные – 24% и 28% (Price et al., 2004; 2000a). Оценка наследуемости вербальных способностей 77% в работе Элей и др. (Eley et al., 1999) представляется артефактом, поскольку в качестве фенотипа в исследовании выступало отставание в когнитивном развитии. Так же аномальная оценка может быть связана со спецификой средства измерения: MacArthur Communicative Development использует ответы родителей для оценки вербальных способностей. К примеру, при оценке словарного запаса родители отмечают, какие слова из списка используют их дети. Это может приводить к преувеличению сходства близнецов. Во всех исследованиях на выборке TEDS методика показывает аномально низкий вклад факторов индивидуальной среды с учетом того, что к этим средовым факторам также относится ошибка измерения.

Наследуемость когнитивных способностей на границе раннего детства и раннего школьного возраста рассматривалась в исследовании Полдермана и др. (Polderman et al., 2006). Когнитивные способности оценивались с помощью Revisie Amsterdamse Kinder Intelligentietest (RAKIT), вклад генетических факторов составил 31%, вклад факторов общей среды составил 37%.

Ранний школьный возраст (6–10 лет)

В раннем школьном возрасте для оценки когнитивных способностей используется преимущественно детская версия шкалы Векслера (Wechsler Intelligence Scale for Children). Методика (до третьего издания включительно) позволяет оценивать общие, вербальные и невербальные когнитивные способности. Четвертое издание использует другую факторную структуру: вербальное понимание, перцептивное мышление, рабочую память и время обработки информации.

Батарей тестов Wechsler Intelligence Scale for Children – Revised использовалась при сборе данных Netherlands Twin Register у детей от 7 до 16 лет. Исследования на основе этих данных показывают наследуемость интеллекта 39% в возрасте 7 лет (Bartels et al., 2002; Silventoinen et al., 2006), вклад факторов общей

среды составляет 30%. В 9–10 лет вклад генетических факторов увеличивается: 54–79% (Bartels et al., 2002; Polderman et al., 2009; Silventoinen et al., 2006). Более низкая оценка наследуемости 34% была получена ван Соелен и др. (Van Soelen et al., 2011). Исследование использует выборку небольшого размера, поэтому оценка может быть ненадежной. Вклад факторов общей среды составил 25% в исследовании Бартелс и др. (Bartels et al., 2002) и 43% в исследовании ван Соелен и др. (Van Soelen et al., 2011), в других исследованиях на этой выборке факторы общей среды вносили незначительный вклад и поэтому были исключены из модели.

На выборке Нидерландского близнецового регистра (Netherlands Twin Register) вклад генетических факторов в вербальные способности в 9–10 лет оценивается в 77–81% (Hoekstra et al., 2009; Silventoinen et al., 2006). Оставшаяся вариация вербальных способностей относится к факторам индивидуальной среды.

Шкала WISC-R также использовалась в исследованиях Института генетики поведения Университета Колорадо (Institute of Behavior Genetics, University of Colorado, Boulder). В исследовании Брант и др. (Brant et al., 2009) были получены оценки наследуемости 48% и вклада факторов общей среды 34% в 7 лет. Также можно упомянуть исследование Петрилла и др. (Pettrill et al., 2004), использовавшее сравнение приемных и биологических семей. В нем, соответственно, в 7 и 9 лет были получены оценки наследуемости 58% и 55% и вклад семейной среды 7% и 18%. Для оценки когнитивных способностей в 9 лет использовалась методика Colorado Battery of Specific Cognitive Abilities.

Российские данные об индивидуальных различиях когнитивных способностей у младших школьников представлены исследованием Малых и др. (Malykh et al., 2003), также использовавшим WISC-III. Было обнаружено, что у российских близнецов вклад генетических факторов в вариацию общего интеллекта составляет 78% и 19% в 6 и 7 лет, соответственно. Вклад факторов общей среды составляет 7% и 69%. Результаты в целом отличаются от тех, что были получены в других исследованиях, однако это может быть связано с малым размером выборки (61 близнецовая пара) и, как следствие, высокой выборочной ошибкой. К примеру, исследование на выборке близнецов аналогичного возраста из Western Reserve Reading Project (Hart et al., 2007) показало наследуемость общего интеллекта 27% в 6 лет и 51% в 7 лет. Вклад факторов общей среды составил, соответственно, 40% и 20%. Общий интеллект измерялся с помощью батареи тестов Стенфорд-Бине.

В крупном лонгитюдном исследовании близнецов Twins Early Development Study также изучались когнитивные способности в раннем школьном возрасте. Для оценки когнитивных способностей использовались отдельные суб-тесты из тестовых батарей. В 7 лет для оценки вербальных способностей использовались суб-тесты «Словарь» и «Сходство» из WISC-III, для оценки невербального интеллекта использовались суб-тесты «Заверши картинку» из WISC-III и «Группировка понятий» из McCarthy Scales of Children's Abilities. В 9 лет для оценки вербальных способностей использовались суб-тесты «Словарь» и «Общая осведомленность» из WISC-III, для оценки невербальных способностей использовались суб-тесты «Головоломки» и «Формы» из Cognitive Abilities Test 3. В 10 лет для оценки вербальных способностей использовались суб-тесты «Словарь» и «Общая осведомленность» из WISC-III, для оценки невербальных способностей использовались суб-тесты «Заверши картинку» из WISC-III и Стандартные прогрессивные матрицы Равена. Во всех случаях показатели вербальных, невербальных и общих когнитивных способностей вычислялись путем усреднения или факторного анализа стандартизированных баллов по суб-тестам. Такие показатели не соотносятся с популяционными нормами, но могут быть использованы для изучения индивидуальных различий когнитивных способностей.

Результаты исследований на основе выборки TEDS не показывают увеличения вклада генов в индивидуальные различия интеллекта в раннем школьном возрасте. Так, в 7 лет наследуемость интеллекта составляет 37–39%, в 9 лет 34–43%, в 10 лет 46% (Greven et al., 2009; Hanscombe et al., 2012; Kovas et al., 2013a). Аналогичную стабильность демонстрирует и вклад факторов общей среды: на уровне 47% (Greven et al., 2009; Kovas et al., 2013a).

Исследование Девиса и др. (Davis et al., 2009) использовало многопеременную близнецовую модель для определения природы вариации, характерной для раннего школьного возраста в целом. Вклад генетических факторов в общую вариацию интеллекта в 7, 9 и 10 лет составил 62%, вклад факторов общей среды составил 33%.

Также заслуживает внимания исследование Хейворт и др. (Haworth et al., 2010), использовавшее большую объединенную выборку близнецов, относящихся к разным близнецовым регистрам Европы и США. Оценка наследуемости составила 41%, оценка вклада общей среды – 33%.

Подростковый возраст (10–17 лет)

Подростковый возраст наиболее изучен с точки зрения вклада генетических и средовых факторов в вариацию интеллекта. Большинство исследований для измерения когнитивных способностей использует шкалу Векслера (WISC-R или WISC-III). Так, на выборке Netherlands Twin Registry наследуемость общего интеллекта в 12 лет составила 81–83% (Polderman et al., 2009; Silventoinen et al., 2006), вклад факторов семейной среды – 18%. По результатам исследования Сильвентойнена и др. (Silventoinen et al., 2006), наследуемость вербальных способностей находится также на уровне 84%. Более низкие оценки вклада генетических факторов были получены в исследовании ван Соелен и др. (Van Soelen et al., 2011) на той же выборке: 65% для общего интеллекта, 51% для вербальных способностей и 72% для невербальных способностей.

В исследованиях Джейкобс и др. (Jacobs et al., 2002; Jacobs et al., 2001) использовалась европейская выборка близнецов East Flanders Prospective Twin Survey, средний возраст 11 лет. Оценки наследуемости общего, вербального и невербального интеллекта составили 89%, 78% и 63%, соответственно. Вклад факторов общей среды составил 4%, 3% и 12%.

Исследование на крупной репрезентативной выборке из почти 300 000 детей из Дании и Великобритании было опубликовано Кальвин и др. (Calvin et al., 2012). Школьники из Великобритании выполняли Cognitive Ability Test-3 в возрасте 11 лет. Школьники из Дании выполняли два теста невербальных способностей в возрасте 8, 10 и 12 лет (Webbink et al., 2008). Близнецы выявлялись на основе совпадения фамилии и даты рождения. Поскольку информация о зиготности близнецов не была доступна, оценки наследуемости вычислялись на основе анализа смешанного распределения. Этот метод использует предположение о количественном соотношении монозиготных и дизиготных близнецовых пар, определяя зиготность каждой пары методом максимального правдоподобия (Webbink et al., 2006). На британской выборке наследуемость общего и невербального интеллекта составила 70%, наследуемость вербального интеллекта составила 79%. На выборке датских школьников наследуемость невербальных способностей составила 43% в 8 лет, 24% в 10 лет и 67% в 12 лет.

Адамс и др. (Adams et al., 1976) использовали репрезентативную выборку из близнецов, рожденных в марте 1857 года в Англии, Шотландии и Уэльсе. В

11 лет близнецы выполняли набор тестов, разработанных National Foundation for Educational Research (в общей сложности 80 заданий) для оценки вербальных и невербальных способностей. Наследуемость вербальных и невербальных способностей, вычисленная на основе близнецовых корреляций, составила 23% и 34%, соответственно. Вклад общей среды составил 47% и 43%. В другом исследовании на репрезентативной выборке близнецов 11-ти лет из Шотландии, рожденных в 1932 и 1947 годах, наследуемость общего интеллекта составила 70%, вклад общей среды составил 21%. Общий интеллект оценивался с помощью Murray House Test.

Исследования на близнецах из выборки TEDS показывают, что индивидуальные различия общих когнитивных способностей в подростковом возрасте примерно на 40% обусловлены генетическими факторами. Ханскомб и др. (Hanscombe et al., 2012) показали, что вклад генетических факторов постепенно увеличивается от 38% в 7 лет до 46% в 14 лет. Схожую тенденцию показывает исследование Ковас и др. (Kovas et al., 2013a). Оценка когнитивных способностей производилась на основе субтестов из WISC («Словарь», «Закончи фигуру», «Общая осведомленность»), а также полной или модифицированной версий методики «Матрицы Равена» (в зависимости от возраста). Показатель общего интеллекта вычислялся как первая главная компонента при факторном анализе баллов по суб-тестам.

В ряде исследований университета Колорадо генетический вклад в индивидуальные различия когнитивных способностей оценивался на основе близнецов и приемных семей. В рамках Colorado Adoption Study дети из биологических и приемных семей выполняли WISC-R в 7 и 12 лет, Colorado Battery of Specific Cognitive Abilities в 9 лет и WAIS-R в 16 лет. Показатели наследуемости в подростковом возрасте составили 55–60%, однако в 16 лет был получен более низкий показатель: 36% (Pettrill et al., 2004). В другом исследовании на этой же выборке оценка наследуемости общего интеллекта в 16 лет составила 56%, вербальных способностей – 54% (Plomin et al., 2002). На выборке близнецов из Colorado Learning Disabilities Research Center (средний возраст 12 лет) оценка наследуемости составила 28% в контрольной группе и 53% в группе с нарушениями чтения (Light et al., 1998). Наследуемость вербальных и невербальных способностей на той же выборке составила 66% (Betjemann et al., 2010).

В исследовании Уолласа и др. (Wallace et al., 2010) на близнецах из Child Psychiatry Branch of the National Institute of Mental Health когнитивные представляются показатели наследуемости вербальных и невербальных способностей на основе суб-тестов «Словарь» и «Кубики Коса» из батареи тестов Векслера (сред-

ний возраст 11 лет). Вклад генетических факторов в вариацию баллов составил 64% для суб-теста «Словарь» и 75% для суб-теста «Кубики Коса». Факторы общей среды не вносили значимого вклада в вариацию баллов.

Согласно результатам исследования Сильвентойнена и др. (Silventoinen et al., 2006) на основе близнецовой выборки Minnesota Twin Family Study, в 11 лет наследуемость общих, вербальных и невербальных способностей составляет, соответственно, 35%, 47% и 36% у мальчиков и 49%, 39% и 45% у девочек.

В лонгитюдном исследовании Роу и др. (Rowe et al., 1999) у близнецов из National Longitudinal Study of Adolescent Health измерялись вербальные способности в 16 лет на основе Peabody Picture Vocabulary Test. Оценки наследуемости составили 26% в семьях с низким достатком и 57% в семьях с высоким достатком. Вклад факторов общей среды составил, соответственно, 23% и 13%.

Близнецовое исследование, проведенное в Бризбене (Австралия) показало высокий вклад генов в индивидуальные различия интеллекта в 16 лет (81%, Luciano et al., 2001). Для оценки интеллекта использовалась Multidimensional Aptitude Battery. Более низкие показатели наследуемости демонстрируют отдельные суб-тесты батареи: 54% («Арифметика»), 45% («Общая осведомленность») и 30% («Словарь», N. W. Martin et al., 2009).

В исследовании близнецов 12-ти лет из Токио был получен показатель наследуемости интеллекта 58% (Lynn, Nattori, 1990), на основе японоязычных когнитивных тестов).

Отечественные исследования генетических и средовых факторов индивидуальных различий интеллекта у подростков представлены работой Григоренко и др. (Grigorenko et al., 1992). В исследовании интеллект оценивался с помощью WAIS-III у близнецов 16-ти лет. Наследуемость вербальных, невербальных и общих когнитивных способностей составила 29%, 49% и 29%.

Исследование на сборной выборке близнецов, объединяющее данные шести крупных близнецовых регистров показывают, что в целом наследуемость когнитивных способностей у подростков составляет 55%, вклад факторов общей среды составляет 18% (Haworth et al., 2010). Аналогичные результаты были получены в группе с высокими когнитивными способностями (верхние 15% распределения): вклад генетических факторов 50%, вклад факторов общей среды 28%.

Ранний взрослый возраст (17 лет и старше)

Отдельные исследования генетической и средовой природы индивидуальных различий когнитивных способностей в раннем взрослом возрасте используют репрезентативные данные тестирования при воинском призыве. Так, в исследовании Гранта и др. (Grant et al., 2010) использовались данные близнецов мужского пола из Vietnam Era Twin Registry (США), проходивших тестирование в рамках воинского призыва в возрасте 19 лет. Используемая методика Armed Forces Qualification Test демонстрирует высокую связь с общим интеллектом. Оценка наследуемости в этом исследовании составила 47%, оценка вклада семейной среды составила 28%.

В исследовании Бошампа и др. (Beauchamp et al., 2010) оценка наследуемости была получена на основе данных Swedish Twin Registry и Swedish National Service. Близнецы мужского пола выполняли набор логических, вербальных, пространственных и технических тестов в процессе воинского призыва в 18 лет. Оценка наследуемости составила 55%, оценка вклада общей среды составила 11%. Аналогичные результаты получены в другом исследовании на выборке шведских близнецов из Multi-Generation Register: вклад генов 58%, вклад факторов общей среды 22% (Modig et al., 2011).

Исследование Харден и др. (Harden et al., 2007) использовало выборку близнецов, выполнявших National Merit Scholarship Qualifying Test (США) в 1962 году в возрасте 17 лет. Общие когнитивные способности оценивались как общая вариация суб-тестов (английский язык, математика, социальные науки, естественные науки, словарный запас). Наследуемость общих когнитивных способностей составила 45%, вклад факторов общей среды составил 41%.

В ряде исследований, проведенных в Голландии, для оценки когнитивных способностей использовалась методика Векслера. В работе Хукстра и др. (Hoekstra et al., 2009) на выборке близнецов из Netherlands Twin Register в возрасте 18 лет наследуемость общего интеллекта составила 84%. В работах Райждайк и др. (Rijsdijk et al., 2002) и Райждайк и Бумсма (Rijsdijk, Boomsma, 1997) на выборке близнецов 17 лет наследуемость общих, вербальных и невербальных способностей составила 84%, 81% и 67%, соответственно.

Сильвентойнен и др. (Silventoinen et al., 2012) на основе данных близнецов в возрасте 17 лет из Minnesota Twin Family Study получили оценки наследуемости

общих, вербальных и невербальных способностей 53%, 62% и 62% у мальчиков и 63%, 48% и 41%, соответственно. Для оценки способностей использовалась методика WAIS-R.

Исследования на сборных выборках также показывают высокий вклад генетических факторов в вариацию когнитивных способностей. Келлер и др. (Keller et al., 2013) объединили данные Colorado Longitudinal Twin Sample, Colorado Community Twin Sample и QIMR Queensland Australia Twin Sample и получили оценку наследуемости 57%. На выборках из Колорадо уровень когнитивных способностей оценивался с помощью методики Векслера, близнецы из Австралии выполняли Multidimensional Aptitude Battery. В другом исследовании вклад генетических факторов составил 66%, вклад факторов общей среды – 16% (Haworth et al., 2010).

Тенденция к постепенному увеличению вклада генетических факторов и убыванию вклада факторов общей среды в индивидуальные различия интеллекта ярко выражена, несмотря на то, что исследования проводились на различных популяциях и различных когортах. Средние показатели наследуемости составляют 30% в раннем детстве, 45% в раннем школьном возрасте, 60% в подростковничестве и 70% в раннем взрослом возрасте (Рисунок 1.1).

Этот тренд может быть следствием генотип-средовой корреляции, при которой генотипы попадают не в случайные средовые условия, а в те, которые им наиболее подходят. К примеру, Такер-Дроб и Харден (Tucker-Drob, Harden, 2012) продемонстрировали, что детям с более высоким уровнем когнитивных способностей родители чаще предлагают когнитивную стимуляцию (например, развивающие игры).

Изначально генотип-средовая корреляция носит пассивный характер за счет того, что родители замечают предрасположенности ребенка и создают соответствующие условия развития. Зачем ребенок начинает сам выбирать подходящие для него формы активности. Школьная среда, разнообразие которой увеличивается при переходе от младшей школы в среднюю и из средней в старшую, предоставляют значительный ресурс для генотип-средовой корреляции. Исследования механизмов генотип-средовой корреляции будут рассмотрены в Параграфе 1.4.6.

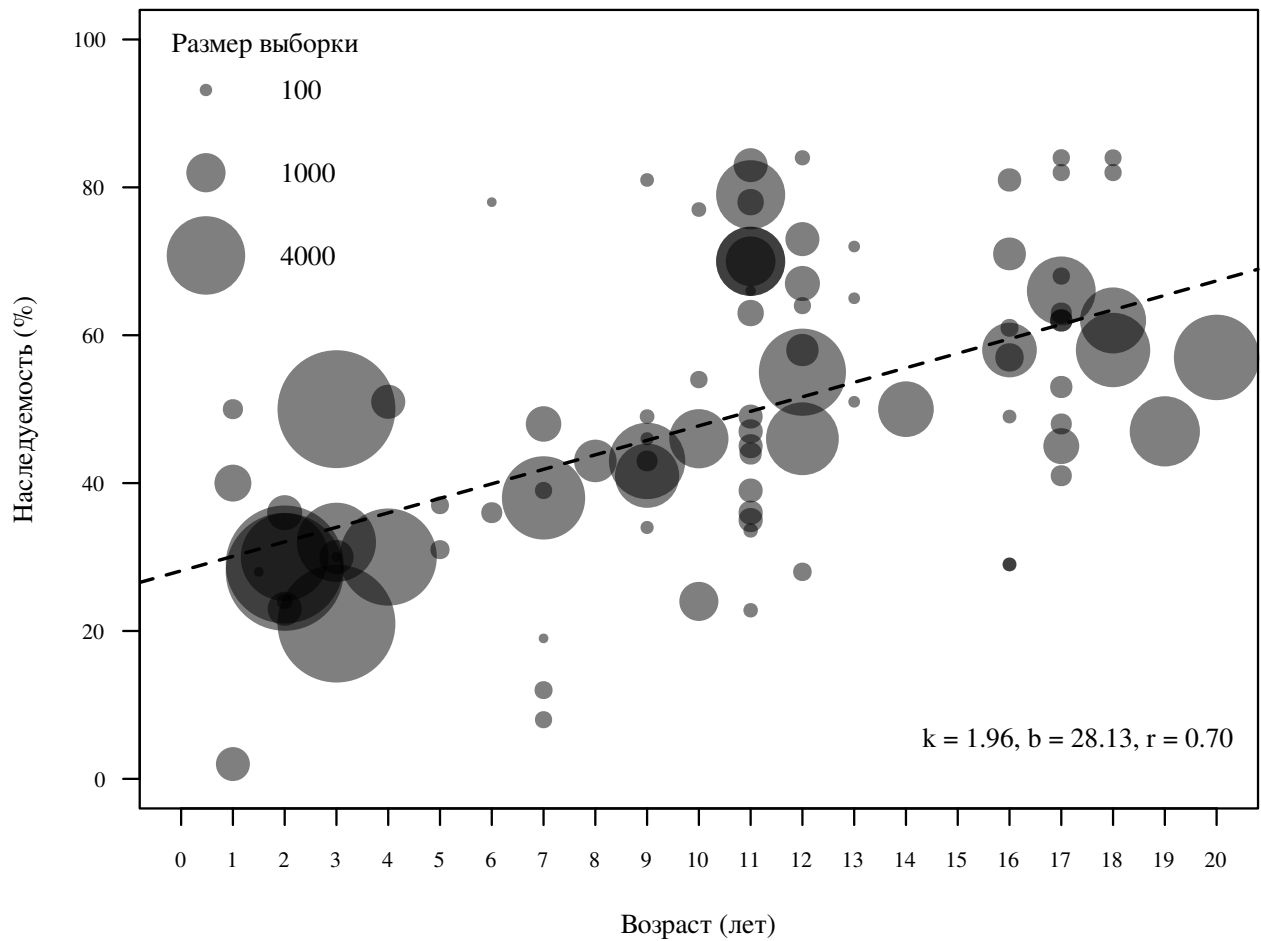


Рисунок 1.1 — Связь между возрастом и оценками наследуемости интеллекта. Размер кругов обозначает размер выборки (количество пар близнецов), пунктиром изображена линия взвешенной линейной регрессии. k , b – коэффициенты взвешенной линейной регрессии, r – корреляция между возрастом и оценкой наследуемости интеллекта.

1.4.4 Лонгитюдные исследования интеллекта

Многочисленные исследования демонстрируют рост наследуемости относительного вклада генов в индивидуальные различия интеллекта с возрастом. Р. Пломин (Plomin, 1986) описал два механизма, которые могут объяснять эту тенденцию: 1) вовлечение новых генов за счет постепенного созревания и развития мозговых структур, 2) усиление генетических эффектов за счет генотип-средовой корреляции. В первом случае рост наследуемости интеллекта происходит за

счет увеличения собственно генетической вариации. Во втором случае неслучайное распределение фенотипов по средовым условиям добавляет дополнительную вариацию, связанную с генами, поэтому относительный вклад генов в вариацию признака растет.

Совмещение лонгитюдного и близнецового методов позволяет проверить, какой из двух указанных механизмов в действительности обеспечивает рост наследуемости. В лонгитюдном близнецовом исследовании разделяются специфические для определенного возраста и связанные с другими возрастами генетические и средовые компоненты. Преобладание специфичной для возраста вариации указывает на вовлечение новых генов на новом этапе развития. Напротив, преобладание общей для разных возрастов вариации свидетельствует об усилении эффекта генов в процессе развития. Кроме того близнецовый лонгитюдный дизайн позволяет оценить вклад генетических и средовых факторов в фенотипическую стабильность интеллекта (интеллект – высоко стабильная характеристика).

В раннем детстве развитие интеллекта происходит при вовлечении новых генов. Так, в исследовании Петриллы и др. (Pettrill et al., 1998) генетическая стабильность обнаруживается, начиная с двух лет. Факторы общей среды демонстрируют обратную тенденцию: к трем годам убывает как их относительный вклад в индивидуальные различия когнитивных способностей, так и их стабильность. В исследовании Петриллы и др. (Pettrill et al., 2004), использующем сравнение приемных детей с приемными и биологическими родителями, показано, что от раннего детства к подростковому вместе с фенотипической стабильностью и общим вкладом генетических факторов в вариацию когнитивных способностей увеличивается и стабильность генетических факторов. Фенотипическая корреляция между 1 и 2 годами составляет 0,37, между 12 и 16 годами 0,80. Генетическая корреляция на тех же промежутках составляет, соответственно, 0,40 и 1,00. Следует также заметить, что генетические факторы, связанные с индивидуальными различиями в 1 год оказались не связанными с генетическими факторами, обуславливающими индивидуальные различия в последующем развитии (после 7 лет генетическая корреляция составляет 0,08). Это свидетельствует о том, что начиная с раннего школьного возраста, в развитие интеллекта включаются новые генетические факторы.

Сходные результаты были получены в других лонгитюдных близнецовых исследованиях (Brant et al., 2009; Davis et al., 2009). Паттерн генетических корреляций, представленный Брант и др. (Brant et al., 2009) показывает, что индивиду-

альные различия интеллекта в раннем детстве и в последующем развитии в значительной степени обусловлены различными генетическими факторами (средняя генетическая корреляция для интеллекта в 1–4 года и 7–16 лет составила 0,38). В исследовании также показана высокая стабильность факторов общей среды, однако за счет умеренного общего вклада в вариацию интеллекта (в среднем 30%) они объясняют лишь часть стабильности интеллекта. Более высокая корреляция 0,57 между генетическими факторами, обуславливающими индивидуальные различия интеллекта в раннем детстве и раннем школьном возрасте, была получена Дэвиса и др. (Davis et al., 2009). Факторы общей среды также показывают высокую стабильность (0,65). Относительный вклад генетических факторов и факторов семейной среды в стабильность интеллекта составил 39% и 58%, соответственно.

Исследования сходятся в том, что факторы индивидуальной среды специфичны для каждого последующего измерения и, скорее всего, отражают ошибку измерения. Так, Дэвис и др. (Davis et al., 2009) показали, что в раннем детстве и раннем школьном возрасте общие факторы индивидуальной среды практически отсутствуют (3% и 5%, соответственно). Стабильность общих факторов индивидуальной среды составила 43%, однако она вносит слабый вклад в фенотипическую стабильность интеллекта. Вклад индивидуальной среды в вариацию интеллекта в каждом отдельном измерении составил 7–32%, что соответствует ошибке измерения методик.

На протяжении раннего школьного возраста стабильность интеллекта связана как с генетическими факторами, так и с факторами общей среды. В исследовании Харт и др. (Hart et al., 2007) корреляция между оценками интеллекта в 6 и 7 лет составила 0,74, и генетические факторы и факторы общей среды в равной степени объясняли эту корреляцию. В то же время умеренная генетическая корреляция (0,35) свидетельствует о большой доле специфичных для возраста генетических факторов. В работе Малых и др. (Malykh et al., 2003) на российских близнецах из той же возрастной группы был обнаружен похожий тренд: 63% стабильности общего интеллекта объяснялась генетическими факторами и 37% факторами семейной среды. Однако следует заметить, что в этом исследовании наследуемость интеллекта уменьшается от 78% в 6 лет до 19% в 7 лет. В качестве возможного объяснения авторы рассматривают дополнительную вариацию средовых факторов, обусловленную тем, что в 7 лет российские дети, как правило, начинают обучение в школе.

При переходе от младшего школьного возраста к подростковому вклад генетических факторов как в индивидуальные различия, так и в стабильность интеллекта увеличивается. В исследовании Бартелс и др. (Bartels et al., 2002) наследуемость интеллекта увеличивается от 25% в 5 лет до 64% в 12 лет. Вклад генов в стабильность интеллекта увеличивается от 56% до 86%.

В исследовании ван Соелен и др. (Van Soelen et al., 2011) лонгитюдная близнецовая модель применялась к показателю общего интеллекта и к показателям вербальных и невербальных способностей в 9 и 12 лет. Вербальные и невербальные способности демонстрируют те же самые тенденции, что и общий интеллект во всех упомянутых выше исследованиях: рост наследуемости (от 37% до 51% для вербальных способностей, от 46% до 72% для невербальных способностей) и высокие генетические корреляции (0,78 и 1,00).

К концу подросткового возраста генетические факторы, связанные с индивидуальными различиями интеллекта, фиксируются окончательно. Это выражается в высоких генетических корреляциях между показателями в 12 и 16 лет: 0,94 (Brant et al., 2009) и 1,00 (Petrill et al., 2004). Хотя корреляция между факторами общей среды в этих исследованиях также высока, эти факторы перестают вносить существенный вклад в стабильность интеллекта, поскольку их вклад в индивидуальные различия интеллекта в целом снижается (до 13–19% в 16 лет).

1.4.5 Генетические факторы кросс-культурных различий интеллекта

Генетические и средовые источники межрасовых или межэтнических различий в среднем уровне интеллекта получили значительную долю внимания со стороны исследователей (обзор исследований: Воронин, 2015). Весь набор точек зрения ложится в континуум между генетической и культурной (средовой) обусловленностью этих различий (Gottfredson, 2005; Nisbett, 2005; Rushton, Jensen, 2005; 2010; Sternberg, 2005; Suzuki, Aronson, 2005). Приверженцы культурной парадигмы объясняют различия в интеллекте разнообразными культурными факторами, такими как социально-экономический уровень, образование и пр. Аргумент о социально-экономическом уровне является одной из самых частых гипотез, объясняющих различия в IQ. Однако, с точки зрения Раштона, контроль

социально-экономического статуса снижает межрасовые различия в IQ примерно на треть, то есть около 5 баллов (Rushton, Jensen, 2005).

