

## ПСИХОЛОГИЯ ПОЗНАНИЯ

### КОМПЛЕКСНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ СТРУКТУРЫ ИНДИВИДУАЛЬНОГО ЗНАНИЯ<sup>1</sup>

© 1999 г. И. О. Александров\*, Н. Е. Максимова\*\*, А. Г. Горкин\*\*\*, Д. Г. Шевченко\*\*\*\*,

И. В. Тихомирова\*\*\*\*\*, Е. В. Филиппова\*\*\*\*\*, Ю. Б. Никитин\*\*\*\*\*

\* Канд. психол. наук, ст. науч. сотр. ИП РАН,

129366, Москва, ул. Ярославская, д. 13а, Россия; e-mail: nialeks@psychol.ras.ru

\*\* Канд. психол. наук, ст. науч. сотр., там же

\*\*\* Канд. психол. наук, ст. науч. сотр., там же

\*\*\*\* Канд. мед. наук, ст. науч. сотр., там же

\*\*\*\*\* Канд. психол. наук, ст. науч. сотр. ПИ РАО, 103009, Москва, ул. Моховая, д. 9, к. В, Россия \*\*\*\*\*

Канд. психол. наук, ученый секретарь Московского городского психолого-педагогического ин-та,

Москва, ул. Сретенка, д. 27/29, Россия

\*\*\*\*\* Аспирант Московского государственного университета им. М.В. Ломоносова, ф-т ВМиК, 119899, Москва, Воробьевы горы, ул. Лебедева, 2 уч. к.; e-mail: yunik@yunik.mctme.ru

Формальное описание структуры индивидуального знания (СИЗ) в стратегической позиционной игре дано для детей 6–13 лет и взрослых испытуемых. У детей 6–13 лет оценены уровень развития мышления и индивидуальные психологические характеристики. Дано описание структуры индивидуального опыта, основанное на анализе последовательности актов и активности поведенчески специализированных нейронов лимбической коры, для животных, обученных тремя разными способами выполнению циклического пищедобывательного поведения. Сопоставление результатов разных экспериментальных серий показало, что СИЗ в определенной предметной области может быть описана как множество базовых компонентов и их групп, образованных отношениями различного типа. Базовые компоненты фиксируются как образования, представляющие вновь сформированные акты взаимоотношения субъекта с предметной областью; им соответствуют группы нейронов, специализированных относительно данного акта. На множестве базовых компонентов описаны отношения следования, генерации, координации, AND, IOR, XOR, которые реализуются как взаимовлияния между группами специализированных нейронов. Состав базовых компонентов, а также отношения генерации, следования и AND преимущественно соответствуют структуре предметной области и являются генетическими предшественниками групп базовых компонентов и отношений координации, XOR и IOR, которые отражают преимущественно индивидуальную историю взаимоотношений субъекта с предметной областью. Особенности СИЗ в конкретной предметной области соответствуют общему уровню познавательного развития и индивидуальным психологическим характеристикам субъекта и определяют феноменологию наблюдаемого поведения, его временные и содержательные характеристики.

*Ключевые слова:* предметная область знания, индивидуальное знание, структура, компоненты, отношения, нейрональная активность, специализация нейронов, индивидуальные психологические характеристики.

В современной психологии категория "знание" используется как метапонятие для обозначения наиболее общей составляющей опыта и/или скрытой от непосредственного наблюдения реальности внутреннего мира человека (независи-

мо от того, доступна она или нет для вербального отчета), которая формируется в различных сферах практической деятельности и детерминирует психологические характеристики субъекта (ср. варианты понимания знания, приведенные в [6, 9, 10, 16, 18, 25–27, 29, 39, 42, 43]). Заметим, что ни генез, ни многие существенные аспекты проблемы знания не связаны непосредственно с когнитивной психологией (см., например, [8]).