Результаты близнецовых и семейных исследований рассматриваются как аргумент в пользу генетической обусловленности межгрупповых различий интеллекта (Rushton, Jensen, 2005; 2010). Предполагается, что с высокой вероятностью межгрупповые различия обусловлены теми же факторами, что и индивидуальные. Однако показатель наследуемости (доля вариации признака, объясняемая генетическими факторами), анализируемый в близнецовых исследованиях, не отражает связь между генетической и фенотипической вариацией в точности. Поскольку наследуемость является относительной величиной, она может варьировать от популяции к популяции в зависимости от абсолютной величины средовой вариации. Наследуемость черты может быть высокой за счет того, что соответствующие факторы среды мало варьируют (например, в отношении академической успеваемости: Kovas et al., 2013a). Приверженцы генетической концепции также не считают контроль социально-экономического статуса полностью средовым. Уровень социально-экономического благосостояния родителей частично отражает их различия в интеллекте. С точки зрения культурной парадигмы, по мере повышения социально-экономического статуса родителей, предположительно, в меньшей степени сталкиваются со средовыми дефицитами, и, следовательно, должны показывать лучшие результаты, сокращая межрасовые различия. Однако среди семей высокого социально-экономического уровня эта разница увеличивается (Herrnstein, Murray, 1994).

Другим фактором, по мнению сторонников культурной парадигмы, является различные аспекты депривации как возможные детерминанты различий в IQ. Сюда входят недостаток книг дома, низкий уровень образования у родителей, низкий уровень родительских ожиданий и интереса в отношении академических успехов ребенка, негативная самооценка и прочие. Однако, по замечанию Раштона и Дженсена, внутрисрасовые и межрасовые исследования на приемных детях показывают, что эти средовые переменные в значительной степени теряют свой вес с достижением детьми подросткового возраста. Более того, в ряде работ выявлено, что американские индейцы и дети выходцев из Восточной Азии имеют интеллект в среднем выше черных, даже при условии более низкого уровня по средовым факторам (Coleman, 1995). Другой пример касается инуитов, живущих за Полярным кругом. Их средний IQ выше, чем афроамериканцев (Berry, 1969;

Berry et al., 1997), несмотря на тяжелые социально-экономические условия и высокий уровень безработицы (P. E. Vernon, 1965; P. E. Vernon, 1979).

Культурная и генетическая парадигма имеют свои следствия. Так, культурная парадигма, представление о доминирующей роли социально-экономических и культурных факторов в различиях IQ, послужила основанием разработки разного рода программ (например, программа «Head Start»), направленных на снижение различий в интеллекте и академической успеваемости. Сторонники парадигмы наследственности отмечают, что после всех программ по улучшению академических или социальных навыков, а также повышению уровня жизни и качества образовательной среды среднее различие между черными и белыми в IQ не только не исчезает, но порой и не сокращается. Карри и Томас (Currie, Thomas, 1995) провели лонгитюдное исследование на национальной выборке более 4 000 детей. Они показали, что программа «Head Start» хотя и дала значительный рост тестовых показателей как в группе белых, так и черных детей, этот эффект носил лишь временный характер и быстро сгладился, особенно в группе черных. Возникает вопрос о долговременности этой программы. Дженсен утверждает, что и более длительные и интенсивные образовательные программы не имели существенно-го долгосрочного влияния на IQ или даже академическую успеваемость (Jensen, 1998).

Некоторые исследователи расширяют спектр культурных факторов, включая туда установки, ожидания, образ я, социальные стереотипы и др. (Loury, 2009; Ogbu, 2002; Sowell, 1994). Часть из них были операционализированы в эмпирических исследованиях. Так, было показано, что черные дети, проживающие в лучших районах города и посещающие лучшие школы, тем не менее, в среднем имеют несколько более низкий IQ, чем их белые сверстники из районов с наименьшими социально-экономическими показателями (Herrnstein, Murray, 1994; Jensen, 1998). Дженсен не обнаружил также влияния тестовой тревоги, образа я и ролевых моделей (Jensen, 1980; 1998). Расовая стигматизация (Loury, 2009) также не объясняет более высокий средний IQ и размер мозга у представителей Восточной Азии.

Одна из гипотез культурной парадигмы связана с эффектом Флинна (Flynn, 1984; 1987; 1999). Выдвигается предположение, что со временем разница между средним IQ белых и черных исчезнет (Flynn, 1999).

Следует отметить, что, во-первых, главным фокусом интереса психогенетики являются индивидуальные, а не групповые различия. Во-вторых, как по-

казал Левонтин (Lewontin, 1970), доказательство генетической основы индивидуальных различий не означает наследуемости групповых различий. Таким образом, если профили интеллекта различаются по генетическим причинам у жителей Америки африканского и европейского происхождения, это не означает, что различия в средних показателях интеллекта между этими группами имеют генетическую основу (Loehlin, 2009). Существуют разные подходы к пониманию культуры с точки зрения ее значимости для осмысления вклада в понимание интеллекта. Так с точки зрения культурной психологии, психологические процессы находятся в зависимости от культурного значения, символического плана, не сводимого к однозначной каузальной связи с генетическими факторами. Культура – важнейший фактор, который влияет на то, какие формы поведения соотносятся с понятием интеллекта и какое направление приобретает интеллектуальное развитие. Культура определяет те смыслы и культурные практики, которые опосредуют влияние среды и наследственности (Miller, 1997).

Для психогенетики интересен анализ роли культуры как фактора влияющего на соотношение генетических и средовых влияний на индивидуальные различия в интеллекте, изучение механизмов этого влияния. Например, на показатель наследуемости влияет генотип-средовая корреляция (Plomin et al., 1977), которая означает, что генотипы попадают не в случайные, а в наиболее подходящие средовые условия. Такое происходит, к примеру, когда родители замечают у ребенка определенные задатки и начинают создавать среду, способствующую их развитию (занимаются с ребенком, покупают развивающие материалы, отводят в соответствующую секцию и т. п.) Это приводит к тому, что гены манифестируют в фенотипе не только непосредственно, но и через среду. Как следствие, показатель наследуемости переоценивает связь между генетической и фенотипической вариацией. Генотип-средовая корреляция связана с богатством среды, в которой развивается ребенок, с особенностями культуры, иными словами, со всеми процессами, перечисленными выше.

Анализ сложных процессов взаимодействия генетических и средовых факторов в ходе когнитивного развития человека в разных культурах дает возможность оценить ее роль в индивидуальных особенностях интеллекта. В связи с этим представляет интерес сравнение близнецовых (и других генетически чувствительных) исследований интеллекта, выполненных на различных популяциях. Несмотря на то, что исследования роли генетических и средовых факторов в индивидуальных различиях интеллекта проводились в разных странах, специ-

ального кросс-культурного анализа до сих пор не проводилось. Однако уже простое сопоставление результатов близнецовых исследований интеллекта показывает, что показатели наследуемости различаются в разных странах. В качестве примера коротко остановимся на результатах близнецовых исследований интеллекта, измеряемого с помощью методики Векслера (Wechsler Intelligence Scale for Children, Wechsler Adult Intelligence Scale), которая является надежным средством измерения, позволяющим оценить общие, вербальные и невербальные когнитивные способности.

Исследования на близнецах из Голландии (Van Soelen et al., 2011) демонстрируют умеренный показатель наследуемости общего интеллекта в детстве (34%) и высокий в подростковом возрасте (65%). Схожий паттерн показателей наследуемости наблюдается для невербального интеллекта (46% и 72%), в то время как вклад генов в вербальные способности ниже (37% и 51%). В другом близнецовом исследовании, проведенном на подростках и взрослых из Голландии (Franić et al., 2014; Hoekstra et al., 2007), был также обнаружен высокий вклад генов в вариацию вербальных и невербальных способностей (80% и 74% в 12 лет и 84% и 74% в 18 лет).

На российской выборке показатели наследуемости были выше (78%) у детей в 6 лет по сравнению (20%) с семилетними детьми (Malykh et al., 2005). Показатели наследуемости интеллекта у взрослых были выше – 86%, 84% и 89% для общего, вербального и невербального интеллекта, соответственно.

Вклад генетических факторов в вариацию общего интеллекта на выборке датских близнецов варьирует от 20% до 70% в период от 8 до 12 лет, тогда как у британских близнецов (средний возраст 11 лет) наследуемость общего интеллекта составила 70%, наследуемость вербальных и невербальных способностей – 80% и 70%, соответственно (Calvin et al., 2012).

Ряд исследований был проведен на выборках из США. Так, Бетжемен и др. (Betjemann et al., 2010) получили оценки наследуемости вербального и невербального интеллекта 66% на выборке близнецов 11 лет (Colorado Reading Disability Research Center). Касто и др. (Casto et al., 1995) приводят оценки вклада генов в устное понимание (Verbal Comprehension) и перцептивную организацию (Perceptual Organization) 44% и 50% на той же выборке. В Колорадском исследовании приемных детей (Colorado Adoption Project) были получены оценки наследуемости общего интеллекта 58%, 60% и 36% в 7, 12 и 17 лет (Petrill et al., 2004).

Результаты этих исследований свидетельствуют о значительном разбросе оценок наследуемости интеллекта между популяциями. Очевидно, что наблюдаемые различия могут быть связаны с целым рядом факторов: возрастными особенностями развития (Bouchard, 2013), спецификой когнитивных функций (Kan et al., 2013) и т. д. Тем не менее, следует отметить, что при одном и том же возрасте близнецов, наследуемость, полученная на европейских выборках в среднем выше, чем на выборках из США. Это может объясняться более высоким уровнем благосостояния в европейских странах и связано с эффектом генотип-средовой корреляции (Tucker-Drob et al., 2013; Turkheimer, E. E. Horn, 2014).

Несмотря на то, что пока нет специально организованных кросс-культурных генетически информативных исследований интеллекта, масштабный мета-анализ всех близнецовых исследований (проведенных с 1958 до 2012 года) дает представление о разбросе в показателях наследуемости когнитивных функций в разных странах (Polderman et al., 2015). В целом, данные мета-анализа свидетельствуют о том, что в среднем наследуемость когнитивных функций составляет около 50%. Однако, сходство монозиготных и дизиготных близнецов и, соответственно, оценки наследуемости когнитивных способностей варьируют в разных странах (Рисунок 1.2). Эти данные свидетельствуют о перспективности кросс-культурных генетически информативных исследований для понимания природы интеллекта.

1.4.6 Исследования генотип-средовой корреляции

Согласно лонгитюдным исследованиям, раннее развитие когнитивных способностей сопровождается вовлечением новых генов. Начиная с раннего школьного возраста развитие, сопровождается усилением действия генов за счет генотип-средовой корреляции. Эффект генотип-средовой корреляции заключается в том, что генотипы попадают не в случайные средовые условия, а в те, которые наиболее подходят их развитию (Kendler, Baker, 2007; Plomin, 2014; Plomin et al., 1977). Этот процесс может быть пассивным (родители замечают в ребенке предрасположенности и создают условия для их развития) или активным (ребенок сам выбирает элементы среды, которые поспособствуют развитию его задатков). Так или иначе, вариация среды при генотип-средовой корреляции

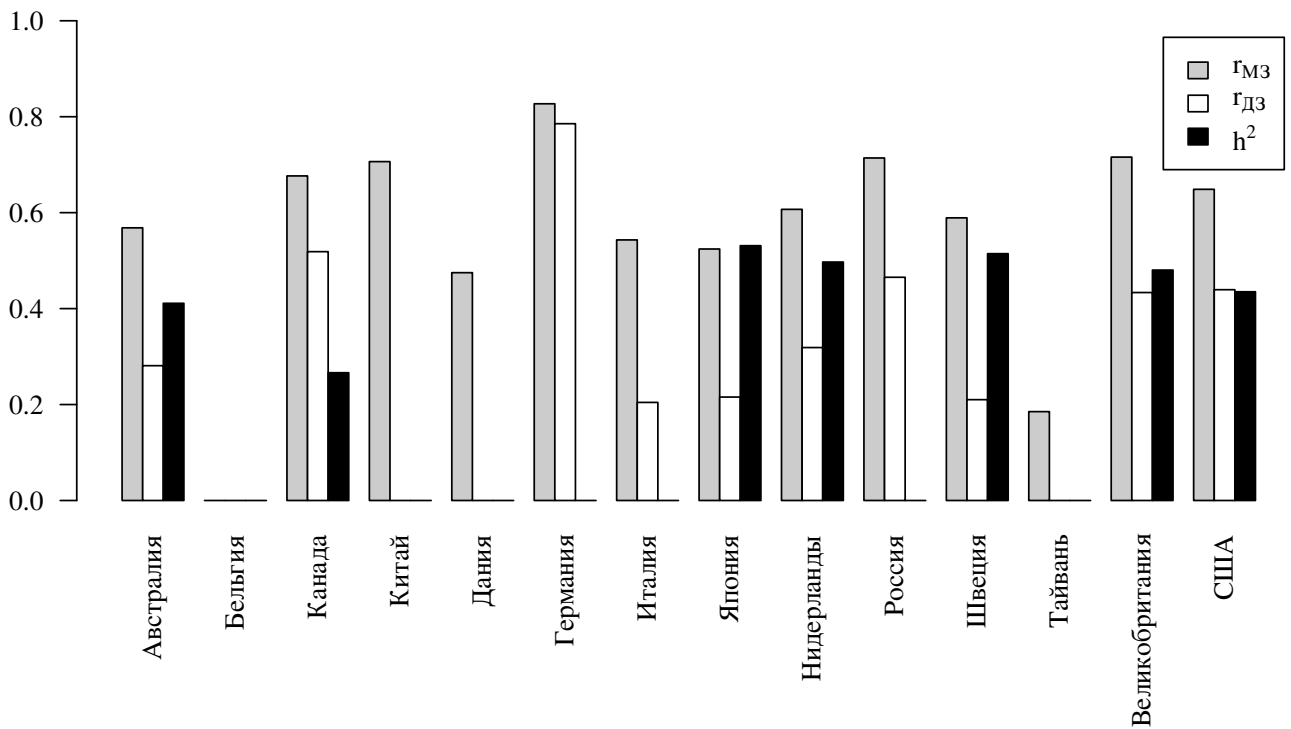


Рисунок 1.2 — Близнецовые корреляции и оценки наследуемости интеллекта в разных странах на основе мета-анализа Polderman et al. (2015). h^2 – показатель наследуемости.

способствует увеличению сходства генетически более сходных родственников (монозиготных близнецов) и уменьшению сходства генетически менее сходных родственников (дизиготных близнецов, сиблингов), то есть проявляет себя как генетическая вариация.

В исследованиях генотип-средовой корреляции оценивается связь между характеристиками среды и вкладом генетических факторов в фенотип. Уровень образования родителей и социо-экономический статус семьи являются важными характеристиками среды для генотип-средовой корреляции. Социо-экономический статус семьи определяет количество ресурсов, доступных семье для обеспечения когнитивно стимулирующей среды ребенка (развивающие игры, секции и кружки, хорошая школа). В семьях с более высоким социо-экономическим статусом родители, как правило, могут больше времени уделять ребенку. Уровень образования родителей представляет собой другой важный элемент общей среды. С одной стороны, уровень образования родителей положительно связан с социо-экономическим статусом семьи, с другой стороны, более

образованные родители способны создать ребенку обогащенную среду, способствующую когнитивному развитию.

Одно из первых надежных свидетельств генотип-средовой корреляции по отношению к когнитивным способностям представили Роу и др. (Rowe et al., 1999), показавшие, что в семьях с более высоким уровнем образования родителей вклад генетических факторов в вариацию вербального интеллекта выше, чем в семьях с низким уровнем образования родителей (74% и 26%, соответственно). Напротив, вклад факторов общей среды выше в семьях с низким уровнем образования родителей. Грант и др. (Grant et al., 2010), однако, не обнаружили сходного эффекта на выборке Vietnam Era Twin Registry. С уровнем образования родителей в исследовании оказалась связана средняя величина когнитивных способностей, но не генетический вклад в их вариацию.

Важной средовой переменной, с точки зрения генотип-средовой корреляции, является социо-экономический статус семьи, поскольку он отражает общее богатство и разнообразие среды ребенка, являющееся необходимым условием для генотип-средовой корреляции. Связь между социо-экономическим статусом и вкладом генетических факторов в индивидуальные различия когнитивных способностей была обнаружена, в частности в работе Туркхаймер и др. (Turkheimer et al., 2003) на выборке близнецов семи лет. В семьях с низким социо-экономическим статусом вклад генетических факторов и факторов общей среды составил, соответственно, 10% и 58%, в семьях с высоким социо-экономическим статусом 72% и 15%. Аналогичный результат обнаруживается как в раннем детстве (Tucker-Drob et al., 2011), так и в подростковом возрасте (Harden et al., 2007). Обзор Туркхаймера и Хорн (Turkheimer, E. E. Horn, 2014) показал, что монозиготные близнецы из обеспеченных семей демонстрируют более высокое внутриварное сходство, чем монозиготные близнецы из бедных семей. За счет этого повышается как абсолютный, так и относительный вклад генов в вариацию интеллекта.

Однако в исследовании на основе выборки TEDS (Hanscombe et al., 2012) такого эффекта обнаружено не было (напротив, у близнецов десяти лет наследуемость интеллекта оказалась отрицательно связана с социо-экономическим статусом). Вместе с тем, была обнаружена корреляция между социо-экономическим статусом и эффектами общей среды: в семьях с низким достатком факторы общей среды вносят больший вклад в вариацию интеллекта. Это соответствует предшествующим исследованиям. Социо-экономический статус рассматривался как элемент семейной среды в исследовании Харт и др. (Hart et al., 2007). Было обнару-

жено, что из 46% и 30% вариации интеллекта, относящейся к факторам семейной среды в 6 и 7 лет, 5% и 3%, соответственно, относится к социо-экономическому статусу. Социо-экономический статус объясняет также 4% из 36% стабильности интеллекта, относящейся к общей среде.

Сложные взаимодействия между генами и средой приводят к тому, что средовые переменные также оказываются связаны с генетической вариацией. В частности, два молекулярно-генетических исследования показали, что около 20% вариации социо-экономического статуса связано с генетическими факторами (Marrioni et al., 2014; Trzaskowski et al., 2014). Часть генетической вариации социо-экономического статуса также связана с генетической вариацией интеллекта: генетическая корреляция составляет 0,18–0,29.

Исследования генотип-средовой корреляции представляют особую важность, поскольку генотип-средовая корреляция отражает механизмы, опосредующие трансляцию генотипа в фенотип. Для описания этого процесса используется биопсихологическая модель человеческого развития (Bronfenbrenner, Ceci, 1994). С точки зрения биопсихологической модели, генетический потенциал актуализируется в фенотипе посредством проксимальных процессов. Проксимальный процесс – это усложняющееся взаимодействие между активным человеческим организмом и окружающей средой: людьми и предметами, знаками в его непосредственном окружении. Проксимальные процессы приводят к эффективному развитию только в том случае, когда они стабильны и регулярны на протяжении длительного времени. Форма, сила, содержание и направление проксимальных процессов определяется характеристиками индивида, непосредственной и удаленной средой, а также ожидаемыми результатами (целью) развития. Поскольку генетический потенциал актуализируется посредством проксимальных процессов, степень его проявления также зависит от перечисленных факторов.

На ранних этапах развития проксимальные процессы опосредованы взаимодействием ребенка и родителя, поэтому эффективность развития связана с особенностями детско-родительского взаимодействия. Посредством родителя ребенок также взаимодействует с общесемейной средой и макросредой. Макросреда (внесемейная среда) играет роль в тех случаях, когда развитие требует ресурсов, учебных материалов, знаний и умений со стороны родителя. Дети из бедных семей при том же уровне проксимальных процессов достигают меньших результатов развития (к примеру, у родителей с низким уровнем образования могут возникать трудности, когда необходимо помочь ребенку с домашним заданием).

Значительный негативный эффект на развитие оказывают события, нарушающие непрерывность проксимальных процессов. Эти события могут быть как внутрисемейные, так и внесемейные. Роль внесемейной среды в когнитивном развитии ребенка демонстрируется в представленных выше исследованиях связи между социо-экономическим статусом и компонентами вариации когнитивных способностей.

Исследования генотип-средовой корреляции демонстрируют взаимную направленность и роль проксимальных процессов в когнитивном развитии. Так, в исследовании Такер-Дроба и Харден (Tucker-Drob, Harden, 2012) было показано, что в раннем детстве когнитивная стимуляция со стороны родителей имеет положительный опосредствованный средой эффект на последующий уровень способностей ребенка к чтению. В свою очередь, способности ребенка к чтению положительно связаны с последующей когнитивной стимуляцией со стороны родителей посредством генов. Таким образом, происходит раскрытие генетического потенциала в фенотипе.

В контексте биопсихологической модели развития лонгитюдное кросс-культурное исследование близнецов приобретает особый смысл. С одной стороны, оно предоставляет информацию о вкладе генов и среды в вариацию когнитивных способностей и об изменении этого вклада. С другой стороны, за счет кросс-культурного аспекта оно вводит дополнительную вариацию факторов среды. К примеру, биопсихологическая модель предсказывает, что в условиях материального достатка рост вклада генетических факторов в вариацию когнитивных способностей будет более выражен, чем в условиях бедности (Tucker-Drob et al., 2013; Turkheimer, E. E. Horn, 2014). Процесс амплификации генов будет более выраженным в богатых средовых условиях.

Проведенный обзор исследований позволяет прийти к следующим выводам. Как социально значимый признак, интеллект всегда находился в фокусе внимания исследователей. Значительную часть исследований индивидуальных различий интеллекта составляют психогенетические исследования. Обзор близнецовых исследований интеллекта показывает, что в среднем не менее 50% изменчивости интеллекта связано с генами. Однако оценки вклада генов и среды не являются постоянными величинами и варьируют от исследования к исследованию в зависимости от возрастной группы и популяции.

Наследуемость интеллекта увеличивается с возрастом: 30% в раннем детстве, 45% в раннем школьном возрасте, 60% в подростковом и 70% в раннем

взрослом возрасте. Лонгитюдные генетически чувствительные исследования показывают, что начиная с дошкольного возраста генетические факторы индивидуальных различий интеллекта высокостабильны. Это означает, что рост наследуемости интеллекта связан не с включением новых генов на каждом последующем этапе развития, а с увеличением относительного вклада одних и тех же генов – амплификацией. Этот эффект относят к генотип-средовой корреляции: индивидуальные различия в интеллекте нельзя рассматривать как сумму генетических и средовых эффектов, поскольку когнитивное развитие сопровождается приспособлением условий среды в соответствии с генетическими предрасположенностями ребенка.

Отдельные авторы предполагают, что генотип-средовая корреляция отражает механизмы, опосредующие трансляцию генотипа в фенотип. Исследование генотип-средовой корреляции переносит акцент с генотипа ребенка на характеристики среды, которые способствуют или препятствуют проявлению генетических предрасположенностей в фенотипе. Это обуславливает актуальность генетически чувствительного кросс-культурного исследования: некоторые характеристики макросреды не варьируют (или слабо варьируют) внутри популяции и, следовательно, не могут быть изучены с точки зрения индивидуальных различий. К таким характеристикам макросреды относятся особенности учебных программ, средний достаток семьи, культурно-специфические способы взаимодействия детей с родителями, язык.

Массив рассмотренных исследований индивидуальных различий интеллекта дает основание утверждать, что кросс-культурное лонгитюдное исследование близнецов – это перспективное средство исследования процессов, лежащих между генотипом и фенотипом.

Глава 2. Методы и методология исследования

2.1 Характеристика выборки и организация исследования

С целью исследования роли макросредовых особенностей при формировании структуры индивидуальных различий интеллекта в выборку были включены данные близнецов из России и Великобритании. Данные были предоставлены Российским школьным близнецовым регистром и Исследованием раннего развития близнецов (Twins Early Development Study, TEDS) с соблюдением всех этических норм психологического исследования. В общей сложности в выборку вошли 215 близнецовых пар из России (121 МЗ и 94 ДЗ) и 3174 пар из Великобритании (1673 МЗ и 1501 ДЗ). Подробная информация о количестве данных и возрастном и половом составе выборке представлена в Таблице 2.1.

Российские близнецы проходили тестирование дважды в 1994–2001 гг. в возрасте 13 и 16 лет. В первом тестировании средний возраст составил 12,82 года (ст. откл. 0,97 года), во втором тестировании – 16,05 года (ст. откл. 0,35 года). В исследование вошли только однополые близнецовые пары, из них 54% юноши, 64 – девушки. В двух этапах тестирования поучаствовали 143 близнецовые пары.

Таблица 2.1

Количество близнецовых пар, принявших участие в исследовании

	МЗ (# пар)	ДЗ (# пар)	Всего (# пар)	% мальчиков/ % девочек	Возраст М (SD)	Возрастной диапазон
Россия						
Первое тестирование	119	90	209	55%/45%	12,82 (0,97)	12–15 лет
Второе тестирование	78	71	149	48%/52%	16,05 (0,35)	15–18 лет
Лонгитюдные данные	76	67	143	49%/51%		
Всего	121	94	215	54%/46%		
Великобритания						
Первое тестирование	1304	1123	2427	39%/61%	14,04 (0,60)	12–15 лет
Второе тестирование	1007	889	1896	40%/60%	16,48 (0,27)	15–18 лет
Лонгитюдные данные	638	511	1149	37%/63%		
Всего	1673	1501	3174	41%/59%		

Примечание: М (SD) = среднее и стандартное отклонение.

Таблица 2.2

Характеристики макросреды в России и Великобритании на момент первого тестирования близнецов

	Россия (1994)	Великобритания (2007)
Индекс человеческого развития ¹	0,701	0,892
Валовой национальный доход на душу населения ²	\$5 710	\$35 530
Средняя продолжительность школьного обучения ¹	9,9 года	12,6 года

Примечание: 1 – по данным Отчета о человеческом развитии ООН (<http://hdr.undp.org/en/data>);
2 – по данным Всемирного банка (<https://data.worldbank.org/indicator>)

Данные британских подростков относятся к близнецовому регистру TEDS – репрезентативной выборке близнецов, объединяющей данные более 15 000 пар. Близнецы опрашивались многократно с раннего детства до позднего взрослого возраста. В целях сравнения из выборки TEDS были отобраны близнецовые пары, выполнившие когнитивные тесты в 14 и 16 лет (далее эта выборка близнецов будет обозначаться как «выборка из Великобритании»). В первом тестировании средний возраст составил 14,04 года (ст. откл. 0,60 года), во втором тестировании средний возраст составил 16,48 года (ст. откл. 0,27 года). В выборку были отобраны только однополые близнецовые пары, юноши составили 41% выборки, девушки – 59%. В двух этапах тестирования участвовали 1149 близнецовых пар, тестирование проводилось в 2007–2012 гг.

Зиготность близнецов из России и Великобритании определялась с помощью опросника (Cohen et al., 1973; Nichols, Bilbro, 1966). Опросник включает в себя ряд вопросов, оценивающих сходство близнецов на основе внешних признаков (черты лица, цвет и структура волос, цвет глаз) и то, как часто их путают родители, другие члены семьи и друзья. Такие опросники показывают высокую точность при определении зиготности близнецов. В частности, на выборке TEDS совпадение оценки зиготности на основе опросника и с помощью ДНК-маркеров составило более 95% (Price et al., 2000b).

Состав выборки позволил ввести в исследование вариацию факторов макросреды. В Таблице 2.2 представлены ключевые характеристики макросреды на момент первого тестирования близнецов. Индекс человеческого развития – это интегральный показатель, объединяющий данные об уровне жизни, грамотности, образованности и долголетия населения страны. Валовой доход на душу населе-

ния характеризует уровень экономического развития и, как следствие, средний уровень благосостояния в стране. Наконец, средняя продолжительность школьного обучения выступает важной характеристикой школьной среды, будучи тесно связанной с индивидуальными различиями интеллекта (Deary et al., 2007; Lynn, Mikk, 2007). Представленные показатели наглядно демонстрируют разницу в среднем уровне благосостояния в России и Великобритании на момент первого тестирования близнецов. Это позволило нам утверждать, что обнаруженные в исследовании кросс-культурные различия действительно могут быть отнесены к разнице в уровне макросредовых условий.

2.2 Используемые методики для оценки интеллекта

Для оценки индивидуальных различий интеллекта на выборке российских близнецов использовалась методика Векслера. В первом тестировании использовалась третья редакция шкалы Векслера для детей (Wechsler Intelligence Scale for Children-III, WISC-III, Wechsler, 1991) в адаптации А. Ю. Панасюка (Панасюк, 1973; Филимонок, Тимофеев, 1992). Во втором тестировании использовалась третья версия шкалы Векслера для взрослых (Wechsler Adult Intelligence Scale-III, WAIS-III, Wechsler, 1997), адаптированная в Санкт-Петербургском психоневрологическом научно-исследовательском институте им. В. М. Бехтерева (Филимонок, Тимофеев, 1991).

Третья версия методики Векслера включает одиннадцать субтестов, оценивающих вербальные и невербальные способности:

Вербальные субтесты оценивают словарный запас и общую осведомленность, оперирование вербальным (текстовым и числовым) материалом, логическое мышление:

Осведомленность (Information). Субтест состоит из 30 вопросов об общеизвестных фактах (например, «Сколько у тебя ушей?») и диагностирует уровень простых знаний. Ответ дается в свободной форме. За каждый правильный ответ начисляется один балл.

Понятливость (Comprehension). Субтест состоит из 14 вопросов общего характера, касающихся бытовых и социальных ситуаций (например, «Что ты будешь делать, если порежешь себе палец?»). Ответ дается в свободной форме. За

правильный ответ начисляется один или два балла. Субтест диагностирует понимание обобщенных закономерностей и правил социального поведения, оценивает практичность мышления.

Арифметика (Arithmetic). Субтест состоит из 16 арифметических задач возрастающей сложности (например, «Сосчитать все кубики в ряду»). На выполнение одного задания дается от 30 секунд до двух минут в зависимости от сложности задания. За каждый правильный ответ начисляется один балл. Субтест оценивает умение и скорость выполнения арифметических операций, уровень произвольного внимания и рабочей памяти.

Сходство (Similarities). Субтест состоит из 15 заданий, в которых нужно найти аналогию или объяснить сходство между словами (например, «Лимоны кислые, а сахар... сладкий»). За правильный ответ в задании с аналогией начисляется один балл, за правильный ответ в задании со сходством начисляется один или два балла. Субтест оценивает умение выделять существенные признаки сходства в паре понятий, диагностирует способность к логическому обобщению, абстрагированию и классификации, развитие понятийного мышления.

Запоминание цифр (Digit Span). Респондент должен повторять числовые ряды длиной от трех до девяти цифр в прямом и обратном порядке (в общей сложности две серии по 14 рядов). Оценка за прямой и обратный счет равна наибольшей длине полностью воспроизведенного ряда в соответствующем виде счета. Общий балл по субтесту равен сумме баллов за прямой и обратный счет. Субтест диагностирует вербальный компонент рабочей памяти.

Словарный запас (Vocabulary). Респондента просят объяснить значение 40 слов (например, «велосипед», «нож»). В каждом задании испытуемый получает до двух баллов в зависимости от полноты ответа. Субтест оценивает объем словарного запаса, специфику мышления.

Невербальные субтесты оценивают базовые когнитивные функции (рабочую память, внимание), способность оперировать зрительным материалом, операции анализа и синтеза:

Шифровка (Coding). Респондент вписывает символы в таблицу в соответствии с ключом (в ключе каждой фигуре соответствует цифра). Оценка равна количеству правильно заполненных знаков, время выполнение ограничено двумя минутами. Субтест диагностирует концентрацию, распределение и переключение внимания, восприятие, зрительно-моторную координацию, зрительную рабочую память.

Недостающие детали (Picture Completion). Субтест состоит из 20 картинок с недостающими деталями. Респондент должен назвать отсутствующую деталь или показать ее на картинке. За каждый правильный ответ начисляется один балл, время выполнения каждого задания ограничено 15 секунд. Субтест оценивает способность зрительного узнавания и умение отделять существенное от второстепенного.

Кубики Коса (BlockDesign). Респондента просят сложить по образцу семь фигур из кубиков с раскрашенными гранями. За правильный ответ начисляется до семи баллов в зависимости от времени выполнения. Субтест диагностирует способность к анализу и синтезу и пространственное воображение;

Последовательные картинки (Picture Arrangement). Респондент должен восстановить сюжет по картинкам и разложить их в правильной последовательности (всего семь заданий). За правильный ответ начисляется до семи баллов в зависимости от времени выполнения. Субтест оценивает умение выделять сюжет, объединять части смыслового сюжета в целое, ориентироваться в социальной ситуации.

Складывание фигур (Object Assembly). Респондента просят сложить фигуры из деталей (всего четыре фигуры) и назвать их. Если респондент правильно сложил фигуру, балл начисляется в зависимости от времени выполнения. В обратном случае начисляется половина или один балл за каждое соединение. Субтест диагностирует способность к анализу и синтезу, соотнесению частей и целого.

В оригинальной методике Векслера баллы по субшкалам приводятся к шкале со средним 10 и стандартным отклонением 3 на основе возрастных норм. Баллы по основным шкалам (вербальный, невербальный, общий интеллект) приводятся к шкале со средним 100 и стандартным отклонением 15. Русскоязычная адаптация методики Векслера не нормировалась на российской выборке, поэтому значения средних и стандартных отклонений отличаются от указанных (значения представлены в Таблице 3.3).

На выборке британских близнецов в первом тестировании вербальные способности оценивались с помощью субтеста «Словарь» из шкалы Векслера для детей (Kaplan et al., 1999). Во втором тестировании вербальные способности оценивались с помощью словарной шкалы Милл Хилл (Mill Hill Vocabulary Scale, Raven, Court, 1998), аналогичной субтесту «Словарь». Невербальные способности и в первом, и во втором тестировании оценивались с помощью сокращенной версии методики «Стандартные прогрессивные матрицы Равена» (Raven, Court,

1998). Показатель общего интеллекта на выборке британских близнецов вычислялся как среднее значение стандартизированных баллов по вербальному и невербальному тестам.

Уровень интеллекта у подростков из двух стран оценивался с помощью двух разных наборов тестов, однако исследования показывают, что индивидуальные различия интеллекта, получаемые таким образом, совпадают (W. Johnson et al., 2004; 2008). Поэтому сравнение индивидуальных различий и их структуры в нашем исследовании представляется правомерным.

2.3 Метод близнецов

Количественная генетика как направление генетики поведения ставит вопрос о величине вклада генетических и средовых факторов в изменчивость человеческих признаков (Малых и др., 2008; Plomin et al., 2008).

К генетическим факторам индивидуальных различий относят аддитивные и неаддитивные генетические факторы. *Аддитивные генетические факторы (A)* представляют набор генетических вариантов в одном или разных локусах, каждый из которых вкладывает в фенотип независимо от другого. Эффекты отдельных генетических вариантов суммируются, т. е. создается аддитивный эффект. В этом случае эффект генов описывается линейной регрессией. Аддитивные генетические факторы увеличивают сходство более похожих генетически родственников.

Неаддитивные генетические факторы (D) описывают неаддитивные эффекты, связанные с доминантностью аллелей и эпистазом. При доминантном эффекте один аллель (доминантный) маскирует эффект другого (рецессивного) в том же локусе. За счет взаимодействия аллелей такие генетические варианты связаны с фенотипом нелинейно. Аллели в разных локусах также могут взаимодействовать, создавая эффект эпистаза. Эпистаз – еще один источник нелинейных генетических эффектов. Неаддитивные генетические факторы в семейных исследованиях увеличивают сходство генетически похожих родственников в большей степени, чем аддитивные.

К средовой изменчивости в генетике поведения относят всю изменчивость фенотипа, которая не связана с генами. Изменчивость среды разделяют на факто-

ры семейной среды и факторы индивидуальной среды. К факторам общей среды (С) относят все факторы среды, которые делают членов одной семьи более похожими. К таким факторам относятся, например, достаток семьи, образовательные ресурсы, стиль воспитания. Напротив, факторы индивидуальной среды (Е) – это средовые факторы, снижающие сходство членов семьи. В качестве таких факторов могут выступать индивидуальные жизненные события, индивидуальные особенности восприятия средовых условий, специфика взаимодействия между сиблингами, а также между детьми и их родителями. Также к индивидуально-специфичным факторам относят случайную (ошибочную) вариацию, вносимую средствами измерения и оценки фенотипов.

Многие модели семейных исследований опираются на предположение о независимом вкладе генов и среды в фенотип, однако это не всегда так (Plomin, 2014; Plomin et al., 1977). В частности, понятие *генотип-средовой корреляции* описывает ситуацию, когда индивид попадает в такие условия среды, которые наиболее соответствуют его генетическим предрасположенностям. В случае пассивной генотип-средовой корреляции, ребенок «наследует» не только гены, но и определенные условия среды, с которыми связан фенотип (Hanscombe et al., 2012; Marioni et al., 2014; Trzaskowski et al., 2014). Так, люди с более высоким интеллектом делают более успешную карьеру и больше зарабатывают. Ребенок таких родителей получит, с одной стороны, генетическую предрасположенность к более высокому интеллекту и, с другой стороны, более богатую среду. В случае реактивной генотип-средовой корреляции соответствие между генами и средой устанавливается как ответ среды на поведение, связанное с генами. Как правило этот эффект обеспечивается родителями ребенка, которые, замечая предрасположенности ребенка, организуют отвечающую им среду. Наконец, при активной генотип-средовой корреляции человек сам создает среду, наиболее отвечающую его предрасположенностям.

Об эффекте *генотип-средового взаимодействия* говорят в тех случаях, когда эффект генов проявляется только при определенных условиях среды. Как правило, это стрессовые факторы (химические вещества, жизненные события), запускающие экспрессию определенного гена (Boomsma, N. G. Martin, 2002; Manuck, McCaffery, 2014). В частности, было обнаружено, что у детей, подвергшихся жестокому обращению в детстве, наблюдается антисоциальное поведение, но только в том случае, когда генотип содержит аллель гена, приводящего к снижению экспрессии моноамин оксидазы А (MAOA, Caspi et al., 2002). Анало-

гично, в стрессовых условиях индивиды с коротким промоторным участком гена транспортера серотонина (5-ННТ) чаще демонстрируют симптомы клинической депрессии (Caspi et al., 2003).

Таким образом, общая фенотипическая изменчивость складывается из:

1. Генетической изменчивости (аддитивные и неаддитивные генетические факторы);
2. Средовой изменчивости (факторы общей и индивидуальной среды);
3. Компонентов генотип-средовой корреляции и взаимодействия.

Первые и наиболее распространенные методы количественной оценки вклада генов и среды в изменчивость человеческих признаков основаны на сравнении фенотипического сходства родственников разной степени родства. К таким методам относят разновидности близнецового метода, исследования приемных детей. Семейные методы количественной генетики основаны на информации о степени генетического сходства разных групп родственников (M. Neale, Cardon, 1992). В частности, близнецы могут разделять 100% или 50% генетической вариации (монозиготные и дизиготные близнецы, соответственно), сиблинги разделяют в среднем 50% генетической вариации, дети и их биологические родители также разделяют 50% генетической вариации. Дети и приемные родители в среднем не имеют общей генетической вариации. Также семейные методы используют допущения о сходстве средовых факторов, связанных с фенотипом. Так, предполагается, что родственники, живущие в одной семье (близнецы, сиблинги, дети и их родители) разделяют изменчивость общей среды. Напротив, индивиды, живущие в разных семьях (разлученные близнецы, приемные дети и их биологические родители) не разделяют изменчивость общей среды.

Таким образом, сходство биологических родственников связано с разделяемой генетической изменчивостью и разделяемой изменчивостью факторов семейной среды (если они живут в одной семье). Сходство биологически не связанных родственников связано с факторами общей среды (если они живут в одной семье). Допущения о генетическом сходстве и сходстве среды позволяют оценить вклад генетических и средовых факторов в изменчивость фенотипа на основе измеренного сходства признака у разных групп родственников. Остановимся подробнее на том, как это осуществляется в классическом варианте метода близнецов.

Метод близнецов основан на сравнении сходства признака у монозиготных и дизиготных близнецов (Falconer, 1965; Rijdsdijk, Sham, 2002). *Монозиготные* (однойяцевые) близнецы развиваются из одной оплодотворенной яйцеклетки и име-

ют идентичный набор генетической информации (разделяют 100% генетической изменчивости). *Дизиготные* (разнойцевые) близнецы развиваются из двух разных яйцеклеток и имеют ту же степень генетического сходства, что и сиблинги (разделяют в среднем 50% генетической изменчивости). Следовательно, генетические факторы делают монозиготных близнецов более похожими друг на друга, чем дизиготных. В то же время и монозиготные, и дизиготные близнецы полностью разделяют изменчивость общей среды. Общая среда в равной степени увеличивает сходство и монозиготных, и дизиготных близнецов.

Структура индивидуальных различий и внутрипарного сходства выглядит следующим образом:

$$\text{Фенотипическая изменчивость: } V = A + C + E$$

$$\text{Сходство монозиготных близнецов: } cov(MZ) = A + C$$

$$\text{Сходство дизиготных близнецов: } cov(DZ) = 0,5 \cdot A + C$$

Фенотипическая изменчивость представлена показателем вариации переменной фенотипа, сходство монозиготных близнецов представлено показателем ковариации переменных фенотипа у первого и второго близнеца. Модель, допускающая, что индивидуальные различия фенотипа формируются при участии аддитивных генетических факторов, факторов общей среды и факторов индивидуальной среды, называется *ACE моделью*. Компоненты фенотипической изменчивости вычисляются на основе системы уравнений:

$$\text{Аддитивные генетические факторы: } A = 2 \cdot [cov(MZ) - cov(DZ)]$$

$$\text{Факторы общей среды: } C = 2 \cdot cov(DZ) - cov(MZ)$$

$$\text{Факторы индивидуальной среды: } E = V - A - C = V - cov(MZ)$$

Часто для оценки внутрипарного сходства используется показатель корреляции:

$$1 = A\% + C\% + E\%$$

$$cor(MZ) = A\% + C\%$$

$$cor(DZ) = 0,5 \cdot A\% + C\%$$

Такое представление позволяет вычислить относительный вклад генетических факторов, факторов индивидуальной и общей среды:

$$A_{\%} = 2 \cdot [cor(MZ) - cor(DZ)]$$

$$C_{\%} = 2 \cdot cor(DZ) - cor(MZ)$$

$$E_{\%} = 1 - A_{\%} - C_{\%} = 1 - cor(MZ)$$

Относительные вклады генов и среды могут быть также представлены как отношение абсолютных вкладов к общей вариации фенотипа:

$$A_{\%} = A/V$$

$$C_{\%} = C/V$$

$$E_{\%} = E/V$$

Показатель $A_{\%}$ – относительный вклад генов в индивидуальные различия признака – также называется *наследуемостью* признака (также обозначается h^2).

Другой вариант близнецовой модели включает в себя неаддитивную генетическую изменчивость (D). Стандартная близнецовая модель содержит только три известных показателя (фенотипическая вариация, ковариация МЗ близнецов, ковариация ДЗ близнецов), на основе которых можно вычислить не более трех компонент. Поэтому при включении в модель компонента неаддитивной генетической изменчивости исключается компонент общей среды. Модель, включающая аддитивные генетические факторы, неаддитивные генетические факторы и факторы индивидуальной среды, называется *ADE моделью*. Система уравнений, определяющая эту модель, принимает вид:

$$V = A + D + E$$

$$cov(MZ) = A + D$$

$$cov(DZ) = 0,5 \cdot A + 0,25 \cdot D$$

Решение системы уравнений:

$$A = 4 \cdot cov(DZ) - cov(MZ)$$

$$D = 2 \cdot [cov(MZ) - 2 \cdot cov(DZ)]$$

$$E = V - A - D = V - cov(MZ)$$

В выражении через корреляцию:

$$1 = A_{\%} + D_{\%} + E_{\%}$$

$$\text{cor}(MZ) = A_{\%} + D_{\%}$$

$$\text{cor}(DZ) = 0,5 \cdot A_{\%} + 0,25 \cdot D_{\%}$$

$$A_{\%} = 4 \cdot \text{cor}(DZ) - \text{cor}(MZ)$$

$$D_{\%} = 2 \cdot [\text{cor}(MZ) - 2 \cdot \text{cor}(DZ)]$$

$$E_{\%} = 1 - A_{\%} - D_{\%} = 1 - \text{cor}(MZ)$$

Как правило, модель ADE используется в тех случаях, когда сходство МЗ близнецов значительно превышает сходство ДЗ близнецов (более чем вдвое), поскольку модель ACE такого различия не допускает.

Классический близнецовый метод использует следующие допущения:

1. По исследуемому признаку близнецы не отличаются от популяции. Возможное отличие близнецов от популяции может быть обусловлено спецификой близнецовой ситуации развития. В частности, в речевом развитии близнецы часто отстают от своих одинокорожденных сверстников (Hay et al., 1987; Rutter, Redshaw, 1991; Rutter et al., 2003). Нарушение этого допущения снижает надежность оценок вклада генетических и средовых факторов.
2. Общая среда в равной степени подобна для МЗ и ДЗ близнецов. Нарушение этого допущения может быть связано с тем, что одни и те же факторы общей среды могут разделяться близнецами в разной степени. Так, МЗ близнецы часто фенотипически более похожи, чем ДЗ близнецы, поэтому по отношению к МЗ близнецам родители используют одинаковые методы воспитания, а по отношению к ДЗ близнецам – разные (Pam et al., 1996). Нарушение этого допущения приводит к переоценке вклада генов в индивидуальные различия фенотипа.
3. Отсутствуют взаимодействие и корреляция генов и среды. Вовлечение этих эффектов приводит к переоценке вклада генов, поскольку они приводят к увеличению сходства МЗ близнецов и уменьшению сходства ДЗ близнецов и, следовательно, к переоценке наследуемости фенотипа (Plomin et al., 1977).

4. Образование родительских пар происходит случайным образом (отсутствует *ассортативность* по исследуемому признаку). Это допущение позволяет предположить, что родители близнецов в среднем не имеют общей генетической вариации. Если допущение не выполняется, наличие общей генетической вариации приводит к увеличению генетического сходства ДЗ близнецов (более 50%, Mascie-Taylor, 1989; M. P. Watkins, Meredith, 1981). Следствием этого может быть преувеличение оценки вклада общей среды.

Допущения близнецового метода не всегда выполняются. В частности, по отношению к интеллекту описаны эффекты генотип-средовой корреляции и ассортативности (напр., Watson et al., 2004). Однако только данные близнецов не позволяют проверить эти допущения в каждом конкретном случае. Для этого необходима информация о фенотипе родителя, характеристиках среды и др.

2.4 Математический инструментарий генетики поведения: методы моделирования структурными уравнениями

В настоящее время в генетике поведения вычислительному подходу предпочитается моделирующий. Статистическое моделирование заключается в построении математической модели исследуемого явления и оценке ее параметров (Loehlin, 2004). Моделирующий подход предоставляет следующие возможности:

1. Оценка степени соответствия модели полученным в исследовании данным;
2. Сравнение альтернативных моделей;
3. Вычисление точности оценки параметров;
4. Проверка сложных гипотез о происхождении наблюдаемых явлений (построение и оценка параметров сложных моделей).

В генетике поведения наиболее распространены методы *моделирования структурными уравнениями*. Модель, построенная в рамках этого подхода, определяет переменные и связи между ними и изображается в форме *путевой диаграммы* (напр., Рисунок 2.1, Параграф 2.5). Переменные могут быть *наблюдаемыми* (изображаются прямоугольниками) или *латентными* (изображаются кругами). Значения наблюдаемых переменных измеряются в исследовании, вариация

латентных переменных оценивается на основе измеренных значений наблюдаемых переменных и связей между наблюдаемыми и латентными переменными. Связи между переменными могут быть *односторонними* (обозначаются прямыми односторонними стрелками) и *двусторонними* (обозначаются закругленными двусторонними стрелками). Односторонние связи означают, что вариация одной переменной линейным образом объясняет вариацию другой переменной. Двусторонние связи обозначают ковариацию двух переменных или вариацию одной переменной. Для каждой связи между переменными определена ее величина (сила связи), набор этих значений представляет собой *параметры* модели. Отсутствие связи равноценно связи нулевой величины.

В методе моделирования структурными уравнениями используется несколько способов определять модель:

1. Определение в форме путевой диаграммы;
2. Определение в форме системы линейных уравнений;
3. Определение в форме матричной алгебры.

Перечисленные способы определения модели взаимозаменяемы (могут быть переведены из одного в другой). Выбор способа определения модели зависит от специфики модели и используемого программного обеспечения.

Любое представление модели в конечном счете определяет ожидаемую матрицу ковариаций между наблюдаемыми переменными. Предполагается, что ковариация между двумя переменными модели объясняется их связями с другими переменными. Ковариация складывается из всевозможных путей от одной переменной к другой, построенных по следующим правилам (*правила Райта*):

1. На путевой диаграмме путь идет сначала по односторонним стрелкам вверх (против направления стрелки), затем через одну двустороннюю стрелку и далее по односторонним стрелкам вниз (по направлению стрелки).
2. Через каждую переменную путь может проходить только один раз.
3. Путь должен включать ровно одну двустороннюю стрелку.

Величина ковариации, относящаяся к данному пути, вычисляется как произведение величин входящих в него связей. Общая величина ковариации между двумя переменными вычисляется как сумма ковариаций, относящихся к всевозможным путям между этими переменными. Таким образом вычисляется матрица ковариаций между наблюдаемыми переменными, предсказанная моделью.

Качество модели оценивается через разницу между предсказанной и реальной матрицами ковариаций: модель хорошо объясняет данные, если предсказанная матрица ковариации мало отличается от реальной. Для количественного выражения качества модели используют *показатели соответствия*.

Сумма квадратов разностей реальных и ожидаемых ковариаций (хи-квадрат, χ^2). Чем меньше величина показателя, тем лучше модель объясняет данные. Используется при оценке параметров методом наименьших квадратов.

Функция правдоподобия отражает условную вероятность получить наблюдаемые данные (реальная матрица ковариаций или отдельные наблюдения) на основе модели с заданными параметрами. Предсказанная матрица ковариаций задает многомерное нормальное распределение, используемое для оценки вероятности полученных реальных значений. Соответствие (правдоподобие) модели тем выше, чем больше значение функции правдоподобия. Функция правдоподобия используется для оценки параметров методом максимального правдоподобия (в том числе методом максимального правдоподобия с полной информацией). Метод максимального правдоподобия – наиболее распространенный способ оценки параметров модели при моделировании структурными уравнениями. Однако он позволяет получить адекватные оценки параметров только в том случае, когда наблюдаемые переменные соответствуют многомерному нормальному распределению. Поэтому на этапе подготовки данных производится удаление выбросов и преобразование переменных, не соответствующих нормальному распределению.

Сумма квадратов и функция правдоподобия используются для нахождения (оценки) свободных параметров модели. Первоначальное значение показателя соответствия вычисляется на основе заданных пользователем начальных значений свободных параметров. Затем в итеративном процессе значения свободных параметров изменяются таким образом, чтобы было достигнуто минимальное значение показателя соответствия модели. Поиск таких значений свободных параметров представляет собой задачу оптимизации.

Количество свободных параметров модели ограничено количеством данных, а именно, количеством измеренных вариаций и ковариаций. Если модель включает n наблюдаемых переменных, число измеренных вариаций и ковариаций составляет $n \cdot (n + 1) / 2$. Если количество свободных параметров превышает количество вариаций и ковариаций, модель не определена (произвести оценку параметров невозможно). Если количество свободных параметров равно количеству вариаций и ковариаций, модель определена (оценка параметров возможна).

Разница между количеством вариаций и ковариаций и количеством свободных параметров составляет *число степеней свободы*.

На основе данных можно оценить параметры целого набора разных моделей, однако модель не обязательно будет хорошо объяснять данные. Для принятия решения о соответствии модели данным используется критерий хи-квадрат (χ^2). Правдоподобие исследуемой модели сравнивается с правдоподобием *насыщенной модели* (Saturated model), свободно определяющей вариации и ковариации данных с максимальным числом степеней свободы. Разница показателей степеней свободы соответствует распределению хи-квадрат с количеством степеней свободы, равным разности количества степеней свободы моделей. Таким образом, если тест хи-квадрат показывает статистически значимое отличие ($p < 0,05$), модель считается не соответствующей данным. В обратном случае модель объясняет данные так же хорошо, как насыщенная.

Критерий хи-квадрат не принимает во внимание количество свободных параметров модели. Модель с большим количеством свободных параметров, как правило, лучше объясняет данные. Однако если две модели объясняют данные одинаково хорошо, предпочтение отдается той, которая содержит меньшее количество свободных параметров. Кроме того величина хи-квадрат связана с размером выборки. Для оценки качества модели с учетом этих соображений используется ряд других показателей соответствия:

1. *RMSEA* (Root Mean Square Error of Approximation, корень средней квадратной ошибки аппроксимации) – показатель оценивает, насколько хорошо модель аппроксимирует популяционные данные. Близкие к 0 значения соответствуют более качественной модели.
2. *AIC* (AkaikeInformationCriterion, информационный критерий Акаике) – представляет собой разницу между удвоенным количеством степеней свободы модели и значением хи-квадрат. *BIC* (Bayesian Information Criterion, информационный критерий Байеса) – аналогичен *AIC*, но также учитывает размер выборки. Большие значения *AIC* и *BIC* соответствует более экономной и лучше описывающей данные модели.
3. *CFI* (Comparative Fit Index, сравнительный индекс соответствия) – оценивает соответствие модели данным по сравнению с нулевой моделью (предполагающей отсутствие связей между наблюдаемыми переменными). *TLI* (Tucker-LewisIndex, индекс Такера-Льюиса) – аналог *CFI*, включающий поправку на количество степеней свободы исследуемой и нуле-

вой моделей. В отличие от CFI, TLI принимает во внимание количество свободных параметров исследуемой модели и размер выборки. Близкие к 1 значения CFI и TLI соответствуют более качественной модели.

Перечисленные показатели могут использоваться как для оценки качества моделей по отдельности, так и для сравнения разных моделей. Однако строгие критерии о сходстве или различии качества моделей отсутствуют. При сравнении некоторых моделей может быть использован критерий хи-квадрат. А именно, если модели являются *вложенными* по отношению друг к другу (одна модель может быть получена из другой путем установления ограничений на свободные параметры, разница их показателей соответствия соответствует распределению хи-квадрат с количеством степеней свободы равным разности количества степеней свободы моделей). Таким образом, если тест поддерживает нулевую гипотезу (отсутствие различия в качестве моделей), выбирается та, которая содержит меньшее количество параметров. В обратном случае предпочтение отдается той модели, которая лучше соответствует данным.

Сравнение вложенных моделей позволяет оценивать статистическую значимость отдельных свободных параметров путем последовательного наложения ограничений на каждый свободный параметр (приравнивание к 0). Если модель с ограничением соответствует данным так же хорошо, как полная модель, параметр можно зафиксировать (исключить) без утраты объяснительной способности модели. В обратном случае параметр исключить нельзя, говорят, что параметр статистически значимо отличается от нуля. В то же время при использовании небольших выборок тест по критерию хи-квадрат может давать высокий шанс ошибки второго рода: вывод об отсутствии связи при ее наличии в популяции.

Другой способ охарактеризовать полученную оценку параметра – вычисление доверительного интервала. Доверительный интервал – это диапазон значений параметра, в который данная оценка попадает с заданной вероятностью (на основе большого количества случайных выборок заданного размера). Как правило, используются 95% доверительные интервалы. Значения параметра, попадающие внутрь интервала, считаются равновероятными, в то время как значения, находящиеся за пределами интервала – маловероятными. Так, если 95% доверительный интервал какого-то параметра не включает значение 0, этот параметр статистически значимо отличается от 0 (сравнение вложенных моделей покажет аналогичный результат). Доверительный интервал показывает также точность полученной

оценки, поэтому рекомендуется включать в результаты моделирования наряду с оценками параметров модели.

2.5 Статистический анализ данных

Близнецовая модель, представленная методами моделирования структурными уравнениями, включает в себя две подмодели, соответствующие МЗ и ДЗ близнецам (Рисунок 2.1). Модель определяет измеренные переменные фенотипа у первого и второго близнеца из пары, а также набор латентных переменных, соответствующих генетическим и средовым факторам (Rijsdijk, Sham, 2002). Вклад генетических и средовых факторов в индивидуальные различия фенотипа определяется силой связи между соответствующими латентными переменными и наблюдаемыми фенотипическими переменными. Относительный вклад генов и среды вычисляется как отношение вариации, объясняемой соответствующими факторами к оценке фенотипической вариации.

Методы моделирования структурными уравнениями получили широкое распространение в генетике поведения, поскольку позволяют исследовать природу взаимосвязей между несколькими фенотипами (многопеременная близнецовая модель). Оценка вклада генов и среды во взаимосвязь между фенотипами основана на сравнении корреляций между одним признаком у первого близнеца и другим признаком у второго близнеца (cross-twin cross-trait correlation) у МЗ и ДЗ близнецов. По аналогии с вариацией, если корреляции различаются, связь обусловлена общими генетическими факторами, связанными с обоими признаками. В обратном случае связь обусловлена факторами среды.

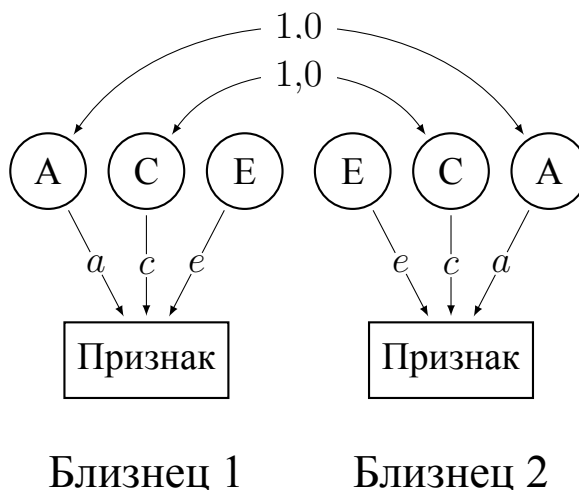
Многопеременная близнецовая модель определяется аналогично однопеременной:

$$\text{Матрица ковариаций МЗ: } cov(DZ) = \begin{pmatrix} A + C + E & A + C \\ A + C & A + C + E \end{pmatrix}$$

$$\text{Матрица ковариаций ДЗ: } cov(DZ) = \begin{pmatrix} A + C + E & A + C \\ A + C & A + C + E \end{pmatrix}$$

A , C , E – матрицы, определяющие генетические и средовые компоненты вариации и ковариации для одного близнеца.