Поскольку в основе любых текущих взаимоотношений субъекта с миром лежат фиксированные результаты прошлых взаимодействий [28, 33], которые и можно рассматривать как знание, то исследование именно структуры знания, фикси-

Исследование выполнено при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (гранты № 96-06-80626, № 96-15-98641) и Российского гуманитарного научного фонда (гранты № 97-06-08828, № 96-03-04627).

Авторы глубоко признательны руководству и учителям московской школы № 121 за содействие в проведении исследования и плодотворное сотрудничество.

рующей все этапы этого взаимоотношения, и *индивидуальности*, субъективности знания, определяющейся специфической, уникальной историей взаимоотношения субъекта с миром, представляет собой собственно психологические аспекты проблемы знания.

Цель настоящего исследования состояла в том, чтобы описать структуру индивидуального знания (СИЗ) субъекта через типологию компонентов и взаимоотношений между ними, а также характеристики целостности.

Такое описание СИЗ может быть дано лишь для той части всей системы знаний субъекта о мире, которая составляет компетенцию в конкретной предметной области (определение предметной области см. в [1]). Только при исследовании относительно ограниченной структуры, обладающей определенными содержательными характеристиками, счетным количеством компонентов и их взаимоотношений, а также историей формирования, доступной контролю, может быть достигнута цель данной работы.

Мы полагаем, что исследование СИЗ требует согласования различных аспектов ее описания: логической структуры предметной области, истории взаимоотношения субъекта с предметной областью, индивидуальных психологических характеристик субъекта, активности мозга, поэтому оно должно быть комплексным. Именно комплексное исследование, по нашему мнению, расширяет возможности верификации полученных результатов, так как частные аспекты описания могут выступать в качестве взаимных верификаторов.

В задачи исследования входили:

1. Реконструкция СИЗ человека в конкретной предметной области на основе типологии продуктов деятельности и верификация описания СИЗ по временным показателям поведения и индивидуальным психологическим характеристикам.

2. Реконструкция структуры индивидуального опыта (СИО)<sup>2</sup> кролика, обученного сложному поведению, на основе сопоставления этапов достижения результатов и типов поведенческой специализации нейронов и верификация описания СИО по временным характеристикам поведения и индивидуальной истории обучения.

3. Логическое сопоставление описания СИЗ у человека и СИО у кролика.

При реконструкции СИЗ и СИО использовали представления об индивидуальном опыте субъекта, сформулированные и получившие экспериментальную разработку в рамках системно-эво-

люционного подхода [4, 33, 41]: 1) поведение реализуется как последовательность актов, выделяемых на основе описания характеристик достигаемых результатов, обстановки, в которой они достигаются, и способов их достижения; 2) компонент индивидуального опыта формируется как целостный поведенческий акт взаимодействия субъекта с миром; 3) компоненты индивидуального опыта, представляющие поведенческие акты, находятся в определенных взаимоотношениях; 4) в основе реализации поведенческого акта лежит одновременная актуализация компонентов индивидуального опыта, сформированных на разных стадиях видового и индивидуального развития; 5) особенности структуры индивидуального опыта определяются историей обучения; 6) целостные акты взаимоотношения субъекта с миром фиксируются в специализациях нейронов; по разнообразию специализаций нейронов можно судить о поведенческом репертуаре субъекта. Предполагалось контролировать процесс приобретения знания испытуемыми и ход обучения у животных. Необходимую для анализа вариативность характеристик изучаемых структур знания обеспечивали привлечением к исследованию испытуемых, обладающих возрастными психологическими различиями. В экспериментах с животными разнообразие структур опыта предполагали получить, используя разные способы обучения дефинитивному поведению.

## МЕТОДИКА

### 1. Реконструкция и верификация описания СИЗ

**1.1. Испытуемые.** В исследовании принимали участие 59 испытуемых пяти возрастных групп. В 1-ю группу (6–7 лет) вошли 13 чел.; во 2-ю (8–9 лет) – 6 чел.; в 3-ю (10–11 лет) – 10 чел.; в 4-ю группу (12–13 лет) – 14 чел.; в 5-ю (от 18 до 44 лет) – 16 чел. Испытуемыми 1-й – 4-й групп были учащиеся московской школы № 121.

**1.2. Контролируемое формирование компетенции в стратегической игре.** Испытуемых просили принять участие в исследовании того, "как люди играют в разные игры". Им предлагалось освоить игру в "крестики и нолики" на поле 15 x 15 в компьютерном варианте: два партнера играли друг с другом, используя два устройства "мышь", или испытуемый играл с компьютером; при этом ход игры в графической форме отображался на дисплее.

Испытуемых знакомили с демонстрационным вариантом игры, включая выигрыш, фиксация которого контролировалась программой и означала конец одной партии и начало другой. Затем они получали инструкцию, состоящую в описании правил игры в общем виде: "Вы по очереди ставите кружочки своего цвета на игровом поле."

<sup>2</sup> Исходя из существования специфики содержания взаимоотношения субъекта с миром у человека и животных, мы использовали различающиеся термины – СИЗ для человека и СИО для кролика.

Выигрывает тот, кто первым построит непрерывную цепочку из пяти знаков в любом направлении – по вертикали, горизонтали или диагонали".

Первый ход в игре игроки делали по очереди независимо от исхода предыдущей партии. Эксперимент продолжался 1–1.5 ч; за это время игроки успевали сыграть 30–40 партий по 20–30 ходов, в течение которых крутизна кривой научения, описывающей приобретение игроком компонентов структуры знания, снижается и кривая приближается к насыщению [34]. На этом интервале может быть прослежена история формирования компетенции [37]. В процессе игры регистрировали координаты каждого хода на игровом поле и время, затраченное на выбор хода каждым игроком.

### 1.3. Формальное описание СИЗ

**1.3.1. Описание протоколов игр** в координатах ходов на игровом поле преобразовывали в индивидуальные протоколы последовательных актов игры для каждого игрока. В качестве единицы анализа поведения игрока выделяли акт игры – интервал между двумя последовательными ходами оппонента. Описание акта игры было основано на формальной оценке трех ситуаций на игровом поле: после 1) первого хода оппонента, 2) собственного хода игрока, 3) ответного хода оппонента. Для каждой ситуации определяли количество цепочек из 2, 3, 4 и 5 знаков у игрока и оппонента, которые можно было бы построить на следующем шаге игры, если не учитывать ответные действия оппонента. Акты игры с одинаковыми оценками трех ситуаций приписывали к определенному типу. Составляли два каталога актов игры: в первый к определенному типу приписывали акты с одинаковыми количественными оценками двух ситуаций, исключая ситуацию после ответного хода оппонента, во второй – с одинаковыми оценками трех ситуаций. Очевидно, что количество актов второго каталога представляет собой результат дифференциации актов первого каталога по характеристикам третьей ситуации.

Перечисление всех типов актов игры, которые выделялись за период наблюдения, рассматривали как репертуар данного игрока. Актам игры как компонентам репертуара ставили в соответствие компоненты СИЗ.

**1.3.2. Матрицы переходов** между актами игры различного типа с соответствующими вероятностями использовали для оценки взаимоотношений между компонентами СИЗ, представляющими акты репертуара. Матрицы содержали информацию о последовательности формирования переходов от акта к акту, т.е. описывали развитие репертуара игрока за период наблюдения. Для анализа матриц переходов использовали методы теории графов [30].

Предполагалось, что набор актов репертуара, составляющих полустепень исхода определенного акта, соответствует набору компонентов СИЗ, из которого происходит выбор акта, реализуемого в наблюдаемом поведении.

*Отношения следования* описывали как свойство ребер ориентированного графа, которое определяет последовательность реализации актов репертуара.