Монозиготные близнецы



Дизиготные близнецы

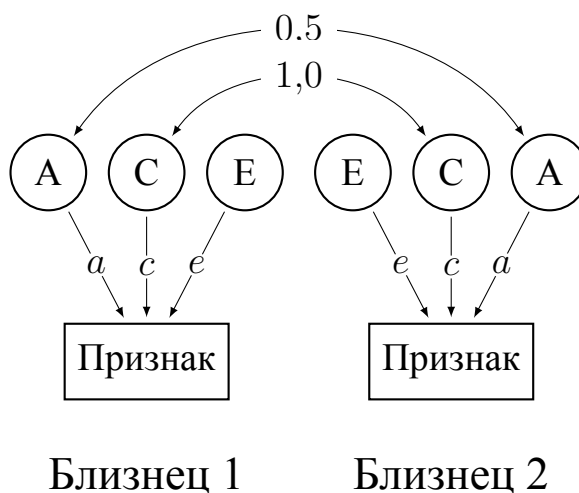
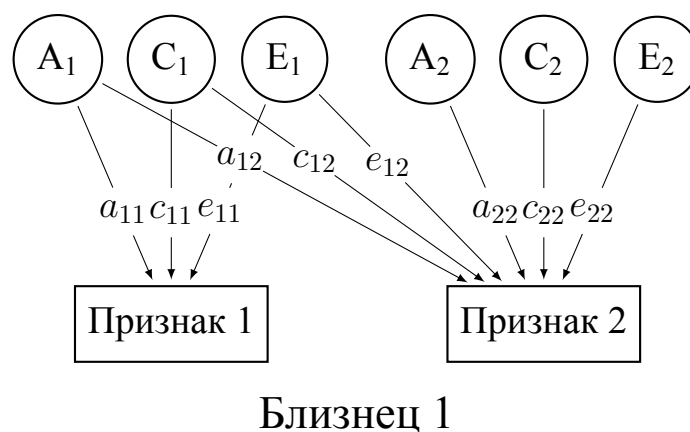


Рисунок 2.1 — Путевая диаграмма, соответствующая однопеременной близнецовой модели

Первые работы, исследующие вопрос генетических и средовых источников стабильности и изменения индивидуальных различий человеческих признаков, использовали *модель Холецкого* (Рисунок 2.2, Loehlin, 1996). Модель Холецкого с двумя фенотипическими переменными выделяет 1) генетические и средовые факторы, которые полностью объясняют вариацию первой переменной и частично второй, 2) генетические и средовые факторы, связанные только со второй переменной. Первые предоставляют оценку стабильности, вторые – оценку изменения фенотипа.



$$a = \begin{pmatrix} a_{11} & 0 \\ a_{12} & a_{22} \end{pmatrix}; c = \begin{pmatrix} c_{11} & 0 \\ c_{12} & c_{22} \end{pmatrix}; e = \begin{pmatrix} e_{11} & 0 \\ e_{12} & e_{22} \end{pmatrix};$$

$$A = a * a^t = \begin{pmatrix} a_{11}^2 & a_{11}a_{12} \\ a_{11}a_{12} & a_{12}^2 + a_{22}^2 \end{pmatrix};$$

$$C = c * c^t = \begin{pmatrix} c_{11}^2 & c_{11}c_{12} \\ c_{11}c_{12} & c_{12}^2 + c_{22}^2 \end{pmatrix};$$

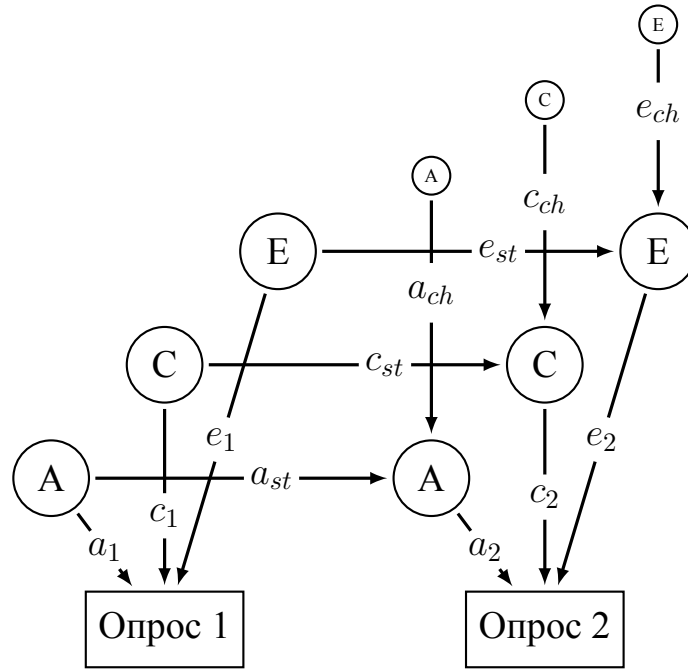
$$E = e * e^t = \begin{pmatrix} e_{11}^2 & e_{11}e_{12} \\ e_{11}e_{12} & e_{12}^2 + e_{22}^2 \end{pmatrix};$$

Рисунок 2.2 — Путевая диаграмма модели Холецкого и ее определение в матричной форме

В данной работе используется лонгитюдная близнецовая модель, которая призвана оценить стабильность и изменение генетических и средовых источников индивидуальных различий интеллекта. Эта задача решается на основе лонгитюдных близнецовых данных интеллекта в двух тестированиях. В качестве индикатора вклада генетических и средовых факторов в стабильность индивидуальных различий интеллекта выступает соотношение корреляций между интеллектом одного близнеца в первом опросе и интеллектом второго близнеца в другом опросе у МЗ и ДЗ близнецов. Различие корреляций свидетельствует о роли генетических факторов, сходство – о роли общей среды.

Модель, использованная в данной работе, включает два набора генетических и средовых факторов (АСЕ), соответствующих первому и второму тестированиям (Рисунок 2.3). Генетическая и средовая вариация, обуславливающая индивидуальные различия интеллекта во втором опросе, частично объясняется со-

ответствующими факторами первого тестирования (стабильность) и частично – специфическими для второго тестирования факторами (инновации). Данная модель эквивалентна двухпеременной модели Холецкого (параметры одной могут быть вычислены на основе параметров другой).



Близнец 1

$$\mathbf{T}_A = \begin{pmatrix} a_1 & 0 \\ 0 & a_2 \end{pmatrix}; \mathbf{T}_C = \begin{pmatrix} c_1 & 0 \\ 0 & c_2 \end{pmatrix}; \mathbf{T}_E = \begin{pmatrix} e_1 & 0 \\ 0 & e_2 \end{pmatrix};$$

$$\mathbf{S}_A = \begin{pmatrix} 1 & 0 \\ 0 & a_{ch} \end{pmatrix}; \mathbf{S}_C = \begin{pmatrix} 1 & 0 \\ 0 & c_{ch} \end{pmatrix}; \mathbf{S}_E = \begin{pmatrix} 1 & 0 \\ 0 & e_{ch} \end{pmatrix};$$

$$\mathbf{A}_A = \begin{pmatrix} 0 & 0 \\ a_{st} & 0 \end{pmatrix}; \mathbf{A}_C = \begin{pmatrix} 0 & 0 \\ c_{st} & 0 \end{pmatrix}; \mathbf{A}_E = \begin{pmatrix} 0 & 0 \\ e_{st} & 0 \end{pmatrix};$$

$$A = \mathbf{T}_A * (I - \mathbf{A}_A)^{-1} * \mathbf{S}_A * (I - \mathbf{A}_A)^{-1t} * \mathbf{T}_A;$$

$$C = \mathbf{T}_C * (I - \mathbf{A}_C)^{-1} * \mathbf{S}_C * (I - \mathbf{A}_C)^{-1t} * \mathbf{T}_C;$$

$$E = \mathbf{T}_E * (I - \mathbf{A}_E)^{-1} * \mathbf{S}_E * (I - \mathbf{A}_E)^{-1t} * \mathbf{T}_E;$$

Рисунок 2.3 — Путевая диаграмма лонгитюдной близнецовой модели и ее определение в матричной форме

Лонгитюдная близнецовая модель определялась в форме сетчатой модели действий (Reticular Action Model, RAM, McArdle, McDonald, 1984). В общем виде RAM модель определяется следующим образом:

$$\mathbf{C} = \mathbf{F} \cdot (\mathbf{I} - \mathbf{A})^{-1} \cdot \mathbf{S} \cdot (\mathbf{I} - \mathbf{A})^{-1\top} \cdot \mathbf{F}^\top$$

где \mathbf{I} – единичная матрица, \mathbf{S} – матрица, задающая двухсторонние связи (вариации и ковариации), \mathbf{A} – матрица, задающая односторонние связи, \mathbf{F} – матрица-фильтр, указывающая на измеряемые переменные. Матрица \mathbf{C} , вычисленная таким образом, представляет собой предсказанную матрицу ковариаций.

Представление лонгитюдной близнецовой модели на основе RAM модели представлено на Рисунке 2.3. Для облегчения стандартизации параметров диагональные элементы матриц \mathbf{S}_A , \mathbf{S}_C , \mathbf{S}_E (вариации) были установлены равными 1. Таким образом, \mathbf{A} - и \mathbf{S} -матрицы непосредственно представляли стандартизированные оценки связей между генетическими и средовыми компонентами переменных.

Относительный вклад генов и среды в вариацию фенотипических переменных (аналог однопеременных оценок) вычислялся как $A^{i,i} / (A^{i,i} + C^{i,i} + E^{i,i})$, $C^{i,i} / (A^{i,i} + C^{i,i} + E^{i,i})$, $E^{i,i} / (A^{i,i} + C^{i,i} + E^{i,i})$, где i обозначает положение элемента в матрице. Относительный вклад генетических и средовых факторов в стабильность и изменение фенотипа (доля связи между переменными i и j , относящаяся к генетическим и средовым факторам) вычислялся следующим образом:

$$\mathbf{A}_{A\%}^{i,j} = \frac{\mathbf{T}_A^{i,i} \mathbf{A}_A^{i,j} \mathbf{T}_A^{j,j}}{\mathbf{T}_A^{i,i} \mathbf{A}_A^{i,j} \mathbf{T}_A^{j,j} + \mathbf{T}_C^{i,i} \mathbf{A}_C^{i,j} \mathbf{T}_C^{j,j} + \mathbf{T}_E^{i,i} \mathbf{A}_E^{i,j} \mathbf{T}_E^{j,j}}$$

$$\mathbf{A}_{C\%}^{i,j} = \frac{\mathbf{T}_C^{i,i} \mathbf{A}_C^{i,j} \mathbf{T}_C^{j,j}}{\mathbf{T}_A^{i,i} \mathbf{A}_A^{i,j} \mathbf{T}_A^{j,j} + \mathbf{T}_C^{i,i} \mathbf{A}_C^{i,j} \mathbf{T}_C^{j,j} + \mathbf{T}_E^{i,i} \mathbf{A}_E^{i,j} \mathbf{T}_E^{j,j}}$$

$$\mathbf{A}_{E\%}^{i,j} = \frac{\mathbf{T}_E^{i,i} \mathbf{A}_E^{i,j} \mathbf{T}_E^{j,j}}{\mathbf{T}_A^{i,i} \mathbf{A}_A^{i,j} \mathbf{T}_A^{j,j} + \mathbf{T}_C^{i,i} \mathbf{A}_C^{i,j} \mathbf{T}_C^{j,j} + \mathbf{T}_E^{i,i} \mathbf{A}_E^{i,j} \mathbf{T}_E^{j,j}}$$

$$\mathbf{S}_{A\%}^{i,j} = \frac{\mathbf{T}_A^{i,i} \mathbf{S}_A^{i,j} \mathbf{T}_A^{j,j}}{\mathbf{T}_A^{i,i} \mathbf{S}_A^{i,j} \mathbf{T}_A^{j,j} + \mathbf{T}_C^{i,i} \mathbf{S}_C^{i,j} \mathbf{T}_C^{j,j} + \mathbf{T}_E^{i,i} \mathbf{S}_E^{i,j} \mathbf{T}_E^{j,j}}$$

$$S_{C\%}^{i,j} = \frac{T_C^{i,i} S_C^{i,j} T_C^{j,j}}{T_A^{i,i} S_A^{i,j} T_A^{j,j} + T_C^{i,i} S_C^{i,j} T_C^{j,j} + T_E^{i,i} S_E^{i,j} T_E^{j,j}}$$

$$S_{C\%}^{i,j} = \frac{T_E^{i,i} S_E^{i,j} T_E^{j,j}}{T_A^{i,i} S_A^{i,j} T_A^{j,j} + T_C^{i,i} S_C^{i,j} T_C^{j,j} + T_E^{i,i} S_E^{i,j} T_E^{j,j}}$$

Оценки фенотипической стабильности и изменения интеллекта были получены на основе фенотипической лонгитюдной модели с использованием выборки, включавшей одного близнеца из пары.

Подготовка и анализ данных осуществлялись средствами системы статистического программирования R (R Core Team, 2016). Выбор обусловлен тем, что система обладает открытым кодом, свободно распространяется и может быть расширена подключением пакетов функций. R обладает функционалом для считывания и компоновки данных, исправления ошибочных значений в данных, исследования распределения переменных, исключения выбросов, базового анализа данных (в частности, для сравнения средних, дисперсионного анализа, корреляционного анализа), компоновки и вывода таблиц с результатами, построения графиков и диаграмм.

Для моделирования структурными уравнениями использовался пакет OpenMx (M. C. Neale et al., 2015). Пакет позволяет определять модели в RAM и матричной форме, задавать пользовательские функции правдоподобия, вводить ограничения на оцениваемые параметры, вычислять доверительные интервалы. Примеры определения моделей с помощью OpenMx приводятся в Приложениях А и Б.

Для облегчения и автоматизации обработки и анализа близнецовых данных был разработан набор функций, позволяющий выполнять следующие задачи:

1. Переформатирование таблицы данных в форму, пригодную для близнецового анализа (два близнеца в одной строке), проверка переменных ID и зиготности.
2. Вычисление описательных статистик по данному фенотипу.
3. Определение насыщенной модели, проверка допущений близнецовой модели (равенство средних и вариаций внутри близнецовой пары и между группами по зиготности), стандартизация данных, внесение поправок (например, по полу и возрасту).

4. Определение близнецовой модели, оценка параметров близнецовой модели с автоматическим формированием таблиц результатов.
5. Определение и оценка параметров вложенных моделей, сравнение вложенных моделей.
6. Определение произвольных типов близнецовых моделей.
7. Анализ статистической мощности при близнецовом анализе.

Обработка и анализ данных в текущем исследовании включал следующие этапы:

1. Подготовка таблицы данных, проверка нормальности распределения переменных на основе гистограмм.
2. Оценка надежности русскоязычной адаптации методики Векслера. Согласованность суб-шкал оценивалась на основе показателя альфа-Кронбаха. Для проверки факторной структуры методики был произведен факторный анализ методом главных компонент с выделением одного фактора (общий интеллект) и двух факторов (вербальный и невербальный интеллект). Также методики.
3. Вычисление описательных статистик (среднее и стандартное отклонение), оценка половых и возрастных различий, оценка фенотипической стабильности показателей. Половые различия оценивались на основе t-теста, произведенного на выборке одного близнеца из близнецовой пары. Возрастные различия оценивались на основе линейной регрессии также на выборке одного близнеца из близнецовой пары. На основе этого анализа принималось решение об исключении вариации, связанной с полом и возрастом (McGue, Bouchard Jr., 1984).
4. Вычисление внутриспарных близнецовых корреляций внутри и между опросами.
5. Оценка параметров однопеременных близнецовых моделей. Общее соответствие однопеременных близнецовых моделей оценивалось путем сравнения с соответствующими однопеременными насыщенными моделями на основе критерия хи-квадрат.
6. Оценка параметров лонгитюдных близнецовых моделей. Общее соответствие лонгитюдных близнецовых моделей оценивалось путем сравнения с соответствующими двухпеременными насыщенными моделями на основе критерия хи-квадрат.

7. Оценка кросс-культурных различий между параметрами лонгитюдных моделей. Для оценки кросс-культурных различий была выполнена серия сравнений вложенных моделей. Модели сравнивались на основе критерия хи-квадрат: статистически значимые различия интерпретировались как значительное (недопустимое) отклонение модели от данных. Основой сравнения выступила *гетерогенная модель*, включающая в себя две независимые модели для российской и британской выборок и допускающая полный набор кросс-культурных различий. В целях общей оценки правдоподобия гетерогенная модель сравнивалась с *насыщенной моделью*. Далее на первом этапе сравнения параметры модели (генетические и средовые факторы при первом и втором опросе, а также их стабильность) поочередно устанавливались равными в двух моделях, что соответствовало отсутствию кросс-культурных различий по данному параметру. Статистически значимое отличие вложенной модели от гетерогенной модели интерпретировалось как свидетельство кросс-культурных различий по соответствующему параметру. Обратное интерпретировалось как отсутствие кросс-культурных различий. На втором этапе сравнения была определена *полугомогенная модель*, которая включала в себя кросс-культурные различия только по параметрам, показавшим статистически значимые различия на предыдущем этапе, а также *гомогенная модель*, утверждавшая отсутствие кросс-культурных различий. Полугомогенная модель и гомогенная модель также сравнивались с гетерогенной моделью по критерию хи-квадрат.

Глава 3. Кросс-культурное исследование генетических и средовых источников стабильности индивидуальных различий интеллекта

3.1 Оценка надежности русскоязычной версии методики Векслера

Поскольку информация о психометрических характеристиках русскоязычной адаптации методики Векслера, использованной для оценки интеллекта на выборке российских близнецов, была недоступна, в рамках диссертационной работы проводился факторный и корреляционный анализ баллов по основным шкалам и субтестам методики, а также проведена оценка внутренней согласованности шкал вербального, невербального и общего интеллекта (Таблицы 3.1 и 3.2).

Шкалы вербального и общего интеллекта показали высокую согласованность (более 0,80). Согласованность шкал невербального интеллекта составила 0,72 и 0,68 в первом и втором тестировании. При факторном анализе первый фактор (общий интеллект) объяснил 37% и 36% в первом и втором тестировании, соответственно. Паттерн факторных нагрузок при выделении двух факторов соответствует ожидаемому разделению субтестов на вербальные и невербальные. Исключением выступили субтесты «Шифровка» и «Недостающие детали», которые оказались сильнее связаны с фактором вербального интеллекта в первом и втором тестировании, и субтест «Запоминание цифр», который оказался сильнее связан с фактором невербального интеллекта во втором тестировании. Однако паттерн корреляций между субтестами и основными шкалами соответствует заложенной факторной структуре: вербальные субтесты сильнее связаны со шкалой вербального интеллекта, невербальные субтесты – со шкалой невербального интеллекта. Таким образом, русскоязычная адаптация шкалы Векслера, используемая в данном исследовании, может считаться надежным средством оценки вербального, невербального и общего интеллекта.

Таблица 3.1

Результаты факторного анализа батареи тестов Векслера на выборке российских подростков

	Первое тестирование			Второе тестирование		
	FSIQ	VIQ	PIQ	FSIQ	VIQ	PIQ
Надежность (альфа-Кронбаха)	0,859	0,839	0,715	0,843	0,828	0,678
Осведомленность	0,793	0,844	−0,021	0,742	0,774	−0,009
Понятливость	0,554	0,639	−0,097	0,718	0,687	0,080
Арифметика	0,648	0,493	0,257	0,590	0,467	0,179
Сходство	0,813	0,747	0,121	0,725	0,787	−0,047
Запоминание цифр	0,712	0,825	−0,083	0,299	<i>0,119</i>	0,224
Словарный запас	0,467	0,425	0,071	0,854	0,918	−0,020
Шифровка	0,481	0,431	<i>0,081</i>	0,414	0,260	<i>0,207</i>
Недостающие детали	0,574	0,473	<i>0,130</i>	0,454	0,309	<i>0,217</i>
Кубики Коса	0,535	−0,036	0,889	0,603	−0,022	0,885
Последовательные картинки	0,569	0,185	0,558	0,391	0,200	0,238
Складывание фигур	0,436	0,150	0,411	0,525	0,073	0,610
% объясненной дисперсии	37,3%			35,7%		

Примечание: FSIQ = общий интеллект, VIQ = вербальный интеллект, PIQ = невербальный интеллект. Жирным шрифтом выделено распределение субтестов по шкалам вербального и невербального интеллекта. Курсивом выделены субтесты, отнесенные по результатам факторного анализа к другой шкале.

3.2 Описательные статистики и фенотипическая стабильность интеллекта и частных когнитивных способностей

Описательные статистики по показателям интеллекта и частных когнитивных способностей представлены в Таблицах 3.3 и 3.4. На российской выборке баллы по шкалам интеллекта WISC-III (первое тестирование) соответствуют нормативным показателям. Сравнение средних показателей по субтестам между юношами и девушками показало значимые различия по субтестам «Шифровка» (в пользу юношей) и «Складывание фигур» (в пользу девушек) в первом опросе и «Арифметика» (в пользу юношей), «Шифровка» (в пользу девушек) и «Кубики

Таблица 3.2

Корреляции между баллами по субтестам и показателями вербального, невербального и общего интеллекта

	Первое тестирование			Второе тестирование		
	FSIQ	VIQ	PIQ	FSIQ	VIQ	PIQ
Осведомленность	0,787	0,846	0,523	0,754	0,825	0,451
Понятливость	0,633	0,700	0,389	0,717	0,761	0,457
Арифметика	0,668	0,696	0,482	0,661	0,736	0,380
Сходство	0,799	0,825	0,569	0,724	0,769	0,458
Запоминание цифр	0,732	0,821	0,440	0,408	0,451	0,242
Словарный запас	0,511	0,563	0,314	0,810	0,851	0,532
Шифровка	0,543	0,426	0,576	0,518	0,344	0,632
Недостающие детали	0,631	0,487	0,679	0,496	0,348	0,573
Кубики Коса	0,592	0,399	0,723	0,671	0,485	0,764
Последовательные картинки	0,622	0,426	0,740	0,459	0,316	0,526
Складывание фигур	0,518	0,347	0,631	0,614	0,406	0,755

Примечание: FSIQ = общий интеллект, VIQ = вербальный интеллект, PIQ = невербальный интеллект. Жирным шрифтом выделено распределение субтестов по шкалам вербального и невербального интеллекта.

Коса» (в пользу юношей) во втором тестировании. Возрастных различий внутри первого и второго тестирований обнаружено не было. В близнецовом анализе побочные переменные, такие как возраст и пол, могут вносить систематическую ошибку в оценки вклада генов и среды, в том случае, когда они связаны с исследуемым признаком. Поэтому принято решение исключить вариацию, связанную с полом путем извлечения остатков при регрессии показателей на возраст (McGue, Bouchard Jr., 1984). На выборке близнецов из Великобритании не было обнаружено различий, связанных с полом, но были обнаружены различия, связанные с возрастом. Было принято решение исключить вариацию, связанную с полом и возрастом, перед применением близнецовых моделей.

У российских подростков вербальный, невербальный и общий интеллект показали высокий уровень стабильности индивидуальных различий между первым и вторым тестированием (0,72, 0,67 и 0,72, соответственно, Таблица 3.4). Стабильность частных когнитивных способностей, представленных баллами по

Таблица 3.3

Описательные статистики показателей интеллекта и частных когнитивных способностей в первом тестировании (среднее и стандартное отклонение)

	Нормы	Все	Девушки	Юноши
Россия				
Осведомленность	11,8 (3,4)	10,11 (3,78)	9,69 (3,47)	10,46 (4,00)
Понятливость	10,0 (2,6)	11,41 (4,28)	11,38 (4,39)	11,43 (4,21)
Арифметика	11,8 (2,6)	10,42 (3,09)	9,96 (3,07)	10,79 (3,06)
Сходство	10,2 (3,2)	12,25 (3,65)	12,17 (3,39)	12,32 (3,86)
Запоминание цифр	9,7 (3,2)	10,93 (4,31)	10,60 (4,24)	11,21 (4,36)
Словарный запас	12,0 (2,8)	10,18 (2,52)	10,41 (2,65)	9,99 (2,40)
Шифровка	10,4 (2,4)	11,34 (3,19)	10,73 (3,33)	11,84 (2,99)
Недостающие детали	10,8 (2,8)	10,54 (3,29)	10,28 (3,26)	10,76 (3,32)
Кубики Коса	11,7 (2,8)	13,02 (3,09)	12,62 (3,13)	13,35 (3,04)
Последовательные картинки	9,1 (1,6)	9,42 (3,16)	9,16 (3,05)	9,63 (3,24)
Складывание фигур	9,4 (2,2)	12,22 (3,43)	13,26 (3,39)	11,38 (3,24)
Вербальный интеллект	103,5 (16,6)	105,56 (17,07)	104,45 (16,95)	106,47 (17,19)
Невербальный интеллект	100,1 (9,6)	108,79 (13,96)	107,94 (14,21)	109,50 (13,78)
Общий интеллект	102,8 (9,4)	107,88 (15,36)	106,83 (15,37)	108,74 (15,37)
Великобритания				
Вербальный интеллект	—	41,17 (5,36)	41,20 (5,43)	41,13 (5,26)
Невербальный интеллект	—	13,93 (3,60)	13,89 (3,50)	13,98 (3,74)
Общий интеллект	—	0,00 (1,00)	0,00 (1,00)	0,01 (1,01)

Примечание: Выделены показатели, продемонстрировавшие статистически значимые половые различия ($p < 0,05$)

субтестам, варьировала в пределах от 0,03 («Шифровка») до 0,77 («Осведомленность»). Средняя стабильность баллов по субтестам составила 0,43.

На выборке близнецов из Великобритании стабильность индивидуальных различий вербального, невербального и общего интеллекта составила, соответственно, 0,42, 0,45 и 0,82. Высокий уровень фенотипической стабильности интеллекта дает основание для оценки ее генетических и средовых источников на основе лонгитюдной близнецовой модели.

Таблица 3.4

Описательные статистики показателей интеллекта и частных когнитивных способностей во втором тестировании (среднее и стандартное отклонение) и фенотипическая стабильность показателей

	Все	Девушки	Юноши	Стабильность [95%CI]
Россия				
Осведомленность	8,29 (2,97)	8,00 (2,80)	8,61 (3,13)	0,770 [0,693; 0,830]
Понятливость	9,01 (2,52)	9,25 (2,88)	8,74 (2,05)	0,387 [0,237; 0,519]
Арифметика	8,86 (2,58)	8,32 (2,50)	9,46 (2,55)	0,612 [0,497; 0,706]
Сходство	10,60 (2,55)	10,61 (2,41)	10,59 (2,71)	0,497 [0,361; 0,612]
Запоминание цифр	9,46 (2,30)	9,30 (2,29)	9,63 (2,31)	0,047 [-0,119; 0,211]
Словарный запас	10,71 (2,19)	10,68 (2,44)	10,76 (1,90)	0,376 [0,225; 0,510]
Шифровка	10,99 (2,79)	11,72 (3,14)	10,19 (2,09)	0,033 [-0,132; 0,197]
Недостающие детали	8,93 (1,66)	8,72 (1,72)	9,16 (1,58)	0,195 [0,031; 0,348]
Кубики Коса	12,49 (2,53)	12,06 (2,64)	12,96 (2,33)	0,727 [0,639; 0,797]
Последовательные картинки	7,71 (1,79)	7,51 (1,91)	7,93 (1,62)	0,075 [-0,091; 0,237]
Складывание фигур	9,07 (2,44)	8,82 (2,55)	9,36 (2,29)	0,254 [0,093; 0,402]
Вербальный интеллект	102,16 (10,83)	101,39 (11,26)	103,01 (10,35)	0,724 [0,634; 0,794]
Невербальный интеллект	100,36 (9,88)	99,74 (10,99)	101,04 (8,50)	0,668 [0,565; 0,750]
Общий интеллект	101,50 (9,83)	100,73 (10,84)	102,34 (8,60)	0,721 [0,631; 0,792]
Великобритания				
Вербальный интеллект	15,29 (4,19)	15,34 (4,22)	15,23 (4,14)	0,446 [0,395; 0,494]
Невербальный интеллект	13,98 (3,74)	13,89 (3,65)	14,14 (3,86)	0,629 [0,588; 0,667]
Общий интеллект	-0,01 (0,99)	-0,02 (0,99)	0,02 (1,01)	0,633 [0,591; 0,671]

Примечание: Выделены показатели, продемонстрировавшие статистически значимые половые различия ($p < 0,05$)

CI= 95% доверительный интервал

3.3 Вклад генетических и средовых факторов в индивидуальные различия интеллекта и частных когнитивных способностей

3.3.1 Первое тестирование

Внутрипарные корреляции близнецов и относительные вклады генетических и средовых факторов в индивидуальные различия интеллекта в первом тестировании представлены в Таблице 3.5. Близнецовая модель ACE, включающая

аддитивные генетические факторы (А), факторы общей среды (С) и факторы индивидуальной среды (Е), предполагает, что сходство МЗ близнецов превышает сходство ДЗ близнецов не более чем вдвое. На российской выборке это допущение не соблюдается для субтестов «Недостающие детали» и «Кубики Коса». В таких случаях, как правило, используют модель АDE, включающую аддитивные генетические факторы (А), неаддитивные генетические факторы (D) и факторы индивидуальной среды (Е). Однако выборка данного исследования не предоставляет достаточной статистической мощности, чтобы утверждать, что такой паттерн корреляций не является результатом случайной ошибки.

Сходство ДЗ близнецов превысило сходство МЗ близнецов по шкале «Словарный запас», что также не предусматривается близнецовой моделью. Этот результат наиболее вероятно является следствием случайной ошибки, поскольку различие между корреляциями не превышает 0,10.

Паттерны внутриварных корреляций вербального, невербального и общего интеллекта на российской и британской выборках соответствуют допущениям ACE модели, поэтому в дальнейшем анализе ко всем фенотипическим переменным (основным шкалам интеллекта и субтестам) применялась ACE модель. Показатели соответствия одномерных близнецовых моделей представлены в Таблицах Г.1 и Г.2 Приложения Г.

На российской выборке оценки вклада генетических и средовых факторов в индивидуальные различия частных когнитивных способностей варьируют в широких пределах. В частности, не обнаружено вклада генетических факторов в индивидуальные различия по субтестам «Сходство» и «Словарный запас». Наибольший вклад генетических факторов показал субтест «Кубики Коса» (62%). В среднем вклад генетических факторов составил 19 – для вербальных субтестов, 37% – для невербальных субтестов и 27% – для всех субтестов вместе.

Не было обнаружено вклада факторов общей среды в индивидуальные различия по субтестам «Недостающие детали», «Кубики Коса», «Складывание фигур». Наибольший вклад факторов общей среды составил 58%: субтест «Сходство». В среднем вклад факторов общей среды составил 39% – для вербальных субтестов, 7% – для невербальных субтестов и 25% – для всех субтестов вместе.

Факторы индивидуальной среды также демонстрируют высокий разброс вкладов: от 27% («Осведомленность») до 76% («Шифровка»). В среднем вклад факторов индивидуальной среды составил 42% – для вербальных субтестов, 55% – для невербальных субтестов и 48% – для всех субтестов вместе.

Таблица 3.5

Внутрипарные близнецовые корреляции и структура индивидуальных различий интеллекта и частных когнитивных способностей в первом тестировании

	МЗ	ДЗ	А (%)	С (%)	Е (%)
Россия					
Осведомленность	0,739	0,559	33	40	27
Понятливость	0,520	0,466	10	41	48
Арифметика	0,532	0,373	27	25	48
Сходство	0,581	0,583	0	58	42
Запоминание цифр	0,665	0,439	43	22	34
Словарный запас	0,481	0,525	0	50	50
Шифровка	0,240	0,138	20	3	76
Недостающие детали	0,444	0,199	44	0	56
Кубики Коса	0,630	0,295	62	0	38
Последовательные картинки	0,392	0,357	4	34	62
Складывание фигур	0,611	0,326	56	0	44
Вербальный интеллект	0,781	0,675	21	57	22
Невербальный интеллект	0,643	0,331	62	2	36
Общий интеллект	0,771	0,617	30	47	23
Великобритания					
Вербальный интеллект	0,506	0,358	30	19	51
Невербальный интеллект	0,547	0,344	39	15	46
Общий интеллект	0,617	0,400	42	19	40

Примечание: Выделены статистически значимые вклады ($p < 0,05$)

А = аддитивные генетические эффекты, С = факторы семейной среды, Е = факторы индивидуальной среды

В отличие от частных когнитивных способностей, в структуре индивидуальных различий интеллекта преобладают генетические факторы и факторы общей среды. Вклад факторов общей среды в вариабельность вербального и общего интеллекта составил 57% и 47%, соответственно. Индивидуальные различия невербального интеллекта имеет незначительный общесредовой компонент (2%). Наследуемость вербального и общего интеллекта составила 21% и 30%, невербального – 62%.

Структура индивидуальных различий интеллекта на выборке британских близнецов отличается большей однородностью. Вклад факторов индивидуальной среды составил 40–51%, вклад факторов общей среды – 15–19%, генетических факторов – 30–42%.

Сравнение российских и британских близнецов свидетельствует о том, что среди средовых факторов на российской выборке преобладают факторы общей среды, на британской выборке – факторы индивидуальной среды. Генетические факторы вносят сопоставимый вклад на двух выборках, за исключением невербальных способностей в первом тестировании (62% на российской выборке и 39% на британской выборке).

3.3.2 Второе тестирование

Внутрипарные корреляции близнецов и относительные вклады генетических и средовых факторов в индивидуальные различия интеллекта и частных когнитивных способностей во втором тестировании представлены в Таблице 3.6. Допущения модели ACE во втором тестировании не выполняются по отношению к субтестам «Недостающие детали», «Последовательные картинки» и «Складывание фигур». По субтестам «Недостающие детали» и «Последовательные картинки» сходство ДЗ близнецов превысило сходство МЗ близнецов. Как и в случае первого тестирования, различие не превышает 0,1 и может быть отнесено к случайной ошибке. По субтесту «Складывание фигур» сходство МЗ близнецов превышает сходство ДЗ близнецов более чем в два раза, однако в дальнейшем было принято решение применять модель ACE ко всем субтестам. Размер выборки в нашем исследовании не позволяет достоверно оценить вклад неаддитивных генетических факторов в индивидуальные различия когнитивных способностей.

Во втором тестировании также наблюдается большой разброс вкладов генетических и средовых факторов в индивидуальные различия частных когнитивных способностей. Не обнаружено вклада генетических факторов в индивидуальные различия по субтестам «Арифметика», «Недостающие детали» и «Последовательные картинки». Наибольший вклад был обнаружен по субтесту «Складывание фигур» (52%). В среднем вклад генетических факторов составил 25 – для вербальных субтестов, невербальных субтестов и для всех субтестов вместе.

Таблица 3.6

Внутрипарные близнецовые корреляции и структура индивидуальных различий интеллекта и частных когнитивных способностей во втором тестировании

	МЗ	ДЗ	А (%)	С (%)	Е (%)
Россия					
Осведомленность	0,826	0,626	38	44	18
Понятливость	0,541	0,448	23	32	45
Арифметика	0,592	0,573	0	56	44
Сходство	0,673	0,506	33	34	33
Запоминание цифр	0,575	0,350	45	13	43
Словарный запас	0,732	0,686	9	64	27
Шифровка	0,756	0,597	42	33	25
Недостающие детали	0,298	0,365	0	31	69
Кубики Коса	0,702	0,493	33	35	32
Последовательные картинки	0,195	0,284	0	23	77
Складывание фигур	0,533	0,223	52	0	48
Вербальный интеллект	0,852	0,698	30	55	15
Невербальный интеллект	0,812	0,580	45	36	19
Общий интеллект	0,865	0,718	28	58	14
Великобритания					
Вербальный интеллект	0,496	0,364	26	24	50
Невербальный интеллект	0,558	0,350	41	14	45
Общий интеллект	0,596	0,386	42	18	40

Примечание: Выделены статистически значимые вклады ($p < 0,05$)

А = аддитивные генетические эффекты, С = факторы семейной среды, Е = факторы индивидуальной среды

Не обнаружено вклада факторов общей среды в индивидуальные различия по суб-тесту «Складывание фигур». Наибольший вклад факторов общей среды составил 64%: суб-тест «Словарный запас». В среднем вклад факторов общей среды составил 41% – для вербальных субтестов, 24% – для невербальных субтестов и 33% – для всех субтестов вместе.

Наконец, факторы индивидуальной среды также демонстрируют высокий разброс: от 18% («Осведомленность») до 77% («Последовательные картинки»). В

среднем вклад факторов индивидуальной среды составил 35% – для вербальных субтестов, 50% – для невербальных субтестов и 42% – для всех субтестов вместе.

Как и в первом тестировании, индивидуальные различия вербального и общего интеллекта оказались связаны преимущественно с факторами общей среды (55% и 58%, соответственно). Общая среда также объясняет 36% вариабельности невербального интеллекта, но основным источником индивидуальных различий невербального интеллекта выступили генетические факторы (45%). Наследуемость вербального и общего интеллекта составила 30% и 28%. Факторы индивидуальной среды вносят небольшой вклад в индивидуальные различия вербального, невербального и общего интеллекта: 15%, 19% и 14%, соответственно.

По сравнению с российской выборкой, на выборке британских подростков во втором тестировании наибольший вклад в индивидуальные различия интеллекта вносят факторы индивидуальной среды (40–50%). Остальная изменчивость вербальных способностей разделяется поровну между генетическими факторами и факторами общей среды. Невербальный и общий интеллект сильнее связаны с генетическими факторами: 41% и 42%, соответственно.

Во втором тестировании, как и в первом, изменчивость интеллекта у подростков из Великобритании сильнее связана с факторами индивидуальной среды, чем у российских подростков. Напротив, у российских подростков индивидуальные различия интеллекта сильнее связаны с факторами общей среды. Значительной разницы во вкладах генетических факторов не наблюдается.

3.4 Динамика структуры индивидуальных различий интеллекта в подростковом возрасте

Однопеременные оценки генетических и средовых вкладов в индивидуальные различия интеллекта и частных когнитивных способностей дают представление об изменении структуры индивидуальных различий этих признаков в подростковом возрасте (Таблицы 3.6 и 3.7).

Структура индивидуальных различий частных когнитивных способностей может значительно изменяться при переходе от среднего к старшему подростковому возрасту. Например, доля факторов индивидуальной среды в индивидуальных различиях по субтесту «Шифровка» падает от 76% до 25%. Вклад факторы

общей среды в вариабельность по субтестам «Кубики Коса», «Недостающие детали» и «Шифровка» растет от 0% до 30%.

В отличие от частных когнитивных способностей, структура индивидуальных различий вербального, невербального и общего интеллекта изменяется мало. На выборке российских подростков изменение генетических и средовых вкладов находится в пределах 10%, за исключением невербального интеллекта (вклад факторов общей среды 2% в первом тестировании и 36% – во втором). У подростков из Великобритании структура индивидуальных различий интеллекта продемонстрировала еще бóльшую стабильность: изменение генетических и средовых вкладов при переходе от среднего к старшему подростковому возрасту не превышает 5%.

Для оценки стабильности и изменения генетических и средовых источников индивидуальных различий интеллекта и частных когнитивных способностей применялась лонгитюдная близнецовая модель (Таблица 3.7). Из рассмотрения были исключены суб-тесты, показавшие низкую фенотипическую стабильность ($< 0,1$: «Запоминание цифр», «Шифровка», «Последовательные картинки»).

Было обнаружено, что генетические факторы, отвечающие за индивидуальные различия частных когнитивных способностей в среднем подростковом возрасте, сохраняют свой эффект и в старшем подростковом возрасте (Приложение В). Исключением стал субтест «Складывание фигур» (стабильность генетических факторов 0,27). Аналогичный результат получен для факторов общей среды (уровень стабильности 0,52–1,00). Напротив, факторы индивидуальной среды оказались в значительной степени специфичны в среднем и старшем подростковом возрасте: стабильность факторов индивидуальной среды не превышает 0,20.

Фенотипическая стабильность индивидуальных различий частных когнитивных способностей обусловлена генетическими факторами и факторами общей среды, сохраняющими свой эффект при переходе от среднего к старшему подростковому возрасту. Средний вклад генетических факторов составил 49%, вклад факторов общей среды – 37%. Факторы индивидуальной среды почти не сказываются на стабильности индивидуальных различий частных когнитивных способностей за высокой возрастной спецификой (вклад в фенотипическую стабильность в среднем 14%).

Как и частные когнитивные способности, интеллект оказался связан с одними и теми же генетическими факторами в среднем и старшем подростковом возрасте (Рисунок 3.1). Специфичные для возраста генетические факторы отсут-

Таблица 3.7

Динамика генетических и средовых факторов и их вклад в стабильность индивидуальных различий интеллекта и частных когнитивных способностей в подростковом возрасте

	A	A (%)	C	C (%)	E	E (%)	Фенотип.
Россия							
Осведомленность	1,00	47	0,83	46	0,26	7	0,770
Понятливость	1,00	59	0,66	35	0,08	6	0,387
Арифметика	1,00	40	0,92	46	0,20	14	0,612
Сходство	1,00	40	0,73	51	0,14	9	0,497
<i>Запоминание цифр</i>	<i>0,40</i>	<i>100</i>	<i>0,00</i>	<i>0</i>	<i>0,00</i>	<i>0</i>	<i>0,047</i>
Словарный запас	1,00	2	0,52	88	0,09	10	0,376
<i>Шифровка</i>	<i>0,40</i>	<i>58</i>	<i>0,57</i>	<i>27</i>	<i>0,07</i>	<i>15</i>	<i>0,033</i>
Недостающие детали	1,00	75	1,00	25	0,00	0	0,195
Кубики Коса	1,00	72	1,00	23	0,12	6	0,727
<i>Последовательные картинки</i>	<i>0,00</i>	<i>0</i>	<i>0,88</i>	<i>100</i>	<i>0,00</i>	<i>0</i>	<i>0,075</i>
Складывание фигур	0,27	62	0,99	0	0,20	38	0,254
Вербальный интеллект	1,00	38	0,79	55	0,32	7	0,724
Невербальный интеллект	1,00	82	0,78	11	0,18	6	0,668
Общий интеллект	1,00	43	0,79	51	0,30	7	0,721
Великобритания							
Вербальный интеллект	1,00	63	0,48	23	0,12	14	0,415
Невербальный интеллект	0,93	63	0,67	13	0,32	24	0,445
Общий интеллект	0,98	65	0,66	18	0,27	16	0,822

Примечание: А, С, Е = стабильность аддитивных генетических факторов, факторов семейной среды и факторов индивидуальной среды, А (%), С (%), Е (%) = относительный вклад аддитивных генетических факторов, факторов семейной среды и факторов индивидуальной среды в фенотипическую стабильность.

Курсивом выделены субтесты, исключенные из лонгитюдного анализа в связи с низкой их индивидуальных различий.

ствуют как на российской, так и на британской выборке (за исключением невербальных способностей у британских подростков во втором опросе: 6% специфических генетических факторов). Стабильность факторов общей среды составляет 25–50% на британской выборке и 60–65% на российской. Общие для среднего и старшего подросткового возраста факторы индивидуальной среды были обнаружены только для невербального интеллекта у британских подростков (5%).

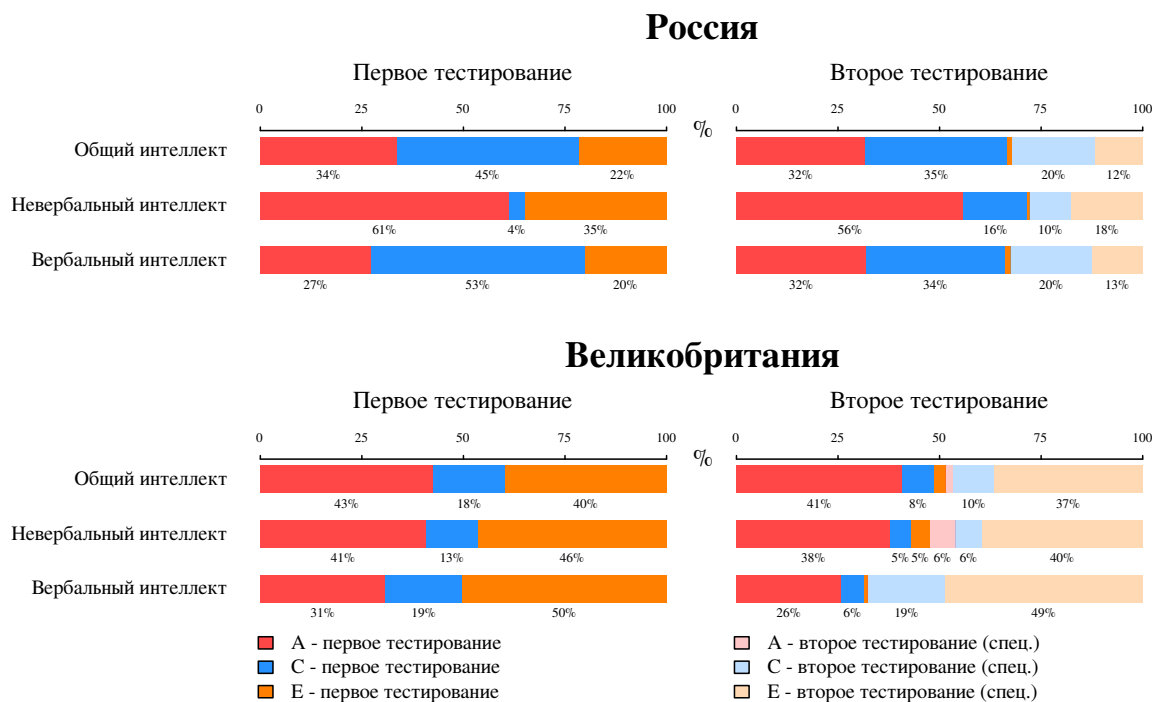


Рисунок 3.1 — Вклад генетических и средовых факторов в стабильность и изменение вербального, невербального и общего интеллекта

Таким образом, мы обнаружили, что в подростковом возрасте стабильность индивидуальных различий интеллекта объясняется наследственными факторами и факторами общей среды. Причем если у российских подростков эти факторы вносят равный вклад (за исключением невербального интеллекта), у подростков из Великобритании преобладают генетические эффекты.

3.5 Кросс-культурное сравнение структуры индивидуальных различий интеллекта и ее динамики в подростковом возрасте

Результаты кросс-культурного сравнения на основе вложенных моделей представлены в Таблице 3.8. По всем показателям интеллекта были обнаружены статистически значимые различия во вкладе факторов индивидуальной среды в среднем и старшем подростковом возрасте. Как было отмечено выше, факторы индивидуальной среды преобладают в структуре индивидуальных различий интеллекта у британских подростков, в то время как у подростков из России значительная часть индивидуальных различий вербального и общего интеллекта объ-

Таблица 3.8

Оценка кросс-культурных различий путем сравнения вложенных моделей

	Вербальный интеллект			Невербальный интеллект			Общий интеллект		
	ΔLL	Δdf	p	ΔLL	Δdf	p	ΔLL	Δdf	p
	Гетерогенная модель	20,361	34	0,969	20,938	34	0,961	20,099	34	0,972
A_1	0,000	1	0,999	1,236	1	0,266	0,448	1	0,503
C_1	6,514	1	0,011	0,244	1	0,621	3,748	1	0,053
E_1	42,849	1	0,000	4,402	1	0,036	17,376	1	0,000
A_2	0,222	1	0,638	0,448	1	0,503	0,706	1	0,401
C_2	4,456	1	0,035	0,613	1	0,434	6,643	1	0,010
E_2	48,738	1	0,000	22,834	1	0,000	34,883	1	0,000
$A_1 \rightarrow A_2$	0,000	1	1,000	0,399	1	0,528	0,000	1	0,998
$C_1 \rightarrow C_2$	1,433	1	0,231	0,023	1	0,879	0,313	1	0,576
$E_1 \rightarrow E_2$	3,893	1	0,048	1,628	1	0,202	0,000	1	0,999
Полугомогенная модель	11,590	4	0,021	29,120	7	0,000	49,633	4	0,000
Гомогенная модель	743,280	9	0,000	430,212	9	0,000	577,293	9	0,000

Примечание: ΔLL = разница показателей правдоподобия, Δdf = разница количества степеней свободы, p = уровень статистической значимости. Статистически значимые различия выделены полужирным шрифтом.

ясняется факторами общей среды. Наконец, в отношении вербального интеллекта было найдено различие в стабильности наследственных факторов: на российской выборке она составляет 0,32, на британской – 0,12. Это различие находится на границе статистической значимости ($p = 0,048$) и может быть ложноположительным результатом.

Сравнение полугомогенной и гомогенной моделей также показали статистически значимое отличие от гетерогенной модели, иными словами, при фиксации параметров равными в двух моделях общее качество моделей падает. Это означает, что хотя по многим параметрам лонгитюдной близнецовой модели обнаружить кросс-культурных различий не удалось, мы не можем утверждать, что эти различия действительно отсутствуют в популяции.

Таким образом, мы констатируем кросс-культурные различия в структуре индивидуальных различий интеллекта у подростков. А именно, у российских подростков индивидуальные различия и их стабильность связаны в меньшей степени с факторами индивидуальной среды и в большей степени с факторами общей сре-

ды. У британских подростков в структуре индивидуальных различий интеллекта преобладают факторы индивидуальной среды.

3.6 Обсуждение результатов

Целью диссертационного исследования выступило кросс-культурное сравнение структуры индивидуальных различий интеллекта, их стабильности и изменения в ходе когнитивного развития в подростковом возрасте. В связи с этим было произведено эмпирическое исследование, сочетающее метод близнецов, лонгитюдный дизайн и кросс-культурное сравнение. Для оценки интеллекта у российских подростков использовалась батарея тестов Векслера, широко применяемая в близнецовых исследованиях (Betjemann et al., 2010; Boomsma et al., 2002; Jacobs et al., 2001; Malykh et al., 2003; Silventoinen et al., 2012). Дополнительный анализ показал, что на выборке российских близнецов методика Векслера демонстрирует достаточный уровень надежности и согласованности шкал.

3.6.1 Анализ стабильности индивидуальных различий интеллекта и частных когнитивных способностей

В ходе исследования мы обнаружили, что индивидуальные различия интеллекта остаются высокостабильными при переходе от среднего к старшему подростковому возрасту независимо от условий макросреды (высокие оценки стабильности у подростков из России и Великобритании). Индивидуальные различия частных когнитивных способностей оказались в среднем менее стабильны и более изменчивы. Подобный паттерн результатов наблюдается во многих исследованиях по всему миру: в отличие от частных когнитивных способностей, индивидуальные различия интеллекта остаются стабильными в течение всей жизни человека (Deary et al., 2013; Magnusson, Bäckteman, 1978; Sameroff et al., 1993; Schwartzman et al., 1987).

Мы рассматриваем две вероятные причины, по которым индивидуальные различия интеллекта и частных когнитивных способностей показали разный уро-

вень стабильности в нашем исследовании. Во-первых, умеренные оценки стабильности частных когнитивных способностей могут быть связаны с тем, что индивидуальные траектории подростков расходятся в старшем подростковом возрасте в ходе когнитивного развития. При переходе к старшему подростковому возрасту значительно меняется контекст развития: в старшей школе возникает необходимость профессионального самоопределения и специализации. Как следствие, средовой контекст развития отдельных когнитивных способностей может сильно изменяться. В свою очередь, интеллект – это способность общего порядка, которая, согласно Р. Кеттеллу, может быть «инвестирована» в освоение знаний, умений и навыков в самых разных областях человеческой деятельности (R. V. Cattell, 1987; Kvist, Gustafsson, 2008). Поэтому индивидуальные различия интеллекта развиваются в гораздо более широком средовом контексте и остаются стабильными в течение всей жизни.

Другим источником разницы в оценках стабильности интеллекта и частных когнитивных способностей может выступать ошибка измерения, которая ограничивает оценку стабильности любого признака. Отдельные тесты как правило измеряют когнитивные способности менее точно, чем тестовые батареи. Это объясняется тем, что при переходе от баллов по отдельным субтестам к общему показателю интеллекта отсеивается значительная часть случайной изменчивости, связанной с конкретными условиями тестирования. В пользу такого объяснения свидетельствует различие стабильности индивидуальных различий общего интеллекта и частных когнитивных способностей в нашем исследовании. Заметим также, что у подростков из Великобритании оценка стабильности вербального интеллекта, представленного показателем словарного запаса, соотносится со стабильностью по субтесту «Словарь» у российских подростков.

Важность вопроса об ошибке измерения состоит в том, что в близнецовых исследованиях случайная изменчивость признака относится к факторам индивидуальной среды. Поэтому высокая ошибка измерения может не только ограничивать точность оценки генетических и средовых вкладов, но и искажать получаемую структуру индивидуальных различий. В ряде исследований вклад генетических и средовых факторов в вариацию фенотипа корректируется с учетом ошибки измерения. Другим способом отсева случайной вариации признака служит переход к многопеременным моделям, которые разделяют генетическую и средовую изменчивость нескольких признаков на общую и специфическую (Plomin, Deary, 2015; Rijdsdijk, Sham, 2002; Rijdsdijk et al., 2002). В нашем исследовании случайная

вариация частных когнитивных способностей была отфильтрована при вычислении показателей интеллекта на основе баллов по отдельным субтестам.

3.6.2 Структура индивидуальных различий интеллекта и частных когнитивных способностей в подростковом возрасте

Близнецовый метод позволило нам получить оценки генетических и средовых вкладов в индивидуальные различия интеллекта и частных когнитивных способностей в среднем и старшем подростковом возрасте. Структура индивидуальных различий частных когнитивных способностей, представленных баллами по субтестам шкалы Векслера, варьирует в широких пределах. Ее принципиальная специфика по сравнению с интеллектом выражается в высоком вкладе факторов индивидуальной среды. Это может быть связано, с одной стороны, с высокой долей случайной изменчивости при оценке частных когнитивных способностей на основе отдельных тестов и, с другой стороны, большей изменчивостью средового контекста, в котором происходит развитие частных когнитивных способностей. Вместе с тем, частные когнитивные способности и интеллект имеют сходное соотношение генетических и общесредовых источников индивидуальных различий. А именно, в структуре индивидуальных различий вербальных способностей и вербального интеллекта доминируют факторы общей среды, в структуре невербальных способностей и невербального интеллекта – наследственные факторы.

Наши результаты непосредственно сопоставляются с результатами исследования Rijdsijk et al. (2002), в котором батарея тестов Векслера также применялась на близнецах старшего подросткового (или раннего взрослого) возраста. Выборку составили 194 пары близнецов из Голландии (средний возраст 17,6 года, стандартное отклонение 0,54 года), оценка интеллекта производилась на основе WAIS-III. В целом, на голландской выборке вклад генетических факторов в изменчивость частных когнитивных способностей оказался выше по сравнению с российской. Средние показатели наследуемости составляют 65% – для вербальных субтестов, 47% – для невербальных субтестов и 57% – для всех субтестов в целом. Вклад факторов индивидуальной среды, напротив, выше на выборке российских близнецов.

Для исследования структуры индивидуальных различий когнитивных способностей Rijdsdijk et al. (2002) использовали модель, исключаящую факторы общей среды (АЕ), что означает, что полная вариация фенотипа распределяется между двумя компонентами вместо трех. Сравнение внутрипарных корреляций позволило прийти к выводу, что сходство в МЗ близнецов не различается, в то время как сходство ДЗ близнецов в исследовании Rijdsdijk et al. (2002) существенно ниже, чем в нашем по всем субтестам шкалы Векслера. Следовательно, разница в структуре индивидуальных различий когнитивных способностей не может объясняться спецификой применяемых моделей.

Кроме этого, низкое внутрипарное сходство ДЗ близнецов в исследовании Rijdsdijk et al. (2002) может быть следствием включения в выборку разнополых дизиготных пар, поскольку по многим субтестам сходство в разнополых близнецовых парах оказалось существенно ниже, чем в разнополых дизиготных парах. Следует заметить, что именно по этой причине оценки наследуемости интеллекта, полученные в нашем исследовании на выборке подростков из Великобритании, отличаются от тех, что были получены в другом исследовании на той же выборке: наследуемость интеллекта в исследовании Rimfeld et al. (2015) составила 56%.

Рассмотрение структуры индивидуальных различий частных когнитивных способностей – это важный источник информации о механизмах формирования индивидуальных различий интеллекта и когнитивной сферы в целом. Kan et al. (2013) сравнивали вклады генетических и средовых факторов в варибельность баллов по субтестам шкалы Векслера, обладающим большей или меньшей культурной нагрузкой. Авторам удалось продемонстрировать, что индивидуальные различия по субтестам, апеллирующим к конкретному приобретенному знанию (например, «Словарь» или «Общая осведомленность»), имеют более сильный генетический компонент по сравнению с субтестами, оценивающими индивидуальные различия базовых когнитивных характеристик («Запоминание цифр», «Шифровка»). Kan et al. (2013) объясняют этот результат тем, что в отношении культурно-специфичных вербальных способностей более выражены эффекты генотип-средовой корреляции. Такие способности считаются более социально значимыми и часто целенаправленно развиваются в процессе обучения. Следовательно, отвечающие им условия среды более разнообразны и чувствительны к индивидуальным особенностям. В ситуации, когда характеристики среды адаптиру-

ются к индивидуальным особенностям индивида, мы наблюдаем высокие оценки наследуемости в исследованиях близнецов.

В нашем исследовании вербальный интеллект и вербальные способности оказались в меньшей степени связаны с генетическими факторами, чем невербальные, причем как у российских, так и у британских подростков. Этот результат противоречит тому, что был получен Kan et al. (2013), тем не менее он может вписываться в контекст современных представлений о сложных процессах взаимодействия между индивидуальными особенностями и актуальными характеристиками среды при формировании индивидуальных различий когнитивной сферы. Во-первых, высокие оценки наследуемости вербальных способностей в исследовании Kan et al. (2013) являются конечным результатом когнитивного развития, в то время как у подростков из нашего исследования многие когнитивные способности и характеристики на момент тестирования только развивались. В подростковом возрасте структура индивидуальных различий когнитивных способностей может значительно изменяться. Во-вторых, исследования структуры индивидуальных различий интеллекта в семьях с разным уровнем материального достатка свидетельствуют о том, что чувствительность непосредственной среды индивида может быть связана с эффектами среды более общего порядка (Harden et al., 2007; Turkheimer, E. E. Horn, 2014)

3.6.3 Динамика структуры индивидуальных различий интеллекта и частных когнитивных способностей в среднем и старшем подростковом возрасте

Сравнивая структуру индивидуальных различий интеллекта и частных когнитивных способностей в среднем и старшем подростковом возрасте, мы обнаружили, что соотношение генетических и средовых факторов вербального, невербального и общего интеллекта мало меняется при переходе от среднего к старшему подростковому возрасту. Напротив, структура индивидуальных различий частных когнитивных способностей более изменчива. Мы предполагаем, что низкая стабильность и высокая вариабельность структуры индивидуальных различий частных когнитивных способностей имеют одну и ту же природу. А именно, у подростков значительная часть изменчивости частных когнитивных способно-

стей связана с генетическими и средовыми факторами, эффекты которых могут существенно изменяться в ходе развития индивида.

Хотя частные когнитивные способности показали существенную вариацию структуры индивидуальных различий при переходе от среднего подросткового возраста к старшему, динамика соответствующих генетических и средовых факторов в значительной степени совпадает и повторяет динамику генетических и средовых факторов вербального, невербального и общего интеллекта. Уже начиная с детского возраста – и это ясно прослеживается в нашей работе – генетические источники индивидуальных различий интеллекта фиксируются, и изменение наследуемости происходит за счет эффектов негенетической природы (Bartels et al., 2002; Brant et al., 2009; Davis et al., 2009; Hart et al., 2007; Malykh et al., 2003; Petrill et al., 2004; Plomin et al., 1994; Plomin, 1986; Plomin, Petrill, 1997; Polderman et al., 2006; Tucker-Drob, Briley, 2014; Van Soelen et al., 2011). Этот эффект находит выражение в высокой стабильности генетических факторов в среднем и старшем подростковом возрасте. Не удивительно, что именно генетические факторы объясняют основную часть наблюдаемой стабильности интеллекта и частных когнитивных способностей.

Высокая стабильность генетических факторов в подростковом возрасте также вписывается в представление о генах общего эффекта (*generalist genes*) как об основном источнике генетической вариации когнитивных способностей. Гены общего эффекта призваны объяснять общую генетическую вариацию различных когнитивных способностей. Предполагается, что гены когнитивных способностей имеют множественный (плейотропный) эффект на характеристики областей мозга, каждая из которых, в свою очередь, связана с различными когнитивными функциями (Kovas, Plomin, 2006; Plomin et al., 2007). В близнецовых исследованиях об общем эффекте генов свидетельствуют общая генетическая вариация, разделяемая рядом когнитивных характеристик, сходные паттерны изменения вклада генов и среды в индивидуальные различия когнитивных характеристик, генетическая коморбидность проблем обучения (Plomin, Kovas, 2005).