*Логические отношения И (AND), исключительное и неисклЮчительное ИЛИ (IOR и XOR)* между компонентами СИЗ определяли, сравнивая составы полустепеней исходов всех вершин графа для данного игрока. Отношение *И (AND)* для пары компонентов СИЗ определяли по их обязательному совмещению в полустепенях исходов. Для пар компонентов СИЗ, которые никогда не встречались в одном и том же составе полустепени исхода, определяли отношение *исключительное ИЛИ (XOR)*. Для тех пар компонентов СИЗ, которые могли встречаться в составе различных полустепеней исхода и вместе, и порознь, определяли отношение *неисклЮчительное ИЛИ (IOR)*. Количество логических отношений каждого типа оценивали как число пар компонентов СИЗ, связанных соответствующим отношением.

**1.3.3. Группы компонентов СИЗ**, представляющих акты репертуара, и характеристики связности СИЗ. Описывали объединения компонентов СИЗ как множества, связанные отношениями следования, AND, IOR или XOR. Предполагалось, что отношения следования связывают устойчивые последовательности, включающие от 2 до 8 актов репертуара, которые неоднократно воспроизводятся игроком. Выделяли два типа таких последовательностей: "линейные", с фиксированным порядком реализации актов игры, и "гибкие", в которых порядок актов мог изменяться.

Всю совокупность компонентов СИЗ представляли как множество пересекающихся подмножеств, образованных за счет отношений AND и IOR. Минимальные подмножества составляют наборы компонентов, связанных друг с другом только отношениями AND. Непересекающиеся подмножества содержат компоненты, связанные отношениями XOR; более дробные пересечения образуются за счет отношений типа IOR. Таким образом, на множестве компонентов СИЗ выделяли группы с разной степенью пересечения.

Анализ взаимных пересечений подмножеств компонентов использовали для оценки *связности*, описывающей целостность СИЗ. Связность как понятие теории множеств характеризует невозможность представить какую-либо структуру "в виде суммы непустых непересекающихся открытых множеств" [21]. Связность СИЗ характеризовали на интервале, предшествующем выбору хода игроком, используя переменные, представ-

ляющие собой медианные оценки количества компонентов СИЗ второго каталога, количества и объема групп этих компонентов, их пересечений, включая энтропийные оценки; отношений между компонентами СИЗ; количества устойчивых последовательностей и компонентов, входящих в эти последовательности.

Каждый акт игры в интервале между 1 и 270 ходами был описан перечисленными показателями. Из анализа были исключены акты, для которых оказалось невозможным определить значения этих переменных: первые по порядку акты в каждой игре и первые реализации актов каждого типа.

Для того чтобы определить типологические особенности СИЗ, а также характеристики, преимущественно определяющие тип СИЗ, применили кластерный анализ массива актов, описанных приведенными выше переменными. Данные по всем испытуемым разбивали на 5 групп. Исходные значения центров этих кластеров определяли на интервале между 241 и 270 ходами, т.е. на заключительном этапе приобретения компетенции. Полученные значения использовали для разбиения массива на предыдущем интервале – с 211-го по 240-й ход. Эту процедуру повторяли со сдвигом в 30 ходов.

Для определения размерности пространства, достаточного для описания СИЗ, применили факторный анализ переменных, описывающих компоненты СИЗ, их группы и отношения между ними на интервале между 150 и 260 ходами, когда скорость увеличения репертуара игроков существенно снижается по сравнению с началом обучения (массив составил 5200 актов).

#### 1.4. Временные характеристики поведения.

Время выбора хода игрока оценивали как интервал между нажатием кнопки "мышь" при постановке знака оппонентом и нажатием кнопки "мышь" игроком. Распределение значений времени приводило к нормальному виду, используя процедуру аппроксимации нормального распределения, предложенную Тьюки: значения переменных пересчитываются по формуле  $(r - 1/3)/(w + 1/3)$ , где  $r$  – ранг, а  $w$  – сумма весов значений. Для оценки центральных тенденций использовали устойчивые к отклонению от нормальности (робастные) методы.