Дальнейшее исследование с применением лонгитюдной близнецовой модели с включением латентного фактора общего интеллекта позволит проверить, действительно ли сходные паттерны стабильности и изменения генетических и средовых источников частных когнитивных способностей связаны со стабильностью одних и тех же генов (генов общего эффекта).

Наши результаты свидетельствуют о том, что для факторов общей среды в подростковом возрасте характерны как стабильность, так и изменение. Предположительно, стабильный и изменчивый компоненты общей среды отражают динамику образовательной среды в школе, для которой характерны как преемственность (сквозная программа по основным предметам), так и изменение (специализация в старшей школе). Эффекты общей среды наиболее выражены в отношении вербального интеллекта.

3.6.4 Кросс-культурное сравнение

Анализ близнецовых исследований интеллекта, приведенный в Главе 1, показал, что размер вклада генетических и средовых факторов в индивидуальные различия когнитивных способностей варьирует от популяции к популяции в широких пределах. В частности, в исследованиях голландских и датских близнецов получены высокие оценки наследуемости интеллекта в подростковом возрасте (65% и 70%, соответственно, Calvin et al., 2012; Van Soelen et al., 2011). Также высокие оценки были получены на выборке близнецов из Великобритании TEDS (более 50%, Kovas et al., 2013a; Krapohl et al., 2014). На выборках из США гены объясняют две трети индивидуальных различий интеллекта (Betjemann et al., 2010; Petrill et al., 2004). Еще более высокая оценка наследуемости интеллекта была получена на выборке российских близнецов раннего взрослого возраста составила (86%, Malykh et al., 2005).

Объединение близнецовых моделей, описывающих структуру индивидуальных различий интеллекта у российских и британских подростков, позволило показать систематический характер кросс-культурных различий. Факторы индивидуальной среды вносят больший вклад в индивидуальные различия вербального, невербального и общего интеллекта у подростков из Великобритании по сравнению с российскими подростками. Индивидуальные различия вербального интеллекта на выборке российских подростков связаны преимущественно с факторами семейной среды, в то время как на выборке британских подростков – с генетическими факторами. Подобный паттерн различий наблюдается по отношению к общему интеллекту во втором тестировании.

Различие во вкладе факторов индивидуальной среды может быть связано как с особенностями индивидуального опыта российских и британских подростков, так и с различием средств оценки интеллекта. Оценка когнитивных способностей на выборке британских подростков производилась на основе небольшого числа методик. Умеренная фенотипическая стабильность баллов по этим методикам свидетельствует в пользу значительной доли ошибочной вариации. Напротив, на выборке российских подростков использовалась батарея тестов, обладающая высокой надежностью. Для разделения ошибочной вариации и вариации, относящейся к индивидуальному опыту необходимо дальнейшее исследование с использованием близнецовой модели с латентным фактором. Такая модель выделяет генетические и средовые компоненты латентного фактора (вербального, невербального или общего интеллекта), определяющего общую вариацию отдельных тестов когнитивных способностей.

Одно из возможных объяснений высокого вклада факторов общей среды на выборке российских близнецов – эффект неслучайного образования семейных пар (ассортативность). Ассортативность приводит к тому, что ДЗ близнецы разделяют более 50% генетической вариации, что увеличивает их фенотипическое сходство и получаемую в исследовании оценку вклада факторов общей среды. Действительно, в исследованиях супружеских пар супруги демонстрируют умеренное сходство в уровне вербальных способностей и слабое сходство в уровне невербальных способностей (Mascie-Taylor, 1989; M. P. Watkins, Meredith, 1981; Watson et al., 2004). Это сходство не объясняется фактором возраста, длительностью совместного проживания или распадом несходных пар, т. е. оно отражает первоначальную ассортативность образования пар. Эффект ассортативности основан не на отдельных когнитивных способностях, а на их общем компоненте (Eaves et al., 1984).

В текущем исследовании половина фенотипической изменчивости вербальных способностей и общего интеллекта на выборке российских близнецов объясняется факторами общей среды. Этот результат согласуется с моделью ассортативности, если допускать, что в 70–80-х годах в СССР семейные пары образовывались людьми со сходным уровнем образования и интеллектуальных способностей. Факторы семейной среды вносят гораздо меньший вклад в индивидуальные различия невербальных способностей, что соответствует низкому уровню ассортативности по этому признаку.

На выборке британских подростков мы не наблюдаем подобного паттерна различий в структуре фенотипической изменчивости вербальных и невербальных способностей, что соответствует низкому уровню ассортативности по когнитивным признакам. Мы не можем проверить это предположение, поскольку нет известных исследований ассортативности по уровню интеллекта в Великобритании. Вместе с тем, высшее образование в Великобритании было и остается менее доступно, чем в СССР и России, что может снижать уровень ассортативности.

В качестве основного источника кросс-культурных различий, обнаруженных в исследовании, мы рассматриваем особенности макросреды, а именно, специфику образовательной среды и уровень благосостояния семей. Мета-анализ Такер-Дроба и Бейтса (Tucker-Drob, Bates, 2016) показал кросс-культурные различия в уровне и направлении эффекта генотип-средовой корреляции при формировании индивидуальных различий интеллекта. А именно, положительная генотип-средовая корреляция была обнаружена на выборках из США, где доступность качественного образования и достаток семей варьируют в широких пределах. Напротив, на выборках из Австралии и стран Европы была получена нулевая или отрицательная генотип-средовая корреляция. В этих странах качественное образование более доступно и средний достаток более высокий.

Tucker-Drob, Bates (2016) обращают внимание на то, что тенденция к росту наследуемости интеллекта в группах с более высоким достатком аналогична тенденции к росту наследуемости интеллекта с возрастом. Авторы утверждают, что эти тенденции отражают накопление эффектов генотип-средовой корреляции, которые становятся более выраженными, с одной стороны, при благоприятных условиях среды и, с другой стороны, в более старшем возрасте, когда человек начинает активно организовывать среду, сопровождающую его когнитивное развитие (Tucker-Drob et al., 2013; Turkheimer, E. E. Horn, 2014).

Когнитивное развитие российских подростков, поучаствовавших в нашем исследовании, пришлось на период Перестройки, когда тяжелые экономические условия в стране привели к общему падению благосостояния семей. Это могло ограничить доступ к образовательным ресурсам и сократить разнообразие индивидуальных траекторий когнитивного развития.

Кросс-культурные различия в структуре фенотипической изменчивости интеллекта свидетельствуют в пользу того, что особенности макросреды играют важную роль в развитии когнитивной сферы подростка. Макросреда оказывает не прямой эффект на структуру индивидуальных различий интеллекта: в зависи-

мости от характеристик макросреды, непосредственная среда подростка может быть более или менее адаптивной по отношению к индивидуальным особенностям подростка.

Выводы

Проведенное исследование позволяет сделать следующие выводы:

1. Показатели интеллекта, измеренные с помощью российской адаптации батареи тестов Векслера, демонстрируют высокий разброс в популяции российских подростков (среднее – 106–109 баллов, стандартное отклонение – 14–17 баллов, разброс – от 66 до 154 баллов). Уровень когнитивного развития у подростков, принявших участие в исследовании, соответствует возрастной норме; различия, связанные с полом, не обнаружены.
2. Индивидуальные различия вербального, невербального и общего интеллекта показали высокую стабильность в подростковом возрасте у подростков из России и Великобритании (в среднем $r = 0,71$ и $0,56$, соответственно). Для индивидуальных различий частных когнитивных способностей характерна большая возрастная изменчивость (в среднем $r = 0,36$)
3. У подростков из России и Великобритании индивидуальные различия интеллекта имеют сильный генетический компонент (20–45%, причем невербальный интеллект у российских подростков – 62%), однако основная часть индивидуальных различий определяется средовыми факторами. У российских подростков индивидуальные различия вербального и общего интеллекта связаны с факторами общей среды (47–58%), в то время как у подростков из Великобритании в структуре индивидуальных различий интеллекта преобладают факторы индивидуальной среды (40–51%).
4. В структуре индивидуальных различий частных когнитивных способностей преобладают факторы индивидуальной среды (45%). При сравнении вклада наследственных факторов и общей среды, было обнаружено, что вербальные способности сильнее связаны с факторами общей среды (40%), а невербальные – с наследственными факторами (31%).
5. В среднем и старшем подростковом возрасте индивидуальные различия интеллекта имеют сходную структуру. Различие во вкладах генетических и средовых факторах между первым и вторым тестированием не превышает 10% (за исключением вербального интеллекта у российских подростков).

6. Одни и те же генетические факторы объясняют индивидуальные различия интеллекта в среднем и старшем подростковом возрасте. Факторы общей среды включают в себя как стабильный, так и изменчивый компоненты (стабильность 0,48–0,79). Индивидуальная среда обладает высокой возрастной спецификой (стабильность 0,12–0,32).
7. В подростковом возрасте стабильность индивидуальных различий интеллекта и частных когнитивных способностей обеспечивается генетическими факторами и факторами общей среды, а возрастная изменчивость – факторами индивидуальной среды. Высокий вклад факторов индивидуальной среды объясняет более низкую стабильность индивидуальных различий частных когнитивных способностей по сравнению с вербальным, невербальным и общим интеллектом.
8. Индивидуальные различия интеллекта у подростков из России и Великобритании имеют разную структуру, но сходную динамику развития. Формирование структуры индивидуальных различий интеллекта в подростковом возрасте опосредуется макросредой, что проявляется в соотношении вклада общей и индивидуальной среды, а именно: при более высоком уровне макросредовых условий индивидуальные различия интеллекта сильнее связаны с индивидуальной средой, при низком – с общей средой.

Заключение

В работе были рассмотрены генетические и средовые источники индивидуальных различий общих когнитивных способностей. Большой массив близнецовых исследований интеллекта указывает на значительный вклад генетических факторов в вариабельность интеллекта. Вместе с тем, наследуемость интеллекта варьирует от популяции к популяции.

Исследования последнего десятилетия сосредоточились на процессах, опосредствующих трансляцию генотипа в фенотип. Известно, что одни и те же гены могут манифестировать по-разному в зависимости от конкретных условий среды (генотип-средовое взаимодействие), кроме того, генотип может определять средовой контекст развития (генотип-средовая корреляция). Необходимость принимать во внимание одновременно генетическую и средовую изменчивость для исследования взаимодействия генов и среды в процессе когнитивного развития обуславливает актуальность диссертационного исследования.

В теоретическом обзоре представлены основные подходы к определению интеллекта. В качестве основы использовалось понятие психометрического интеллекта, определяемое как изменчивость, разделяемая набором когнитивных задач. Перечислены и обобщены исследования генетических и средовых факторов индивидуальных различий интеллекта на основе метода близнецов. При рассмотрении возрастных групп наблюдается выраженная тенденция к увеличению относительного вклада генетических факторов в индивидуальные различия интеллекта. Вместе с тем, наследуемость интеллекта внутри возрастных групп варьирует в широких пределах. В исследованиях генотип-средовой корреляции одним из факторов этой изменчивости выступает достаток семьи.

Эмпирическая часть диссертационного исследования имела целью прямое сравнение вклада генетических и средовых факторов в индивидуальные различия интеллекта в процессе когнитивного развития в популяциях из разных стран. Выборку составили близнецы подросткового возраста из России и Великобритании. Для проведения статистического анализа данных было разработано программное обеспечение на основе среды статистического программирования R и пакета OpenMx.

В диссертационной работе впервые была сопоставлена структура фенотипической изменчивости общих и частных когнитивных способностей. Относи-

тельные вклады генетических и средовых факторов в индивидуальные различия частных когнитивных способностей варьируют в широких пределах, однако в целом повторяют результаты, структуру изменчивости общих когнитивных способностей. Этот результат подчеркивает важность многопеременных исследований близнецов, которые позволяют разделить специфические и общие генетические и средовые факторы когнитивных способностей.

В ходе исследования были обнаружены кросс-культурные различия в структуре фенотипической изменчивости интеллекта. А именно, у российских подростков индивидуальные различия интеллекта связаны в большей степени с общей средой, у британских подростков — в большей степени с индивидуальной средой. Стабильность индивидуальных различий интеллекта у британских подростков обусловлена преимущественно генетическими факторами, у российских подростков — в равной степени генетическими факторами и факторами общей среды.

Важность и новизна диссертационного исследования заключается в непосредственном сравнении генетических и средовых источников когнитивного развития в разных культурах, которое было произведено впервые. Сочетание близнецового, лонгитюдного и кросс-культурного дизайнов позволило обратиться к механизмам взаимодействия средовых условий и генотипа, определяющих результаты когнитивного развития. Факторы макросреды — такие как специфика образования, специфика языка, культурная специфика воспитания, общий материальный достаток — играют важную роль в раскрытии генетического потенциала при когнитивном развитии.

Список литературы

- Абульханова-Славская К. А. Стратегия жизни. — Мысль, 1991. — 298 с.
- Брушлинский А. В. Субъект. Мышление, учение, воображение. — МОДЭК, 2003. — 408 с.
- Воронин И. А. Кросс-культурные генетически информативные исследования интеллекта // Теоретическая и экспериментальная психология. — 2015. — Т. 8. — № 2. — С. 87–99.
- Выготский Л. С. Мышление и речь. — Directmedia, 2014. — 362 с.
- Голубева Э. А. Способности. Личность. Индивидуальность. — Дубна : Феникс+, 2005. — 512 с.
- Додонова Ю. А., Тихомирова Т. Н. Общий интеллект, социальный интеллект и креативность: структура и динамика в контексте образовательной среды // Теоретическая и экспериментальная психология. — 2010. — Т. 3. — № 4. — С. 5–15.
- Кабардов М. К., Матова М. А. Межполушарная асимметрия и вербальные и невербальные компоненты познавательных способностей // Вопросы психологии. — 1988. — № 6. — С. 106–115.
- Лейтес Н. С. Умственные способности и возраст. — М., 1971. — 279 с.
- Малых С. Б., Егорова М. С., Мешкова Т. А. Психогенетика. — Питер, 2008. — 408 с.
- Небылицын В. Д. Основные свойства нервной системы человека. — М., 1966. — 383 с.
- Панасюк А. Ю. Адаптированный вариант методики Д. Векслера — WISC. — Москва, 1973. — 40 с.
- Рубинштейн С. Л. Основы общей психологии. — СПб : Питер, 2000. — 712 с.
- Теплов Б. М. Способности и одаренность // Ученые записки Государственного научно-исследовательского института психологии. — 1941. — Т. 2. — С. 3–56.
- Теплов Б. М. Об изучении типологических свойств нервной системы и их психологических проявлений // Вопросы психологии. — 1957. — № 5. — С. 108–130.
- Теплов Б. М. Проблемы индивидуальных различий. — М., 1961. — 536 с.

- Тихомиров О. К. Структура мыслительной деятельности человека. — Издательство МГУ, 1969. — 304 с.
- Тихомирова Т. Н., Воронин И. А., Мисожникова Е. Б., Малых С. Б. Структура взаимосвязей когнитивных характеристик и академической успешности в школьном возрасте // Теоретическая и экспериментальная психология. — 2015. — Т. 8. — № 2. — С. 55–68.
- Филимоненко Ю. И., Тимофеев В. И. Тест Векслера: диагностика уровня развития интеллекта (взрослый вариант): методическое руководство. — ИМАТОН, 1991. — 112 с.
- Филимоненко Ю. И., Тимофеев В. И. Тест Векслера: диагностика уровня развития интеллекта (детский вариант): методическое руководство. — ИМАТОН, 1992. — 112 с.
- Холодная М. А. Психология интеллекта: Парадоксы исследования. — 2-е изд. — СПб : Питер, 2002. — 272 с.
- Чуприкова И. И. Время реакции и интеллект: почему они связаны (о дискриминативной способности мозга) // Вопросы психологии. — 1995. — № 4. — С. 65–80.
- Ackerman P. L., Beier M. E., Boyle M. O. Working Memory and Intelligence: The Same or Different Constructs? // Psychological Bulletin. — 2005. — Vol. 131. — No. 1. — P. 30–60.
- Adams B., Ghodsian M., Richardson K. Evidence for a low upper limit of heritability of mental test performance in a national sample of twins // Nature. — 1976. — Vol. 263. — No. 5575. — P. 314–316.
- Bagshaw A. T. M., Horwood L. J., Liu Y., Fergusson D. M., Sullivan P. F., Kennedy M. A. No Effect of Genome-Wide Copy Number Variation on Measures of Intelligence in a New Zealand Birth Cohort // PLOS ONE. — 2013. — Vol. 8. — No. 1. — e55208.
- Bartels M., Rietveld M. J. H., Baal G. C. M. V., Boomsma D. I. Genetic and Environmental Influences on the Development of Intelligence // Behavior Genetics. — 2002. — Vol. 32. — No. 4. — P. 237–249.
- Beauchamp J. P., Cesarini D., Johannesson M., Lindqvist E., Apicella C. On the sources of the height×intelligence correlation: New insights from a bivariate ACE model with assortative mating // Behavior Genetics. — 2010. — Vol. 41. — No. 2. — P. 242–252.

- Benson E. Intelligence across cultures: Research in Africa, Asia and Latin America is showing how culture and intelligence interact // *American Psychological Association Monitor*. — 2003. — Vol. 34. — No. 2. — P. 56.
- Benyamin B., Pourcain B., Davis O. S., Davies G., Hansell N. K., Brion M.-J., Kirkpatrick R. M., Cents R. a. M., Franić S., Miller M. B., Haworth C. M. A., Meaburn E., Price T. S., Evans D. M., Timpson N., Kemp J., Ring S., McArdle W., Medland S. E., Yang J., Harris S. E., Liewald D. C., Scheet P., Xiao X., Hudziak J. J., Geus E. J. C. de, Jaddoe V. W. V., Starr J. M., Verhulst F. C., Pennell C., Tiemeier H., Iacono W. G., Palmer L. J., Montgomery G. W., Martin N. G., Boomsma D. I., Posthuma D., McGue M., Wright M. J., Davey Smith G., Deary I. J., Plomin R., Visscher P. M. Childhood intelligence is heritable, highly polygenic and associated with FBNP1L // *Molecular Psychiatry*. — 2014. — Vol. 19. — No. 2. — P. 253–258.
- Berry J. W. On Cross-Cultural Comparability // *International Journal of Psychology*. — 1969. — Vol. 4. — No. 2. — P. 119–128.
- Berry J. W., Poortinga Y. H., Pandey J. *Handbook of Cross-cultural Psychology: Basic processes and human development*. — John Berry, 1997. — 484 p.
- Betjemann R. S., Johnson E. P., Barnard H., Boada R., Filley C. M., Filipek P. A., Willcutt E. G., DeFries J. C., Pennington B. F. Genetic Covariation Between Brain Volumes and IQ, Reading Performance, and Processing Speed // *Behavior Genetics*. — 2010. — Vol. 40. — No. 2. — P. 135–145.
- Binet A., Simon T. The development of intelligence in the child. (L'Année Psych., 1908, pp. 1-90) // *The development of intelligence in children (The Binet-Simon Scale)*. — Baltimore, MD, US : Williams & Wilkins Co, 1916. — P. 182–273.
- Bleichrodt N., Hoksbergen R. A. C., Khire U. Cross-Cultural Testing of Intelligence // *Cross-Cultural Research*. — 1999. — Vol. 33. — No. 1. — P. 3–25.
- Boomsma D. I., Martin N. G. Gene×Environment Interactions // *Biological Psychiatry* / ed. by H. D. H. o. t. P. D. o. Psychiatry, J. A. d. B. o. B. Psychiatry, P. Willner. — John Wiley & Sons, Ltd, 2002. — P. 181–187.
- Boomsma D. I., Busjahn A., Peltonen L. Classical twin studies and beyond // *Nature Reviews Genetics*. — 2002. — Vol. 3. — No. 11. — P. 872–882.
- Bouchard T. J. Genetic influence on human intelligence (Spearman's g): How much? // *Annals of Human Biology*. — 2009. — Vol. 36. — No. 5. — P. 527–544.
- Bouchard T. J. The Wilson Effect: The Increase in Heritability of IQ With Age // *Twin Research and Human Genetics*. — 2013. — Vol. 16. — No. 5. — P. 923–930.

- Bouchard T. J., McGue M. Familial studies of intelligence: A review // *Science*. — 1981. — Vol. 212. — No. 4498. — P. 1055–1059.
- Brant A. M., Haberstick B. C., Corley R. P., Wadsworth S. J., DeFries J. C., Hewitt J. K. The Developmental Etiology of High IQ // *Behavior Genetics*. — 2009. — Vol. 39. — No. 4. — P. 393–405.
- Bronfenbrenner U., Ceci S. J. Nature-nuture reconceptualized in developmental perspective: A bioecological model // *Psychological Review*. — 1994. — Vol. 101. — No. 4. — P. 568–586.
- Bronfenbrenner U., Morris P. A. The bioecological model of human development // *Handbook of child psychology*. — Wiley Online Library, 2006. — P. 793–828.
- Buck-Morss S. Socio-Economic Bias in Piaget's Theory and Its Implications for Cross-Culture Studies // *Human Development*. — 1975. — Vol. 18. — No. 1. — P. 35–49.
- Butcher L. M., Davis O. S. P., Craig I. W., Plomin R. Genome-wide quantitative trait locus association scan of general cognitive ability using pooled DNA and 500K single nucleotide polymorphism microarrays // *Genes, Brain and Behavior*. — 2008. — Vol. 7. — No. 4. — P. 435–446.
- Calvin C. M., Deary I. J., Webbink D., Smith P., Fernandes C., Lee S. H., Luciano M., Visscher P. M. Multivariate Genetic Analyses of Cognition and Academic Achievement from Two Population Samples of 174,000 and 166,000 School Children // *Behavior Genetics*. — 2012. — Vol. 42. — No. 5. — P. 699–710.
- Carroll J. B. *Human Cognitive Abilities: A Survey of Factor-Analytic Studies*. — Cambridge University Press, 1993. — 832 p.
- Caspi A., McClay J., Moffitt T. E., Mill J., Martin J., Craig I. W., Taylor A., Poulton R. Role of Genotype in the Cycle of Violence in Maltreated Children // *Science*. — 2002. — Vol. 297. — No. 5582. — P. 851–854.
- Caspi A., Sugden K., Moffitt T. E., Taylor A., Craig I. W., Harrington H., McClay J., Mill J., Martin J., Braithwaite A., Poulton R. Influence of Life Stress on Depression: Moderation by a Polymorphism in the 5-HTT Gene // *Science*. — 2003. — Vol. 301. — No. 5631. — P. 386–389.
- Casto S. D., DeFries J. C., Fulker D. W. Multivariate genetic analysis of Wechsler Intelligence Scale for Children — Revised (WISC-R) factors // *Behavior Genetics*. — 1995. — Vol. 25. — No. 1. — P. 25–32.
- Cattell J. M., Galton F. *Mental Tests and Measurements* // *Mind*. — 1890. — Vol. 15. — No. 59. — P. 373–381.

- Cattell R. B. *Intelligence: Its structure, growth and action*. Vol. 35. — Elsevier, 1987. — 694 p.
- Chabris C. F., Hebert B. M., Benjamin D. J., Beauchamp J., Cesarini D., Loos M. v. d., Johannesson M., Magnusson P. K. E., Lichtenstein P., Atwood C. S., Freese J., Hauser T. S., Hauser R. M., Christakis N., Laibson D. Most Reported Genetic Associations With General Intelligence Are Probably False Positives // *Psychological Science*. — 2012. — P. 0956797611435528.
- Chapman J. W. Cognitive-motivational characteristics and academic achievement of learning disabled children: A longitudinal study // *Journal of Educational Psychology*. — 1988. — Vol. 80. — No. 3. — P. 357–365.
- Cherny S. S., Cardon L. R., Fulker D. W., DeFries J. C. Differential heritability across levels of cognitive ability // *Behavior Genetics*. — 1992. — Vol. 22. — No. 2. — P. 153–162.
- Chipuer H. M., Rovine M. J., Plomin R. LISREL modeling: Genetic and environmental influences on IQ revisited // *Intelligence*. — 1990. — Vol. 14. — No. 1. — P. 11–29.
- Cohen D. J., Dibble E., Grawe J. M., Pollin W. Separating identical from fraternal twins // *Archives of General Psychiatry*. — 1973. — Vol. 29. — No. 4. — P. 465–469.
- Coleman J. S. *Equality of Educational Opportunity (COLEMAN) Study (EEOS), 1966: Version 3: tech. rep.* / Johns Hopkins University. — 1995.
- Currie J., Thomas D. Medical Care for Children: Public Insurance, Private Insurance, and Racial Differences in Utilization // *The Journal of Human Resources*. — 1995. — Vol. 30. — No. 1. — P. 135–162.
- Davies G., Tenesa A., Payton A., Yang J., Harris S. E., Liewald D., Ke X., Le Hellard S., Christoforou A., Luciano M., McGhee K., Lopez L., Gow A. J., Corley J., Redmond P., Fox H. C., Haggarty P., Whalley L. J., McNeill G., Goddard M. E., Espeseth T., Lundervold A. J., Reinvang I., Pickles A., Steen V. M., Ollier W., Porteous D. J., Horan M., Starr J. M., Pendleton N., Visscher P. M., Deary I. J. Genome-wide association studies establish that human intelligence is highly heritable and polygenic // *Molecular Psychiatry*. — 2011. — Vol. 16. — No. 10. — P. 996–1005.
- Davies G. et al. Genetic contributions to variation in general cognitive function: a meta-analysis of genome-wide association studies in the CHARGE consortium

- (N=53 949) // *Molecular Psychiatry*. — 2015. — Vol. 20. — No. 2. — P. 183–192.
- Davis O. S. P., Butcher L. M., Docherty S. J., Meaburn E. L., Curtis C. J. C., Simpson M. A., Schalkwyk L. C., Plomin R. A Three-Stage Genome-Wide Association Study of General Cognitive Ability: Hunting the Small Effects // *Behavior Genetics*. — 2010. — Vol. 40. — No. 6. — P. 759–767.
- Davis O. S. P., Haworth C. M. A., Plomin R. Dramatic Increase in Heritability of Cognitive Development from Early to Middle Childhood An 8-Year Longitudinal Study of 8 700 Pairs of Twins // *Psychological Science*. — 2009. — Vol. 20. — No. 10. — P. 1301–1308.
- Deary I. J., Pattie A., Starr J. M. The Stability of Intelligence From Age 11 to Age 90 Years The Lothian Birth Cohort of 1921 // *Psychological Science*. — 2013. — P. 0956797613486487.
- Deary I. J., Stough C. Intelligence and inspection time: Achievements, prospects, and problems // *American Psychologist*. — 1996. — Vol. 51. — No. 6. — P. 599–608.
- Deary I. J., Strand S., Smith P., Fernandes C. Intelligence and educational achievement // *Intelligence*. — 2007. — Vol. 35. — No. 1. — P. 13–21.
- Demetriou A., Kui Z. X., Spanoudis G., Christou C., Kyriakides L., Platsidou M. The architecture, dynamics, and development of mental processing: Greek, Chinese, or Universal? // *Intelligence*. — 2005. — Vol. 33. — No. 2. — P. 109–141.
- Dick D. M., Aliev F., Bierut L., Goate A., Rice J., Hinrichs A., Bertelsen S., Wang J. C., Dunn G., Kuperman S., Schuckit M., Jr J. N., Porjesz B., Beglieter H., Kramer J., Hesselbrock V. Linkage Analyses of IQ in the Collaborative Study on the Genetics of Alcoholism (COGA) Sample // *Behavior Genetics*. — 2005. — Vol. 36. — No. 1. — P. 77–86.
- Dick D. M., Aliev F., Kramer J., Wang J. C., Hinrichs A., Bertelsen S., Kuperman S., Schuckit M., Jr J. N., Edenberg H. J., Porjesz B., Begleiter H., Hesselbrock V., Goate A., Bierut L. Association of CHRM2 with IQ: Converging Evidence for a Gene Influencing Intelligence // *Behavior Genetics*. — 2006. — Vol. 37. — No. 2. — P. 265–272.
- Duncan J., Burgess P., Emslie H. Fluid intelligence after frontal lobe lesions // *Neuropsychologia*. — 1995. — Vol. 33. — No. 3. — P. 261–268.
- Duncan J., Owen A. M. Common regions of the human frontal lobe recruited by diverse cognitive demands // *Trends in Neurosciences*. — 2000. — Vol. 23. — No. 10. — P. 475–483.