1.5. Индивидуальные психологические характеристики испытуемых даны для детей 1-й–4-й возрастных групп. С помощью тестов оценены когнитивные стили: *полнезависимость (полезависимость)*, использован тест EFT, разработанный Уиткиным [44, 45]; *импульсивность-рефлексивность, эффективность решения* по методике TE-NA-ZO [38] (см. подробное описание в [20]). Был использован также *тест для выявления особенностей зрительной памяти* [7, 19, 22].

Этот тест состоит из карточек, на которых представлены комбинации геометрических фигур из 4, 5 и 7 ахроматических и цветных элементов. В качестве характеристики объема зрительной памяти служили показатели точного воспроизведения признаков формы, размера, пространственного расположения и цвета элементов, составляющих изображение.

1.6. Для определения уровня развития мышления у детей 1-й–4-й возрастных групп использованы задачи Ж. Пиаже [26]: 1) сохранение массы, веса и объема; 2) включение классов; 3) мультипликативная классификация; 4) вербальная классификация; включение дополнительных классов; 5) включение дополнительных классов; 6) мультипликация отношений (подробнее см. в [20]).

## II. Реконструкция и верификация описания СИО

II.1. Экспериментальные животные. Опыты проведены на 11 кроликах, которых в течение 3–5 дней обучали циклическому инструментальному поведению в экспериментальной клетке, оборудованной двумя кормушками (К и К') и двумя педалями (П и П') по углам (рис. 1А).

II.2. Контролируемое формирование индивидуального опыта. В дефинитивном поведении, чтобы получить пищу в кормушке (К или К'), животные должны были нажимать на педаль (П или П'), расположенную у той же стенки клетки. Таким образом, дефинитивное поведение было представлено двумя циклами на левой и правой сторонах клетки: Ц (П–К) и Ц' (П'–К'). Достижению таких этапных результатов, как захват пищи в кормушке (Р1 и Р1'), поворот головы от кормушки в сторону педали до середины стенки клетки (Р2 и Р2'), подход к педали (Р3 и Р3') и нажатие на педаль (Р4 и Р4'), животных обучали специально, в то время как подходу к кормушке (Р5 и Р5') они научались самостоятельно. Исходным для обучения был акт опускания морды животного в кормушку, который затем включался в состав достижения Р5.

При обучении разных групп животных применен различный порядок достижения этапных результатов пищедобывательного цикла (рис. 1Б).

Первую группу (из 4 кроликов) обучали получать пищу сначала на одной, а затем на другой стороне клетки. В этом случае порядок обучения достижению этапных результатов – Р1, Р5, Р2, Р3, Р4; Р1', Р5', Р2', Р3', Р4' – совпадал с порядком их достижения в дефинитивном поведении (рис. 1,Б).

Вторую группу (из 3 кроликов) обучали сначала получать пищу из обеих кормушек, а затем нажимать на педали для получения пищи в кормушках. Порядок обучения достижению этапных результатов был таким: Р1, Р5, Р1', Р5', Р2', Р3', Р4', Р2, Р3, Р4 (рис. 1,БII). В этом случае цикл Ц' фор-

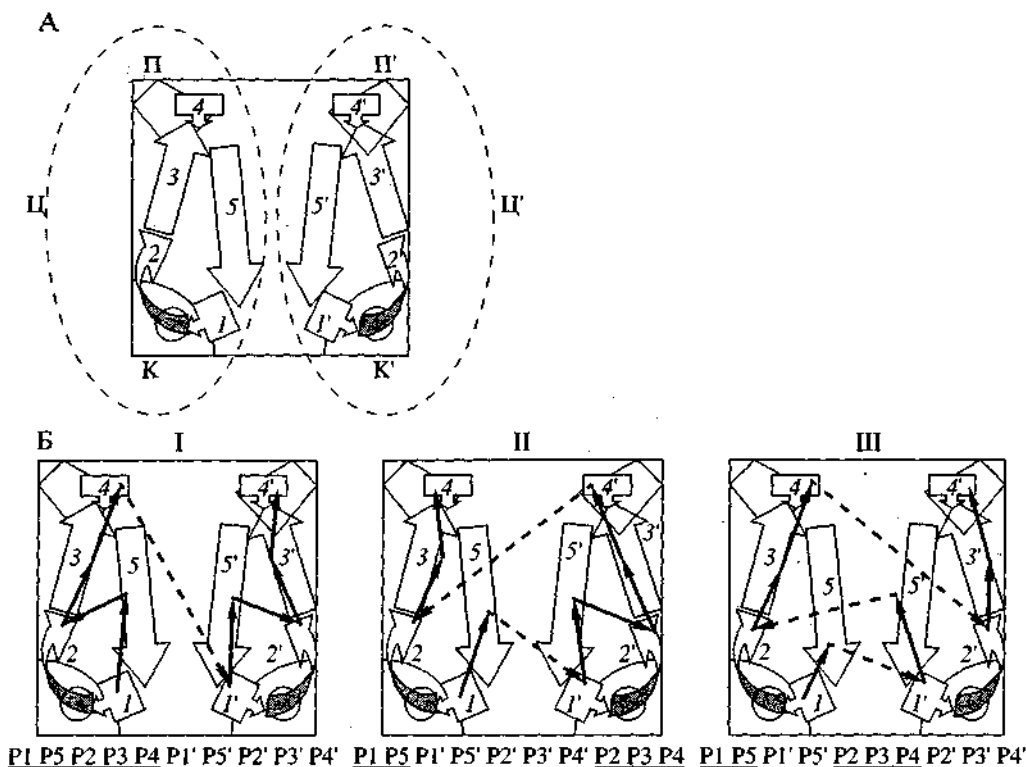


Рис. 1. Дефинитивное поведение и варианты обучения животных.

А – схема экспериментальной клетки и дефинитивного поведения животных: Ц и Ц' – циклы поведения (выделены эллипсами); К и К' – кормушки и педали в Ц и Ц' соответственно; стрелки показывают последовательность актов в дефинитивном поведении, цифры – номера актов P1, ..., P5 (Ц), P1', ..., P5' (Ц').

Б – порядок обучения достижению этапных результатов поведения: I, II, III – группы животных, темные сплошные стрелки – порядок приобретения актов, входящих в один цикл, темные штриховые – переход к обучению актам другого цикла. Под фрагментами I, II и III – порядок приобретения актов; подчеркнуты акты, входящие в цикл, с которого начинали обучение. Остальные обозначения, как на А.

мировали сразу как единую последовательность, а Ц – из результатов, приобретенных в начале и в конце обучения.

Третью группу (из 4 кроликов) также обучали сначала использованию обеих кормушек, а затем обеих педалей, но порядок обучения был иным: P1, P5, P1', P5', P2, P3, P4, P2', P3', P4' (рис. 1, БIII), т.е. оба цикла формировали из результатов, приобретенных на разных этапах обучения.

**II.3. Единицы анализа поведения и описание репертуара.** Континуум дефинитивного поведения животных описывали как последовательность поведенческих актов, используя критерии, данные во *Введении*. Независимо от способа обучения животных репертуар их поведения содержал акты, которые обозначали по достигаемым результатам: P1, P2, P3, P4, P5; P1', P2', P3', P4', P5'. Актам репертуара ставили в соответствие компоненты СИО (см. *Введение*).

**II.4. Регистрация активности нейронов.** У обученных животных регистрировали активность нейронов лимбической коры ( $P = 8-10$ ;  $L = 2-3$  по атласу [35]). Поиск нейронов осуществляли при

дистанционном погружении микроэлектрода с помощью микроманипулятора, фиксированного на голове животного, не прерывая текущее поведение. Подробное описание процедуры регистрации см. в [13–15]. Для анализа отбирали нейроны, активность которых была зарегистрирована не менее чем в пяти поведенческих циклах на каждой стороне клетки.