- Duncan J., Seitz R. J., Kolodny J., Bor D., Herzog H., Ahmed A., Newell F. N., Em-
slie H. A Neural Basis for General Intelligence // *Science*. — 2000. — Vol. 289. —
No. 5478. — P. 457–460.
- Dykiert D., Gale C. R., Deary I. J. Are apparent sex differences in mean IQ scores
created in part by sample restriction and increased male variance? // *Intelligence*. —
2009. — Vol. 37. — No. 1. — P. 42–47.
- Eaves L. J., Heath A. C., Martin N. G. A note on the generalized effects of assortative
mating // *Behavior Genetics*. — 1984. — Vol. 14. — No. 4. — P. 371–376.
- Eley T. C., M V., Dale P. S., Oliver B., Petrill S. A., Price T. S., Saudino K. J., Si-
monoff E., Stevenson J., Plomin R., Purcell S. Genetic and environmental origins
of verbal and performance components of cognitive delay in 2-year-olds // *Devel-
opmental Psychology*. — 1999. — Vol. 35. — No. 4. — P. 1122–1131.
- Eslinger P. J., Damasio A. R. Severe disturbance of higher cognition after bilateral
frontal lobe ablation Patient EVR // *Neurology*. — 1985. — Vol. 35. — No. 12. —
P. 1731–1731.
- Esposito G., Kirkby B. S., Horn J. D. V., Ellmore T. M., Berman K. F. Context-
dependent, neural system-specific neurophysiological concomitants of ageing: map-
ping PET correlates during cognitive activation // *Brain*. — 1999. — Vol. 122. —
No. 5. — P. 963–979.
- Eysenck H. J. Revolution in the theory and measurement of intelligence // *Evaluación
Psicológica*. — 1985. — Vol. 1. — No. 1. — P. 99–158.
- Falconer D. S. The inheritance of liability to certain diseases, estimated from the in-
cidence among relatives // *Annals of Human Genetics*. — 1965. — Vol. 29. —
No. 1. — P. 51–76.
- Flynn J. R. The mean IQ of Americans: Massive gains 1932 to 1978 // *Psychological
Bulletin*. — 1984. — Vol. 95. — No. 1. — P. 29–51.
- Flynn J. R. Massive IQ gains in 14 nations: What IQ tests really measure // *Psycholog-
ical Bulletin*. — 1987. — Vol. 101. — No. 2. — P. 171–191.
- Flynn J. R. Searching for justice: The discovery of IQ gains over time // *American
Psychologist*. — 1999. — Vol. 54. — No. 1. — P. 5–20.
- Franić S., Dolan C. V., Beijsterveldt C. E. van, Pol H. E. H., Bartels M., Boomsma D. I.
Genetic and Environmental Stability of Intelligence in Childhood and Adoles-
cence // *Twin Research and Human Genetics*. — 2014. — Vol. 17. — No. 3. —
P. 151–163.

- Galton F. Hereditary Genius: an Inquiry Into Its Laws and Consequences. — Macmillan, 1869. — 390 p.
- Gardner H. Frames of Mind: The Theory of Multiple Intelligences. — Basic Books, 2011. — 348 p.
- Geiser C., Lehmann W., Eid M. A note on sex differences in mental rotation in different age groups // *Intelligence*. — 2008. — Vol. 36. — No. 6. — P. 556–563.
- Giedd J. N., Castellanos F. X., Rajapakse J. C., Vaituzis A. C., Rapoport J. L. Sexual dimorphism of the developing human brain // *Progress in Neuro-Psychopharmacology and Biological Psychiatry*. — 1997. — Vol. 21. — No. 8. — P. 1185–1201.
- Gosso M. F., De Geus E. J. C., Polderman T. J. C., Boomsma D. I., Heutink P., Posthuma D. Common variants underlying cognitive ability: further evidence for association between the SNAP-25 gene and cognition using a family-based study in two independent Dutch cohorts // *Genes, Brain and Behavior*. — 2008. — Vol. 7. — No. 3. — P. 355–364.
- Gottfredson L. S. Why g matters: The complexity of everyday life // *Intelligence*. — 1997. — Vol. 24. — No. 1. — P. 79–132. — (Special Issue Intelligence and Social Policy).
- Gottfredson L. S. What if the hereditarian hypothesis is true? // *Psychology, Public Policy, and Law*. — 2005. — Vol. 11. — No. 2. — P. 311–319.
- Grant M. D., Kremen W. S., Jacobson K. C., Franz C., Xian H., Eisen S. A., Toomey R., Murray R. E., Lyons M. J. Does Parental Education have a Moderating Effect on the Genetic and Environmental Influences of General Cognitive Ability in Early Adulthood? // *Behavior Genetics*. — 2010. — Vol. 40. — No. 4. — P. 438–446.
- Gray J. R., Chabris C. F., Braver T. S. Neural mechanisms of general fluid intelligence // *Nature Neuroscience*. — 2003. — Vol. 6. — No. 3. — P. 316–322.
- Gray J. R., Thompson P. M. Neurobiology of intelligence: science and ethics // *Nature Reviews Neuroscience*. — 2004. — Vol. 5. — No. 6. — P. 471–482.
- Greven C. U., Harlaar N., Kovas Y., Chamorro-Premuzic T., Plomin R. More Than Just IQ School Achievement Is Predicted by Self-Perceived Abilities—But for Genetic Rather Than Environmental Reasons // *Psychological Science*. — 2009. — Vol. 20. — No. 6. — P. 753–762.
- Grigorenko E., LaBuda M., Carter A. Similarity in General Cognitive Ability, Creativity, and Cognitive Style in a Sample of Adolescent Russian Twins // *Acta geneticae medicae et gemellologiae: twin research*. — 1992. — Vol. 41. — No. 1. — P. 65–72.

- Grudnik J. L., Kranzler J. H. Meta-analysis of the relationship between intelligence and inspection time // *Intelligence*. — 2001. — Vol. 29. — No. 6. — P. 523–535.
- Haier R. J., Jung R. E., Yeo R. A., Head K., Alkire M. T. Structural brain variation and general intelligence // *NeuroImage*. — 2004. — Vol. 23. — No. 1. — P. 425–433.
- Haier R. J., Siegel B., Tang C., Abel L., Buchsbaum M. S. Intelligence and changes in regional cerebral glucose metabolic rate following learning // *Intelligence*. — 1992. — Vol. 16. — No. 3. — P. 415–426. — (Special Issue: Biology and Intelligence).
- Halpern D. F. A Cognitive-Process Taxonomy for Sex Differences in Cognitive Abilities // *Current Directions in Psychological Science*. — 2004. — Vol. 13. — No. 4. — P. 135–139.
- Halpern D. F. *Sex Differences in Cognitive Abilities: 4th Edition*. — Psychology Press, 2013. — 481 p.
- Halpern D. F., Tan U. Stereotypes and Steroids: Using a Psychobiosocial Model to Understand Cognitive Sex Differences // *Brain and Cognition*. — 2001. — Vol. 45. — No. 3. — P. 392–414.
- Hanscombe K. B., Trzaskowski M., Haworth C. M. A., Davis O. S. P., Dale P. S., Plomin R. Socioeconomic Status (SES) and Children's Intelligence (IQ): In a UK-Representative Sample SES Moderates the Environmental, Not Genetic, Effect on IQ // *PLOS ONE*. — 2012. — Vol. 7. — No. 2. — e30320.
- Harden K. P., Turkheimer E., Loehlin J. C. Genotype by Environment Interaction in Adolescents Cognitive Aptitude // *Behavior Genetics*. — 2007. — Vol. 37. — No. 2. — P. 273–283.
- Hart S. A., Petrill S. A., Deater Deckard K., Thompson L. A. SES and CHAOS as environmental mediators of cognitive ability: A longitudinal genetic analysis // *Intelligence*. — 2007. — Vol. 35. — No. 3. — P. 233–242.
- Haworth C. M. A., Wright M. J., Luciano M., Martin N. G., Geus E. J. C. de, Beijsterveldt C. E. M. van, Bartels M., Posthuma D., Boomsma D. I., Davis O. S. P., Kovas Y., Corley R. P., DeFries J. C., Hewitt J. K., Olson R. K., Rhea S.-A., Wadsworth S. J., Iacono W. G., McGue M., Thompson L. A., Hart S. A., Petrill S. A., Lubinski D., Plomin R. The heritability of general cognitive ability increases linearly from childhood to young adulthood // *Molecular Psychiatry*. — 2010. — Vol. 15. — No. 11. — P. 1112–1120.
- Haworth C. M. A., Davis O. S. P., Plomin R. *Twins Early Development Study (TEDS): A Genetically Sensitive Investigation of Cognitive and Behavioral Development*

- From Childhood to Young Adulthood // *Twin Research and Human Genetics*. — 2013. — Vol. 16. — Special Issue 01. — P. 117–125.
- Hay D. A., Prior M., Collett S., Williams M. Speech and Language Development in Preschool Twins // *Acta geneticae medicae et gemellologiae: twin research*. — 1987. — Vol. 36. — No. 2. — P. 213–223.
- Hedges L. V., Nowell A. Sex differences in mental test scores, variability, and numbers of high-scoring individuals // *Science*. — 1995. — Vol. 269. — No. 5220. — P. 41–45.
- Helms-Lorenz M., Van de Vijver F. J. R., Poortinga Y. H. Cross-cultural differences in cognitive performance and Spearman's hypothesis: g or c? // *Intelligence*. — 2003. — Vol. 31. — No. 1. — P. 9–29.
- Herrnstein R. J., Murray C. A. *The bell curve: intelligence and class structure in American life*. — New York : Free Press, 1994. — 845 p.
- Hoekstra R. A., Bartels M., Boomsma D. I. Longitudinal genetic study of verbal and nonverbal IQ from early childhood to young adulthood // *Learning and Individual Differences*. — 2007. — Vol. 17. — No. 2. — P. 97–114.
- Hoekstra R. A., Bartels M., Leeuwen M. van, Boomsma D. I. Genetic architecture of verbal abilities in children and adolescents // *Developmental Science*. — 2009. — Vol. 12. — No. 6. — P. 1041–1053.
- Horn J. L., Cattell R. B. Refinement and test of the theory of fluid and crystallized general intelligences // *Journal of Educational Psychology*. — 1966. — Vol. 57. — No. 5. — P. 253–270.
- Hyde J. S. The Gender Similarities Hypothesis // *American Psychologist*. — 2005. — Vol. 60. — No. 6. — P. 581–592.
- Ishikuma T., Moon S.-B., Kaufman A. S. Sequential-simultaneous analysis of Japanese children's performance on the Japanese McCarthy scales // *Perceptual and Motor Skills*. — 1988. — Vol. 66. — No. 2. — P. 355–362.
- Jacobs N., Rijdsdijk F. V., Derom C., Danckaerts M., Thiery E., Derom R., Vlietinck R., Os J. van Child psychopathology and lower cognitive ability: a general population twin study of the causes of association // *Molecular Psychiatry*. — 2002. — Vol. 7. — No. 4. — P. 368–374.
- Jacobs N., Gestel S. V., Derom C., Thiery E., Vernon P., Derom R., Vlietinck R. Heritability Estimates of Intelligence in Twins: Effect of Chorion Type // *Behavior Genetics*. — 2001. — Vol. 31. — No. 2. — P. 209–217.

- Jensen A. R. Cumulative deficit in IQ of Blacks in the rural South // *Developmental Psychology*. — 1977. — Vol. 13. — No. 3. — P. 184–191.
- Jensen A. R. Uses of Sibling Data in Educational and Psychological Research // *American Educational Research Journal*. — 1980. — Vol. 17. — No. 2. — P. 153–170.
- Jensen A. R. *The g factor: The science of mental ability*. Vol. xiv. — Westport, CT, US : Praeger Publishers/Greenwood Publishing Group, 1998. — 648 p. — (Human evolution, behavior, and intelligence.)
- Johnson W., Bouchard Jr. T. J., Krueger R. F., McGue M., Gottesman I. I. Just one g: consistent results from three test batteries // *Intelligence*. — 2004. — Vol. 32. — No. 1. — P. 95–107.
- Johnson W., Nijenhuis J. te, Bouchard Jr. T. J. Still just 1 g: Consistent results from five test batteries // *Intelligence*. — 2008. — Vol. 36. — No. 1. — P. 81–95.
- Kan K.-J., Wicherts J. M., Dolan C. V., van der Maas H. L. J. On the Nature and Nurture of Intelligence and Specific Cognitive Abilities The More Heritable, the More Culture Dependent // *Psychological Science*. — 2013. — P. 0956797613493292.
- Kaplan E., Fein D., Kramer J., Delis D., Morris R. *Wechsler intelligence scale for children as a process instrument: WISC-III-PI*. — San Antonio, CA : The Psychological Corporation : Harcourt Brace & Company, 1999.
- Kaufman A. S., Ishikuma T., Kaufman-Packer J. L. Amazingly Short Forms of the WAIS-R // *Journal of Psychoeducational Assessment*. — 1991. — Vol. 9. — No. 1. — P. 4–15.
- Kaufman A. S., Kaufman J. C., Kaufman N. L., Simon M. The Verbal and Nonverbal Intelligence of American vs. French Children at Ages 6 to 16 Years // *Research in the Schools*. — 1996. — Vol. 3. — No. 1. — P. 23–33.
- Kaufman A. S., Kaufman N. L. *Kaufman Adolescent and Adult Intelligence Test* // *Encyclopedia of Special Education*. — John Wiley & Sons, Inc., 2013a.
- Kaufman A. S., Kaufman N. L. *Kaufman Assessment Battery for Children, Second Edition* // *Encyclopedia of Special Education*. — John Wiley & Sons, Inc., 2013b.
- Kaufman A. S., Mclean J. E., Ishikuma T., Moon S.-B. Integration of the Literature on the Intelligence of Japanese Children and Analysis of the Data from a Sequential Simultaneous Perspective // *School Psychology International*. — 1989. — Vol. 10. — No. 3. — P. 173–183.
- Keith T. Z., Reynolds M. R. Cattell-Horn-Carroll abilities and cognitive tests: What we've learned from 20 years of research // *Psychology in the Schools*. — 2010. — Vol. 47. — No. 7. — P. 635–650.

- Keller M. C., Garver-Apgar C. E., Wright M. J., Martin N. G., Corley R. P., Stallings M. C., Hewitt J. K., Zietsch B. P. The Genetic Correlation between Height and IQ: Shared Genes or Assortative Mating? // *PLOS Genetics*. — 2013. — Vol. 9. — No. 4. — e1003451.
- Kendler K. S., Baker J. H. Genetic influences on measures of the environment: a systematic review // *Psychological Medicine*. — 2007. — Vol. 37. — No. 5. — P. 615–626.
- Kiefer A. K., Sekaquaptewa D. Implicit Stereotypes, Gender Identification, and Math-Related Outcomes A Prospective Study of Female College Students // *Psychological Science*. — 2007. — Vol. 18. — No. 1. — P. 13–18.
- Kimura D. Neuromotor mechanisms in human communication. Vol. x. — New York, NY, US : Clarendon Press/Oxford University Press, 1993. — 197 p. — (Oxford psychology series, No. 20.)
- Kovas Y., Voronin I., Kaydalov A., Malykh S., Dale P., Plomin R. Literacy and Numeracy are more heritable than Intelligence in primary school // *Psychological Science*. — 2013a. — Vol. 24. — No. 10. — P. 2048–2056. — (author's contribution 15%).
- Kovas Y., Galajinsky E. V., Boivin M., Harold G. T., Jones A., Lemelin J.-P., Luo Y., Petrill S. A., Plomin R., Tikhomirova T., Zhou X., Malykh S. The Russian School Twin Registry (RSTR): project PROGRESS // *Twin Research and Human Genetics: The Official Journal of the International Society for Twin Studies*. — 2013b. — Vol. 16. — No. 1. — P. 126–133.
- Kovas Y., Plomin R. Generalist genes: implications for the cognitive sciences // *Trends in Cognitive Sciences*. — 2006. — Vol. 10. — No. 5. — P. 198–203.
- Kranzler J. H., Jensen A. R. Inspection time and intelligence: A meta-analysis // *Intelligence*. — 1989. — Vol. 13. — No. 4. — P. 329–347.
- Krapohl E., Rimfeld K., Shakeshaft N. G., Trzaskowski M., McMillan A., Pingault J.-B., Asbury K., Harlaar N., Kovas Y., Dale P. S., Plomin R. The high heritability of educational achievement reflects many genetically influenced traits, not just intelligence // *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*. — 2014. — Vol. 111. — No. 42. — P. 15273–15278.
- Kvist A. V., Gustafsson J.-E. The relation between fluid intelligence and the general factor as a function of cultural background: A test of Cattell's Investment theory // *Intelligence*. — 2008. — Vol. 36. — No. 5. — P. 422–436.

- Lewontin R. C. Race and Intelligence // *Bulletin of the Atomic Scientists*. — 1970. — Vol. 26. — No. 3. — P. 2–8.
- Light J. G., Defries J. C., Olson R. K. Multivariate behavioral genetic analysis of achievement and cognitive measures in reading-disabled and control twin pairs // *Human Biology*. — 1998. — Vol. 70. — No. 2. — P. 215–237.
- Loehlin J. C. The Cholesky approach: A cautionary note // *Behavior Genetics*. — 1996. — Vol. 26. — No. 1. — P. 65–69.
- Loehlin J. C. *Latent Variable Models: An Introduction to Factor, Path, and Structural Equation Analysis*. — Psychology Press, 2004. — 303 p.
- Loehlin J. C. History of Behavior Genetics // *Handbook of Behavior Genetics* / ed. by Y.-K. Kim. — Springer New York, 2009. — P. 3–11.
- Loury G. C. *The Anatomy of Racial Inequality*. — Harvard University Press, 2009. — 241 p.
- Luciano M., Wright M. J., Smith G. A., Geffen G. M., Geffen L. B., Martin N. G. Genetic Covariance Among Measures of Information Processing Speed, Working Memory, and IQ // *Behavior Genetics*. — 2001. — Vol. 31. — No. 6. — P. 581–592.
- Lutchmaya S., Baron-Cohen S., Raggatt P. Foetal testosterone and vocabulary size in 18- and 24-month-old infants // *Infant Behavior and Development*. — 2001. — Vol. 24. — No. 4. — P. 418–424.
- Lynn R., Hampson S. The rise of national intelligence: Evidence from Britain, Japan and the USA // *Personality and Individual Differences*. — 1986. — Vol. 7. — No. 1. — P. 23–32.
- Lynn R., Hattori K. The heritability of intelligence in Japan // *Behavior Genetics*. — 1990. — Vol. 20. — No. 4. — P. 545–546.
- Lynn R., Mikk J. National differences in intelligence and educational attainment // *Intelligence*. — 2007. — Vol. 35. — No. 2. — P. 115–121.
- Lynn R., Vanhanen T. *IQ and the wealth of nations*. — Westport, Conn : Praeger, 2002. — 298 p. — (Human evolution, behavior, and intelligence).
- MacLeod A. K., Davies G., Payton A., Tenesa A., Harris S. E., Liewald D., Ke X., Luciano M., Lopez L. M., Gow A. J., Corley J., Redmond P., McNeill G., Pickles A., Ollier W., Horan M., Starr J. M., Pendleton N., Thomson P. A., Porteous D. J., Deary I. J. Genetic Copy Number Variation and General Cognitive Ability // *PLOS ONE*. — 2012. — Vol. 7. — No. 12. — e37385.

- Magnusson D., Bäckteman G. Longitudinal Stability of Person Characteristics: Intelligence and Creativity // *Applied Psychological Measurement*. — 1978. — Vol. 2. — No. 4. — P. 481–490.
- Maitland S. B., Intrieri R. C., Schaie W. K., Willis S. L. Gender Differences and Changes in Cognitive Abilities Across the Adult Life Span // *Aging, Neuropsychology, and Cognition*. — 2000. — Vol. 7. — No. 1. — P. 32–53.
- Malykh S. B., Iskoldsky N. V., Gindina E. D. Genetic analysis of IQ in young adulthood: a Russian twin study // *Personality and Individual Differences*. — 2005. — Vol. 38. — No. 6. — P. 1475–1485.
- Malykh S. B., Zyrianova N. M., Kuravsky L. S. Longitudinal Genetic Analysis of Childhood IQ in 6- and 7-year-old Russian Twins // *Twin Research and Human Genetics*. — 2003. — Vol. 6. — No. 4. — P. 285–291.
- Manuck S. B., McCaffery J. M. Gene-Environment Interaction // *Annual Review of Psychology*. — 2014. — Vol. 65. — No. 1. — P. 41–70.
- Marioni R. E., Davies G., Hayward C., Liewald D., Kerr S. M., Campbell A., Luciano M., Smith B. H., Padmanabhan S., Hocking L. J., Hastie N. D., Wright A. F., Porteous D. J., Visscher P. M., Deary I. J. Molecular genetic contributions to socioeconomic status and intelligence // *Intelligence*. — 2014. — Vol. 44. — P. 26–32.
- Martin N. W., Hansell N. K., Wainwright M. A., Shekar S. N., Medland S. E., Bates T. C., Burt J. S., Martin N. G., Wright M. J. Genetic Covariation Between the Author Recognition Test and Reading and Verbal Abilities: What Can We Learn from the Analysis of High Performance? // *Behavior Genetics*. — 2009. — Vol. 39. — No. 4. — P. 417–426.
- Mascie-Taylor C. G. N. Spouse similarity for IQ and personality and convergence // *Behavior Genetics*. — 1989. — Vol. 19. — No. 2. — P. 223–227.
- Mayes S. D., Calhoun S. L. Similarities and Differences in Wechsler Intelligence Scale for Children—Third Edition (WISC-III) Profiles: Support for Subtest Analysis in Clinical Referrals // *The Clinical Neuropsychologist*. — 2004. — Vol. 18. — No. 4. — P. 559–572.
- McArdle J. J., McDonald R. P. Some algebraic properties of the Reticular Action Model for moment structures // *British Journal of Mathematical and Statistical Psychology*. — 1984. — Vol. 37. — No. 2. — P. 234–251.

- McDaniel M. A. Big-brained people are smarter: A meta-analysis of the relationship between in vivo brain volume and intelligence // *Intelligence*. — 2005. — Vol. 33. — No. 4. — P. 337–346.
- McDermott P. A., Fantuzzo J. W., Glutting J. J. Just Say No to Subtest Analysis: A Critique on Wechsler Theory and Practice // *Journal of Psychoeducational Assessment*. — 1990. — Vol. 8. — No. 3. — P. 290–302.
- McGrew K. S. CHC theory and the human cognitive abilities project: Standing on the shoulders of the giants of psychometric intelligence research // *Intelligence*. — 2009. — Vol. 37. — No. 1. — P. 1–10.
- McGue M., Bouchard Jr. T. J. Adjustment of twin data for the effects of age and sex // *Behavior Genetics*. — 1984. — Vol. 14. — No. 4. — P. 325–343.
- Miller J. G. A cultural-psychology perspective on intelligence // *Intelligence, heredity, and environment* / ed. by R. J. Sternberg, E. L. Grigorenko. — New York, NY, US : Cambridge University Press, 1997. — P. 269–302.
- Modig K., Silventoinen K., Tynelius P., Kaprio J., Rasmussen F. Genetics of the association between intelligence and nicotine dependence: a study of male Swedish twins // *Addiction*. — 2011. — Vol. 106. — No. 5. — P. 995–1002.
- Moore D. S., Johnson S. P. Mental Rotation in Human Infants A Sex Difference // *Psychological Science*. — 2008. — Vol. 19. — No. 11. — P. 1063–1066.
- Murphy L. L., *Buros Institute of Mental Measurements Tests in print VIII: an index to tests, test reviews, and the literature on specific tests*. — Lincoln, Neb. : Buros Institute of Mental Measurements, University of Nebraska-Lincoln : Distributed by the University of Nebraska Press, 2011.
- Neale M. C., Hunter M. D., Pritikin J. N., Zahery M., Brick T. R., Kirkpatrick R. M., Estabrook R., Bates T. C., Maes H. H., Boker S. M. OpenMx 2.0: Extended Structural Equation and Statistical Modeling // *Psychometrika*. — 2015. — Vol. 81. — No. 2. — P. 535–549.
- Neale M., Cardon L. *Methodology for Genetic Studies of Twins and Families*. — Springer Science & Business Media, 1992. — 530 p.
- Neisser U., Boodoo G., Bouchard Jr. T. J., Wade A., Brody N., Ceci S. J., Halpern D. F., Loehlin J. C., Perloff R., Sternberg R. J., Urbina S. Intelligence: Knowns and unknowns // *American Psychologist*. — 1996. — Vol. 51. — No. 2. — P. 77–101.
- Nguyen H.-H. D., Ryan A. M. Does stereotype threat affect test performance of minorities and women? A meta-analysis of experimental evidence // *Journal of Applied Psychology*. — 2008. — Vol. 93. — No. 6. — P. 1314–1334.

- Nichols R. C., Bilbro W. C. The diagnosis of twin zygoty // *Acta Genetica Et Statistica Medica*. — 1966. — Vol. 16. — No. 3. — P. 265–275.
- Nichols R. C. Policy Implications of the IQ Controversy // *Review of Research in Education*. — 1978. — Vol. 6. — P. 3–46.
- Nisbett R. E. Heredity, environment, and race differences in IQ: A commentary on Rushton and Jensen (2005) // *Psychology, Public Policy, and Law*. — 2005. — Vol. 11. — No. 2. — P. 302–310.
- Nisbett R. E., Masuda T. Culture and point of view // *Proceedings of the National Academy of Sciences*. — 2003. — Vol. 100. — No. 19. — P. 11163–11170.
- Ogbu J. U. Cultural amplifiers of intelligence: IQ and minority status in cross-cultural perspective // *Race and intelligence: Separating science from myth*. — Mahwah, NJ, US : Lawrence Erlbaum Associates Publishers, 2002. — P. 241–278.
- Otis A. S. Otis self-administering tests of mental ability. — Oxford, England : World Book Co., 1922.
- Pam A., Kemker S. S., Ross C. A., Golden R. The “Equal Environments Assumption” in MZ-DZ Twin Comparisons: an Untenable Premise of Psychiatric Genetics? // *Acta geneticae medicae et gemellologiae: twin research*. — 1996. — Vol. 45. — No. 3. — P. 349–360.
- Pearson K. On the Laws of Inheritance in Man: II. On the Inheritance of the Mental and Moral Characters in Man, and Its Comparison with the Inheritance of the Physical Characters // *Biometrika*. — 1904. — Vol. 3. — No. 2. — P. 131–190.
- Petrill S. A., Lipton P. A., Hewitt J. K., Plomin R., Cherny S. S., Corley R., DeFries J. C. Genetic and Environmental Contributions to General Cognitive Ability Through the First 16 Years of Life // *Developmental Psychology*. — 2004. — Vol. 40. — No. 5. — P. 805–812.
- Petrill S. A., Saudino K., Cherny S. S., Emde R. N., Fulker D. W., Hewitt J. K., Plomin R. Exploring the Genetic and Environmental Etiology of High General Cognitive Ability in Fourteen- to Thirty-Six-Month-Old Twins // *Child Development*. — 1998. — Vol. 69. — No. 1. — P. 68–74.
- Plomin R., Owen M. J., McGuffin P. The genetic basis of complex human behaviors // *Science*. — 1994. — Vol. 264. — No. 5166. — P. 1733–1739.
- Plomin R. Multivariate analysis and developmental behavioral genetics: Developmental change as well as continuity // *Behavior Genetics*. — 1986. — Vol. 16. — No. 1. — P. 25–43.

- Plomin R. Genotype-Environment Correlation in the Era of DNA // *Behavior Genetics*. — 2014. — Vol. 44. — No. 6. — P. 629–638.
- Plomin R., Deary I. J. Genetics and intelligence differences: five special findings // *Molecular psychiatry*. — 2015. — Vol. 20. — No. 1. — P. 98.
- Plomin R., DeFries J. C., Loehlin J. C. Genotype-environment interaction and correlation in the analysis of human behavior. // *Psychological Bulletin*. — 1977. — Vol. 84. — No. 2. — P. 309–322.
- Plomin R., DeFries J. C., McClearn G. E., McGuffin P. Behavioral genetics. — 5th ed. — New York : Worth Publishers, 2008. — 532 p.
- Plomin R., Haworth C. M. A., Meaburn E. L., Price T. S., Wellcome Trust Case Control Consortium 2, Davis O. S. P. Common DNA Markers Can Account for More Than Half of the Genetic Influence on Cognitive Abilities // *Psychological Science*. — 2013. — Vol. 24. — No. 4. — P. 562–568.
- Plomin R., Hill L., Craig I. W., McGuffin P., Purcell S., Sham P., Lubinski D., Thompson L. A., Fisher P. J., Turic D., Owen M. J. A Genome-Wide Scan of 1842 DNA Markers for Allelic Associations with General Cognitive Ability: A Five-Stage Design Using DNA Pooling and Extreme Selected Groups // *Behavior Genetics*. — 2001. — Vol. 31. — No. 6. — P. 497–509.
- Plomin R., Kennedy J. K. J., Craig I. W. The quest for quantitative trait loci associated with intelligence // *Intelligence*. — 2006. — Vol. 34. — No. 6. — P. 513–526.
- Plomin R., Kovas Y. Generalist Genes and Learning Disabilities // *Psychological Bulletin*. — 2005. — Vol. 131. — No. 4. — P. 592–617.
- Plomin R., Kovas Y., Haworth C. M. A. Generalist Genes: Genetic Links Between Brain, Mind, and Education // *Mind, Brain, and Education*. — 2007. — Vol. 1. — No. 1. — P. 11–19.
- Plomin R., McClearn G. E., Smith D. L., Skuder P., Vignetti S., Chorney M. J., Chorney K., Kasarda S., Thompson L. A., Detterman D. K., Petrill S. A., Daniels J., Owen M. J., McGuffin P. Allelic associations between 100 DNA markers and high versus low IQ // *Intelligence*. — 1995. — Vol. 21. — No. 1. — P. 31–48.
- Plomin R., Petrill S. A. Genetics and intelligence: What's new? // *Intelligence*. — 1997. — Vol. 24. — No. 1. — P. 53–77. — (Special Issue Intelligence and Social Policy).
- Plomin R., Price T. S., Eley T. C., Dale P. S., Stevenson J. Associations between behaviour problems and verbal and nonverbal cognitive abilities and disabilities

- in early childhood // *Journal of Child Psychology and Psychiatry*. — 2002. — Vol. 43. — No. 5. — P. 619–633.
- Polderman T. J. C., Benyamin B., Leeuw C. A. de, Sullivan P. F., Bochoven A. van, Visscher P. M., Posthuma D. Meta-analysis of the heritability of human traits based on fifty years of twin studies // *Nat Genet*. — 2015. — Vol. 47. — No. 7. — P. 702–709.
- Polderman T. J. C., Geus E. J. C. de, Hoekstra R. A., Bartels M., Leeuwen M. van, Verhulst F. C., Posthuma D., Boomsma D. I. Attention problems, inhibitory control, and intelligence index overlapping genetic factors: a study in 9-, 12-, and 18-year-old twins // *Neuropsychology*. — 2009. — Vol. 23. — No. 3. — P. 381–391.
- Polderman T. J. C., Gosso M. F., Posthuma D., Van Beijsterveldt T. C. E. M., Heutink P., Verhulst F. C., Boomsma D. I. A longitudinal twin study on IQ, executive functioning, and attention problems during childhood and early adolescence // *Acta Neurologica Belgica*. — 2006. — Vol. 106. — No. 4. — P. 191–207.
- Posner M. I., Walker J. A., Friedrich F. J., Rafal R. D. Effects of parietal injury on covert orienting of attention // *The Journal of Neuroscience*. — 1984. — Vol. 4. — No. 7. — P. 1863–1874.
- Posthuma D., Luciano M., Geus E. J. C. d., Wright M. J., Slagboom P. E., Montgomery G. W., Boomsma D. I., Martin N. G. A Genomewide Scan for Intelligence Identifies Quantitative Trait Loci on 2q and 6p // *The American Journal of Human Genetics*. — 2005. — Vol. 77. — No. 2. — P. 318–326.
- Prabhakaran V., Smith J. A. L., Desmond J. E., Glover G. H., Gabrieli J. D. E. Neural Substrates of Fluid Reasoning: An fMRI Study of Neocortical Activation during Performance of the Raven's Progressive Matrices Test // *Cognitive Psychology*. — 1997. — Vol. 33. — No. 1. — P. 43–63.
- Price T. S., Dale P. S., Plomin R. A Longitudinal Genetic Analysis of Low Verbal and Nonverbal Cognitive Abilities in Early Childhood // *Twin Research and Human Genetics*. — 2004. — Vol. 7. — No. 2. — P. 139–148.
- Price T. S., Eley T. C., Dale P. S., Stevenson J., Sandino K., Plomin R. Genetic and Environmental Covariation between Verbal and Nonverbal Cognitive Development in Infancy // *Child Development*. — 2000a. — Vol. 71. — No. 4. — P. 948–959.
- Price T. S., Freeman B., Craig I., Petrill S. A., Ebersole L., Plomin R. Infant zygosity can be assigned by parental report questionnaire data // *Twin Research and Human Genetics*. — 2000b. — Vol. 3. — No. 3. — P. 129–133.