**II.5. Анализ активности нейронов.** В данной работе рассмотрена активность 485 нейронов, 228 из них были зарегистрированы у животных I группы, 124 – II и 133 – III. Нейроны классифицировали по характеристикам их активности, используя метод [12–15], в основе которого лежат следующие предположения:

1. Характеристики спайковой активности нейрона в конкретном акте определяются двумя независимыми факторами: его специализацией и влиянием активности других нейронов.

2. Специализация нейрона относительно конкретного поведенческого акта проявляется в обязательности его активации при реализации этого акта.

3. Влияние активности других нейронов проявляется в вариациях частоты спайковой активности данного нейрона при реализации конкретного поведенческого акта.

Таким образом, по постоянству связи активности нейрона с реализацией данного акта (при любых вариациях частоты разрядов) судили о специализации нейрона относительно данного акта, а по взаимозависимости частоты спайков при реализации данного поведенческого акта у нейронов, обладающих различными поведенческими специализациями, характеризовали взаимоотношения между этими нейронами.

**П.5.1. Типы поведенческой специализации нейронов.** Для того чтобы определить специализацию нейрона, оценивали вероятность наличия активации в каждом из выделенных актов. Нейрон считали специализированным относительно акта, в котором активация наблюдалась с вероятностью 100% [13, 14]. На основании анализа типов поведенческих специализаций нейронов выделяли *компоненты СИО*, представляющие акты репертуара.

**П.5.2. Взаимоотношения между нейронами.** Активации в актах, относительно которых данный нейрон не специализирован, рассматривали как дополнительные, отражающие взаимоотношения нейрона, обладающего специализацией определенного типа, с группами нейронов другой специализации. Частоту спайковой активности нейронов в различных поведенческих актах нормировали относительно максимальной частоты разрядов в акте, относительно которого специализирован нейрон.

Рассчитывали частные коэффициенты корреляции между нормированными оценками активности всех нейронов во всех поведенческих актах. Применение частных коэффициентов корреляции позволяет исключить вклад связи активности нейронов, входящих в выборку, в коэффициент корреляции для каждой конкретной пары нейронов. Матрицы частных корреляций между активностью нейронов для каждого поведенческого акта были рассчитаны отдельно для групп кроликов, обученных I, II и III способами. Положительные значения коэффициентов корреляции рассматривали как проявление взаимоотношений *синергии*, а отрицательные – как отношений *оппонентности* между компонентами СИО, которые представлены нейронами с различными типами специализации.

Для оценки соотношения нормированных частот дополнительных активаций нейронов различной специализации при реализации акта, относительно которого они не были специализированы, применяли критерии знаков и Вилкоксона. Этот способ оценки не предопределяет характеристики отношений как симметричных.

### П.5.3. Группы специализированных нейронов.

На основании анализа матриц частных корреляций нормированных оценок активности нейронов выделяли группы нейронов различной специализации, активность которых в поведении была согласована. В соответствии с этими группами выделяли *компоненты СИО*, представляющие группы актов репертуара.

**П.5.4. Связность СИО** оценивали отдельно для групп животных, обученных разными способами. Анализировали нормированные оценки активности нейронов в 10 поведенческих актах: 1) на основании частных корреляций рассчитывали количество групп компонентов СИО, связанных отношениями синергии и конкуренции; 2) определяли возможность разделения компонентов СИО на группы, применяя иерархический кластерный анализ переменных, описывающих активность нейронов в актах P1, ..., P5, P1', ..., P5', в качестве меры расстояния использовали коэффициент корреляции Пирсона; 3) оценивали распределение компонентов СИО в пространстве признаков, установленных методом многомерного шкалирования матрицы евклидовых расстояний оценок активности нейронов.

### П.6. Временные характеристики поведения. У

10 обученных животных определяли время выполнения поведенческого цикла (180–200 циклов на разных сторонах клетки для каждого животного). Распределение значений времени приводили к нормальному виду, используя процедуры, которые применялись при обработке значений времени выбора хода у человека.

Сравнивали времена первого и второго по порядку обучения циклов в трех группах животных (ANOVA, 2 цикла x 3 группы).