- Quinn P. C., Liben L. S. A Sex Difference in Mental Rotation in Young Infants // *Psychological Science*. — 2008. — Vol. 19. — No. 11. — P. 1067–1070.
- R Core Team R: A Language and Environment for Statistical Computing. — R: A Language, Environment for Statistical Computing, Vienna, Austria, 2016.
- Raven J. C., Court J. H. Raven's progressive matrices and vocabulary scales. — Oxford, UK : Oxford Psychologists Press, 1998.
- Reynolds C. R., Kamphaus R. W. Reynolds intellectual assessment scales (RIAS). — Odessa, FL : Psychological Assessment Resources, 2003.
- Rijsdijk F. V., Boomsma D. I. Genetic Mediation of the Correlation Between Peripheral Nerve Conduction Velocity and IQ // *Behavior Genetics*. — 1997. — Vol. 27. — No. 2. — P. 87–98.
- Rijsdijk F. V., Sham P. C. Analytic approaches to twin data using structural equation models // *Briefings in Bioinformatics*. — 2002. — Vol. 3. — No. 2. — P. 119–133.
- Rijsdijk F. V., Vernon P. A., Boomsma D. I. Application of Hierarchical Genetic Models to Raven and WAIS Subtests: A Dutch Twin Study // *Behavior Genetics*. — 2002. — Vol. 32. — No. 3. — P. 199–210.
- Rimfeld K., Kovas Y., Dale P. S., Plomin R. Pleiotropy across academic subjects at the end of compulsory education // *Scientific Reports*. — 2015. — Vol. 5. — P. 11713.
- Roth P. L., Bevier C. A., Bobko P., Switzer F. S., Tyler P. Ethnic Group Differences in Cognitive Ability in Employment and Educational Settings: A Meta-Analysis // *Personnel Psychology*. — 2001. — Vol. 54. — No. 2. — P. 297–330.
- Rowe D. C., Jacobson K. C., Van den Oord E. J. C. G. Genetic and Environmental Influences on Vocabulary IQ: Parental Education Level as Moderator // *Child Development*. — 1999. — Vol. 70. — No. 5. — P. 1151–1162.
- Rushton J. P., Jensen A. R. Thirty years of research on race differences in cognitive ability // *Psychology, Public Policy, and Law*. — 2005. — Vol. 11. — No. 2. — P. 235–294.
- Rushton J. P., Jensen A. R. A Theory-Based Review of the Research in Richard Nisbett's *Intelligence and How to Get It* // *The Open Psychology Journal*. — 2010. — Vol. 3. — No. 1. — P. 9–35.
- Rushton J. P., Skuy M., Fridjhon P. Jensen Effects among African, Indian, and White engineering students in South Africa on Raven's Standard Progressive Matrices // *Intelligence*. — 2002. — Vol. 30. — No. 5. — P. 409–423.

- Rutter M., Redshaw J. Annotation: Growing up as a Twin: Twin-Singleton Differences in Psychological Development // *Journal of Child Psychology and Psychiatry*. — 1991. — Vol. 32. — No. 6. — P. 885–895.
- Rutter M., Thorpe K., Greenwood R., Northstone K., Golding J. Twins as a natural experiment to study the causes of mild language delay: I: Design; twin-singleton differences in language, and obstetric risks // *Journal of Child Psychology and Psychiatry*. — 2003. — Vol. 44. — No. 3. — P. 326–341.
- Sameroff A. J., Seifer R., Baldwin A., Baldwin C. Stability of Intelligence from Preschool to Adolescence: The Influence of Social and Family Risk Factors // *Child Development*. — 1993. — Vol. 64. — No. 1. — P. 80–97.
- Schmidt F. L., Hunter J. General Mental Ability in the World of Work: Occupational Attainment and Job Performance // *Journal of Personality and Social Psychology*. — 2004. — Vol. 86. — No. 1. — P. 162–173.
- Schwartzman A. E., Gold D., Andres D., Arbuckle T. Y., Chaikelson J. Stability of intelligence: A 40-year follow-up // *Canadian Journal of Psychology/Revue canadienne de psychologie*. — 1987. — Vol. 41. — No. 2. — P. 244–256.
- Segall M. H., Dasen P. R., Berry J. W., Poortinga Y. H. Human behavior in global perspective: An introduction to cross-cultural psychology. Vol. xviii. — Elmsford, NY, US : Pergamon Press, 1990. — 424 p. — (Pergamon general psychology series, Vol. 160.)
- Sheppard L. D., Vernon P. A. Intelligence and speed of information-processing: A review of 50 years of research // *Personality and Individual Differences*. — 2008. — Vol. 44. — No. 3. — P. 535–551.
- Silventoinen K., Iacono W. G., Krueger R., McGue M. Genetic and Environmental Contributions to the Association Between Anthropometric Measures and IQ: A Study of Minnesota Twins at Age 11 and 17 // *Behavior Genetics*. — 2012. — Vol. 42. — No. 3. — P. 393–401.
- Silventoinen K., Posthuma D., Van Beijsterveldt T., Bartels M., Boomsma D. I. Genetic contributions to the association between height and intelligence: evidence from Dutch twin data from childhood to middle age // *Genes, Brain and Behavior*. — 2006. — Vol. 5. — No. 8. — P. 585–595.
- Sowell T. *Race and culture: a world view*. — New York : Basic Books, 1994.
- Spearman C. "General Intelligence," Objectively Determined and Measured // *The American Journal of Psychology*. — 1904. — Vol. 15. — No. 2. — P. 201–292.

- Spearman C. The Nature of "Intelligence" and the Principles of Cognition // *Journal of Philosophy*. — 1924. — Vol. 21. — No. 11. — P. 294–301.
- Stern W. William Stern // *A history of psychology in autobiography* Vol. I. — New York, NY, US : Russell & Russell/Atheneum Publishers, 1930. — P. 335–388.
- Sternberg R. J. Beyond IQ: A Triarchic Theory of Human Intelligence. — CUP Archive, 1985. — 436 p.
- Sternberg R. J. The theory of successful intelligence // *Review of General Psychology*. — 1999. — Vol. 3. — No. 4. — P. 292–316.
- Sternberg R. J. Culture and Intelligence // *American Psychologist*. — 2004. — Vol. 59. — No. 5. — P. 325–338.
- Sternberg R. J. There are no public-policy implicatons: A reply to Rushton and Jensen (2005) // *Psychology, Public Policy, and Law*. — 2005. — Vol. 11. — No. 2. — P. 295–301.
- Strenze T. Intelligence and socioeconomic success: A meta-analytic review of longitudinal research // *Intelligence*. — 2007. — Vol. 35. — No. 5. — P. 401–426.
- Stuss D. T., Benson D. F., Weir W. S., Naeser M. A., Lieberman I., Ferrill D. The involvement of orbitofrontal cerebrum in cognitive tasks // *Neuropsychologia*. — 1983. — Vol. 21. — No. 3. — P. 235–248.
- Stuss D. T., Frank D. Neuropsychological studies of the frontal lobes // *Psychological Bulletin*. — 1984. — Vol. 95. — No. 1. — P. 3–28.
- Suzuki L., Aronson J. The cultural malleability of intelligence and its impact on the racial/ethnic hierarchy // *Psychology, Public Policy, and Law*. — 2005. — Vol. 11. — No. 2. — P. 320–327.
- Tambs K., Sundet J. M., Magnus P. Genetic and environmental contributions to the covariation between the Wechsler Adult Intelligence Scale (WAIS) subtests: A study of twins // *Behavior Genetics*. — 1986. — Vol. 16. — No. 4. — P. 475–491.
- Terlecki M. S., Newcombe N. S., Little M. Durable and generalized effects of spatial experience on mental rotation: gender differences in growth patterns // *Applied Cognitive Psychology*. — 2008. — Vol. 22. — No. 7. — P. 996–1013.
- Terman L. M. The measurement of intelligence: An explanation of and a complete guide for the use of the Stanford revision and extension of the Binet-Simon intelligence scale. — Houghton Mifflin, 1916.
- Thurstone L. L. The factorial isolation of primary abilities // *Psychometrika*. — 1936. — Vol. 1. — No. 3. — P. 175–182.

- Tikhomirova T., Voronin I., Misozhnikova E., Malykh S. The structure of relationships of cognitive characteristics and academic success at school age (in Russian) // *Theoretical and Experimental Psychology*. — 2015. — Vol. 8. — No. 2. — P. 55–68.
- Trahan L. H., Stuebing K. K., Fletcher J. M., Hiscock M. The Flynn effect: A meta-analysis. // *Psychological Bulletin*. — 2014. — Vol. 140. — No. 5. — P. 1332–1360.
- Trzaskowski M., Harlaar N., Arden R., Krapohl E., Rimfeld K., McMillan A., Dale P. S., Plomin R. Genetic influence on family socioeconomic status and children's intelligence // *Intelligence*. — 2014. — Vol. 42. — P. 83–88.
- Tucker-Drob E. M., Bates T. C. Large Cross-National Differences in Gene×Socioeconomic Status Interaction on Intelligence // *Psychological Science*. — 2016. — Vol. 27. — No. 2. — P. 138–149.
- Tucker-Drob E. M., Briley D. A. Continuity of genetic and environmental influences on cognition across the life span: A meta-analysis of longitudinal twin and adoption studies. // *Psychological Bulletin*. — 2014. — Vol. 140. — No. 4. — P. 949–979.
- Tucker-Drob E. M., Briley D. A., Harden K. P. Genetic and Environmental Influences on Cognition Across Development and Context // *Current Directions in Psychological Science*. — 2013. — Vol. 22. — No. 5. — P. 349–355.
- Tucker-Drob E. M., Harden K. P. Early childhood cognitive development and parental cognitive stimulation: evidence for reciprocal gene-environment transactions: Early cognitive development and parenting // *Developmental Science*. — 2012. — Vol. 15. — No. 2. — P. 250–259.
- Tucker-Drob E. M., Rhemtulla M., Harden K. P., Turkheimer E., Fask D. Emergence of a Gene×Socioeconomic Status Interaction on Infant Mental Ability Between 10 Months and 2 Years // *Psychological Science*. — 2011. — Vol. 22. — No. 1. — P. 125–133.
- Tulviste P., Hall M. J. The cultural-historical development of verbal thinking. Vol. x. — Hauppauge, NY, US : Nova Science Publishers, 1991. — 208 p. — (Horizons in psychology.)
- Turkheimer E., Haley A., Waldron M., D'Onofrio B., Gottesman I. I. Socioeconomic Status Modifies Heritability of IQ in Young Children // *Psychological Science*. — 2003. — Vol. 14. — No. 6. — P. 623–628.
- Turkheimer E., Harden K. P., D'Onofrio B., Gottesman I. I. The Scarr-Rowe interaction between measured socioeconomic status and the heritability of cognitive ability //

- Experience and Development: A Festschrift in Honor of Sandra Wood Scarr. — Taylor, Francis, 2012. — P. 81–97.
- Turkheimer E., Horn E. E. Interactions Between Socioeconomic Status and Components of Variation in Cognitive Ability // Behavior Genetics of Cognition Across the Lifespan / ed. by D. Finkel, C. A. Reynolds. — Springer New York, 2014. — P. 41–68. — (Advances in Behavior Genetics ; 1).
- Van de Vijver F. J. R. Towards a theory of bias and equivalence // Crosscultural Psychology. — 1998. — Vol. 3. — P. 41–65.
- Van Soelen I. L., Brouwer R. M., Leeuwen M. v., Kahn R. S., Hulshoff Pol H. E., Boomsma D. I. Heritability of Verbal and Performance Intelligence in a Pediatric Longitudinal Sample // Twin Research and Human Genetics. — 2011. — Vol. 14. — No. 2. — P. 119–128.
- Vernon P. E. Environmental Handicaps and Intellectual Development: Part I // British Journal of Educational Psychology. — 1965. — Vol. 35. — No. 1. — P. 9–20.
- Vernon P. E. Intelligence: heredity and environment. — San Francisco : Freeman, 1979. — 390 p. — (A series of books in psychology).
- Wallace G. L., Lee N. R., Prom-Wormley E. C., Medland S. E., Lenroot R. K., Clasen L. S., Schmitt J. E., Neale M. C., Giedd J. N. A Bivariate Twin Study of Regional Brain Volumes and Verbal and Nonverbal Intellectual Skills During Childhood and Adolescence // Behavior Genetics. — 2010. — Vol. 40. — No. 2. — P. 125–134.
- Watkins M. P., Meredith W. Spouse similarity in newlyweds with respect to specific cognitive abilities, socioeconomic status, and education // Behavior Genetics. — 1981. — Vol. 11. — No. 1. — P. 1–21.
- Watkins M. W. Cognitive profile analysis: A shared professional myth // School Psychology Quarterly. — 2000. — Vol. 15. — No. 4. — P. 465–479.
- Watson D., Klohnen E. C., Casillas A., Nus Simms E., Haig J., Berry D. S. Match Makers and Deal Breakers: Analyses of Assortative Mating in Newlywed Couples // Journal of Personality. — 2004. — Vol. 72. — No. 5. — P. 1029–1068.
- Webbink D., Posthuma D., Boomsma D. I., Geus E. J. C. de, Visscher P. M. Do twins have lower cognitive ability than singletons? // Intelligence. — 2008. — Vol. 36. — No. 6. — P. 539–547.
- Webbink D., Roeleveld J., Visscher P. M. Identification of Twin Pairs From Large Population-Based Samples // Twin Research and Human Genetics. — 2006. — Vol. 9. — No. 4. — P. 496–500.

- Wechsler D. Wechsler Intelligence Scale for Children. — San Antonio, TX, US : Psychological Corporation, 1949.
- Wechsler D. Manual for the Wechsler Adult Intelligence Scale. Vol. VI. — Oxford, England : Psychological Corp., 1955. — 110 p.
- Wechsler D. WISC-III: Wechsler intelligence scale for children — third edition: Manual. — San Antonio, TX : Psychological Corporation, 1991.
- Wechsler D. Wechsler Adult Intelligence Scale-III. — New York : Psychological Corporation, 1997.
- Wechsler D. Wechsler Preschool and Primary Scale of Intelligence — third edition (WPPSI-III). — San Antonio, TX : Psychological Corporation, 2002.
- Wechsler D. Wechsler intelligence scale for children—Fourth Edition (WISC-IV). — San Antonio, TX : The Psychological Corporation, 2003.
- Wechsler D. Wechsler adult intelligence scale — Fourth edition. — San Antonio : Pearson, 2008.
- Wicherts J. M., Dolan C. V., Hessen D. J., Oosterveld P., Baal G. C. M. van, Boomsma D. I., Span M. M. Are intelligence tests measurement invariant over time? Investigating the nature of the Flynn effect // *Intelligence*. — 2004. — Vol. 32. — No. 5. — P. 509–537.
- Wissler C. The correlation of mental and physical tests // *The Psychological Review: Monograph Supplements*. — 1901. — Vol. 3. — No. 6. — P. i–62.
- Woodcock R. W., McGrew K. S., Mather N. Woodcock-Johnson tests of achievement. — Itasca, IL : Riverside Publishing, 2001.
- Yang S.-Y., Sternberg R. J. Taiwanese Chinese people's conceptions of intelligence // *Intelligence*. — 1997. — Vol. 25. — No. 1. — P. 21–36.
- Yeo R. A., Gangestad S. W., Liu J., Calhoun V. D., Hutchison K. E. Rare Copy Number Deletions Predict Individual Variation in Intelligence // *PLOS ONE*. — 2011. — Vol. 6. — No. 1. — e16339.
- Zuk O., Hechter E., Sunyaev S. R., Lander E. S. The mystery of missing heritability: Genetic interactions create phantom heritability // *Proceedings of the National Academy of Sciences*. — 2012. — Vol. 109. — No. 4. — P. 1193–1198.

Приложение А

Реализация лонгитюдной модели средствами пакета OpenMx

```
library('OpenMx')
library('xlsx')

5 data<-read.xlsx('longitud_data.xls',sheetIndex=1)

longitud_model <- mxModel(
  name = 'Longitudinal model',
  type = 'RAM',
10 manifestVars = c('X1','X2'),
  mxPath(from='one', to = all_vars,
         connect = 'all.bivariate',values=0),
  mxPath(from = c('X1','X2'),
15         arrows = 2, connect = 'single', values = 1),
  mxPath(from = 'X1', to = 'X2',
         connect = 'all.pairs',values=0.1)
  mxData(data[,c('X1','X2')], type = 'raw')
)

20 longitud_model_fit <- mxRun(longitud_model)
summary(longitud_model_fit)
```

Приложение Б

Реализация однопеременной близнецовой модели средствами пакета OpenMx

```

library ('OpenMx')
library ('xlsx')

5 data<-read.xlsx('twin_data.xls',sheetIndex=1)

mzData<-data[data$zygosity=='MZ',c('X_twin1','X_twin2')]
dzData<-data[data$zygosity=='DZ',c('X_twin1','X_twin2')]

10 univariate_twin_model<-mxModel('Univariate ACE model',
  mxModel('ACE',
    mxMatrix(type="Full",nrow=1,ncol=n1,
      free=TRUE,values=0.66,lbound=0,
      labels="a11",name="a"),
15 mxMatrix(type="Full",nrow=1,ncol=1,
      free=TRUE,values=0.66,lbound=0,
      labels="c11",name="c"),
    mxMatrix(type="Full",nrow=1,ncol=1,
      free=TRUE,values=0.66,lbound=0,
20 labels="e11",name="e"),

    mxAlgebra(a %*% t(a),name="A"),
    mxAlgebra(c %*% t(c),name="C"),
    mxAlgebra(e %*% t(e),name="E"),
25 mxAlgebra(rbind(cbind(A + C + E, A + C),
      cbind(A + C, A + C + E)),
      name="expCovMZ"),
    mxAlgebra(rbind(cbind(A + C + E, .5 %x% A + C),
30 cbind(.5 %x% A + C, A + C + E)),
      name="expCovDZ"),

    mxMatrix(type="Full",nrow=1,ncol=1,free=TRUE,
      values=0,labels="mean",name="Mean"),
35 mxAlgebra(cbind(Mean,Mean),name="expMeans"),

    mxMatrix(type="Iden",nrow=1,ncol=1,name="I"),
    mxAlgebra(A+C+E,name="V"),

```

```

40 mxAlgebra (expCovMZ [1, 2] / V, name="expCorMZ"),
mxAlgebra (expCovDZ [1, 2] / V, name="expCorDZ"),
mxAlgebra (solve (sqrt (I*V)), name="iSD"),

mxAlgebra (cbind (cbind (expMeans, t (diag2vec (expCovMZ))),
45 cbind (expCovMZ [1, 2], expCorMZ)),
name="outpMZ"),
mxAlgebra (cbind (cbind (expMeans, t (diag2vec (expCovDZ))),
cbind (expCovDZ [1, 2], expCorDZ)),
50 name="outpDZ"),

mxAlgebra (A/V, name="Ast"),
mxAlgebra (C/V, name="Cst"),
mxAlgebra (E/V, name="Est"),
mxAlgebra (cbind (cbind (Ast, Cst), Est), name="outpVarComp")
55 ),

mxModel ("MZ",
mxData (observed=mzData, type="raw"),
mxExpectatonNormal ("ACE.expCovMZ", "ACE.expMeans",
60 dimnames=c ('X_twin1', 'X_twin2')),
mxFitFunctionML()),

mxModel ("DZ",
mxData (observed=dzData, type="raw"),
mxExpectatonNormal ("ACE.expCovDZ", "ACE.expMeans",
65 dimnames=c ('X_twin1', 'X_twin2')),
mxFitFunctionML()),

mxFitFunctionMultigroup (c ('MZ', 'DZ')),

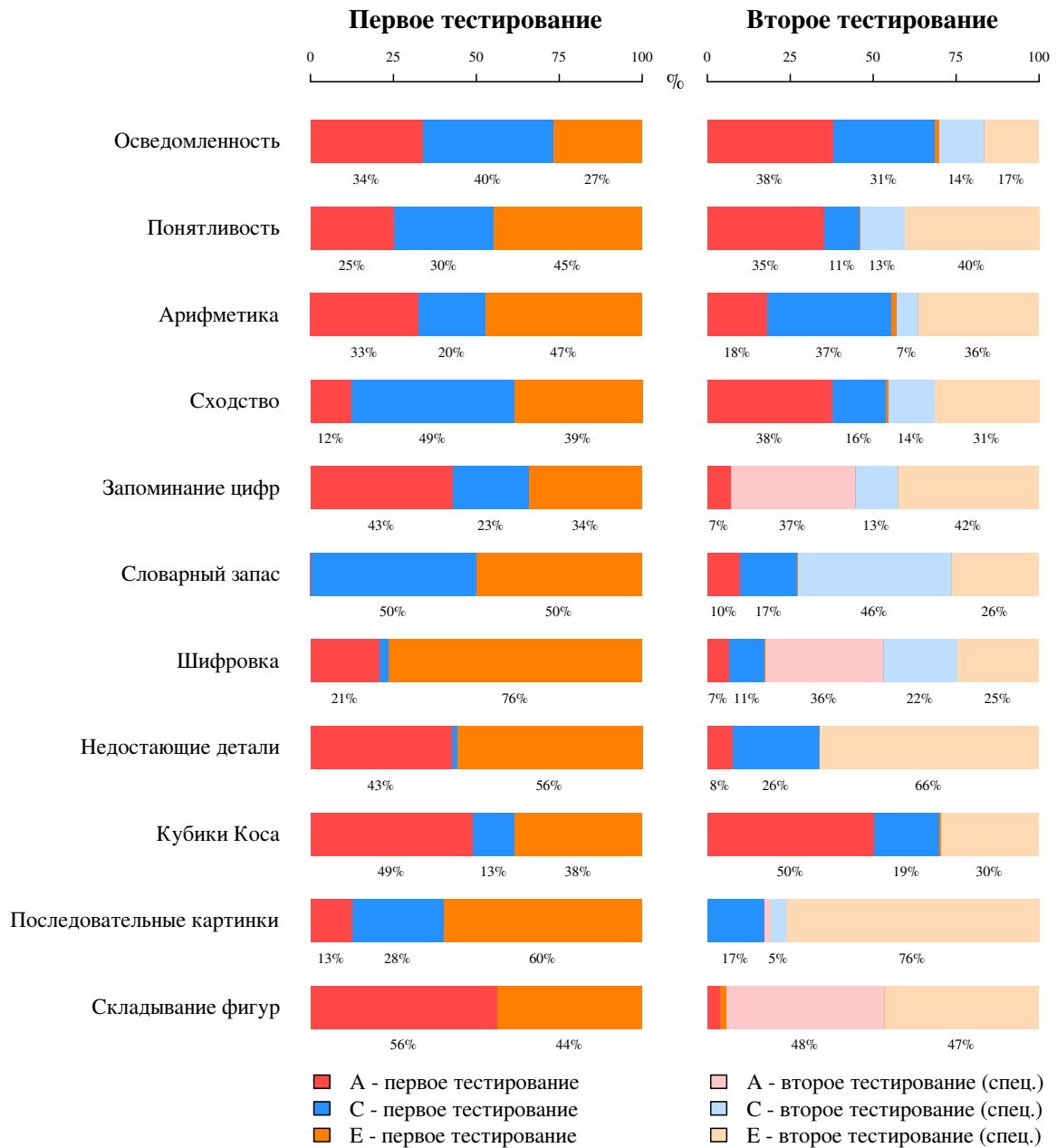
70 mxCI ("ACE.Ast"),
mxCI ("ACE.Cst"),
mxCI ("ACE.Est")
)

75 univariate_twin_model_fit<-mxRun (univariate_twin_model, intervals=
TRUE)
summary (univariate_twin_model_fit)

```

Приложение В

Вклад генетических и средовых факторов в стабильность и изменение частных когнитивных способностей



Приложение Г

Показатели соответствия одномерных близнецовых моделей

Таблица Г.1

Показатели соответствия одномерных близнецовых моделей, первое тестирование

	$-2LL$ ($ep = 4$)	df	$RMSEA$	ΔLL ($df = 6$)	p
Россия					
Осведомленность	1052,184	414	0,000	0,000	1,000
Понятливость	1122,146	414	0,000	0,000	1,000
Арифметика	1128,416	414	0,000	0,000	1,000
Сходство	1095,790	414	0,000	0,003	1,000
Запоминание цифр	1090,783	414	0,000	0,000	1,000
Словарный запас	1121,071	414	0,000	0,238	1,000
Шифровка	1171,197	414	0,000	0,000	1,000
Недостающие детали	1152,223	414	0,000	0,056	1,000
Кубики Коса	1110,792	414	0,000	0,028	1,000
Последовательные картинки	1148,910	414	0,000	0,000	1,000
Складывание фигур	1089,373	414	0,000	0,176	1,000
Вербальный интеллект	1014,713	414	0,000	0,000	1,000
Невербальный интеллект	1108,284	414	0,000	0,000	1,000
Общий интеллект	1031,516	414	0,000	0,000	1,000
Великобритания					
Вербальный интеллект	11994,538	4393	0,000	0,151	1,000
Невербальный интеллект	10192,391	3750	0,000	0,360	0,999
Общий интеллект	10010,590	3744	0,000	0,544	0,997

Таблица Г.2

Показатели соответствия одномерных близнецовых моделей, второе тестирование

	$-2LL$ ($ep = 4$)	df	$RMSEA$	ΔLL ($df = 6$)	p
Россия					
Осведомленность	708,107	291	0,000	0,009	1,000
Понятливость	789,380	291	0,000	0,002	1,000
Арифметика	759,685	290	0,000	0,006	1,000
Сходство	765,567	291	0,000	0,003	1,000
Запоминание цифр	793,114	291	0,000	0,001	1,000
Словарный запас	729,596	291	0,000	0,002	1,000
Шифровка	724,463	292	0,000	0,011	1,000
Недостающие детали	814,955	292	0,000	0,391	0,999
Кубики Коса	760,754	292	0,000	0,025	1,000
Последовательные картинки	823,655	291	0,000	0,449	0,998
Складывание фигур	803,652	291	0,000	0,100	1,000
Вербальный интеллект	683,733	290	0,000	0,010	1,000
Невербальный интеллект	722,200	291	0,000	0,008	1,000
Общий интеллект	674,008	290	0,000	0,014	1,000
Великобритания					
Вербальный интеллект	9496,115	3465	0,000	0,039	1,000
Невербальный интеллект	8609,802	3170	0,000	0,058	1,000
Общий интеллект	8465,816	3140	0,000	0,107	1,000

Таблица Г.3

Показатели соответствия лонгитюдных близнецовых моделей

	$-2LL$ ($ep = 17$)	df	$RMSEA$	ΔLL ($df = 17$)	p
Россия	1567,253	702	0,000	4,622	0,999
Осведомленность	1840,288	702	0,000	13,201	0,723
Понятливость	1784,240	701	0,000	10,267	0,892
Арифметика	1785,101	702	0,000	4,885	0,998
Сходство	1876,514	702	0,000	8,230	0,961
Запоминание цифр	1828,316	702	0,000	7,828	0,970
Словарный запас	1886,065	703	0,000	5,428	0,996
Шифровка	1949,996	703	0,000	5,598	0,996
Недостающие детали	1705,884	703	0,000	6,321	0,991
Кубики Коса	1957,034	702	0,014	17,723	0,407
Последовательные картинки	1878,860	702	0,000	4,996	0,998
Складывание фигур	1509,797	701	0,000	15,412	0,566
Вербальный интеллект	1673,976	702	0,000	6,554	0,989
Невербальный интеллект	1520,420	701	0,000	13,184	0,724
Общий интеллект					
Великобритания	21106,684	7855	0,000	4,949	0,998
Вербальный интеллект	18017,926	6917	0,000	14,384	0,640
Невербальный интеллект	17691,368	6881	0,000	6,915	0,985
Общий интеллект	8465,816	3140	0,000	0,107	1,000