Для трех групп животных сопоставляли время выполнения цикла, а также оценки характеристик СИО: количество синергетических и оппонентных связей между компонентами, результаты кластеризации и многомерного шкалирования характеристик активности нейронов.

## III. Статистическая обработка данных

Применяли 1) *критерий  $\chi^2$* ; для оценки матриц, содержащих низкие частоты, использовали *точный критерий Фишера*; 2) *коэффициент ранговой корреляции Спирмена ( $r_s$ )*, устойчивый к отклонению распределений переменных от нормальности; 3) *частный коэффициент корреляции ( $R_{part}$ )*; 4) *дисперсионный анализ (ANOVA)*; 5) *факторный анализ* (метод главных компонент с последующим вращением OBLIMIN); 6) *многомерное шкалирование* (использовали процедуру ALSCAL, матрицу различий, евклидово расстояние); 7) *кластерный анализ*; 8) *медианный тест и критерий знаков*; 9) для оценки нормальности

распределений использовали *тест Колмогорова–Смирнова*; применяли также робастную оценку центральной тенденции Тьюки. Гипотезу  $H_0$  отвергали при  $p \leq 0.05$ . В некоторых случаях, специально отмеченных в тексте, различия при  $0.05 < p \leq 0.075$  рассматривали как проявление тенденции.

## РЕЗУЛЬТАТЫ

### 1. Реконструкция и верификация описания СИЗ у человека

**1.1. Компоненты СИЗ, представляющие акты репертуара.** При анализе первого каталога актов (классификация по описаниям двух ситуаций) было установлено, что СИЗ содержат от 81 до 162 компонентов (медиана = 121). Количество приобретаемых компонентов СИЗ уменьшалось с возрастом испытуемых. Эта зависимость достоверна (медианный тест, сравнение двух групп: 6–9 лет и старше 12 лет;  $\chi^2 = 40.01$ ,  $df = 1$ ,  $p < 0.0001$ ;  $r_s = -0.65$ ), и существенно отклоняется от линейной (оценка отклонения от линейности:  $F = 38.67$ ,  $p < 0.0001$ ).

Отклонение этой зависимости от линейной объясняется тем, что количество компонентов СИЗ значительно больше различается в группах испытуемых 10–11, 12–13 лет и у взрослых (ANOVA:  $F = 143.95$ ,  $p < 0.0001$ ;  $R^2 = 0.67$ ), чем в группах 6–7, 8–9, 10–11 лет (ANOVA:  $F = 6.02$ ,  $p = 0.003$ ;  $R^2 = 0.11$ ).

Аналогичные результаты были получены для второго каталога актов: сформированные за 260 ходов СИЗ содержали от 108 до 185 компонентов (медиана = 150). Зависимость количества приобретаемых компонентов от возраста была выявлена и для этого каталога (медианный тест, сравнение двух групп: 6–9 лет и испытуемых старше 12 лет;  $\chi^2 = 15.84$ ,  $df = 1$ ,  $p < 0.0001$ ;  $r_s = -0.57$ ). Эта зависимость также была нелинейной (оценка отклонения от линейности:  $F = 52.11$ ,  $p < 0.0001$ ).

Каждому компоненту первого каталога может быть поставлена в соответствие группа компонентов второго каталога (от 1 до 6, медиана = 2). Отношение объема второго каталога к первому увеличивалось с возрастом испытуемых (ANOVA:  $F = 41.67$ ,  $p < 0.0001$ ;  $R^2 = 0.39$ ; медианный тест:  $\chi^2 = 76.94$ ,  $df = 4$ ,  $p < 0.0001$ ;  $r_s = 0.58$ ).

Установлено, что 66 из 600 типов компонентов второго каталога совпадали у 30 и более испытуемых из 59. Оценка максимальной вероятности случайного совпадения такого количества типов для индивидуальных каталогов составила менее  $10^{-10}$ , т.е. наблюдаемое число совпадений значительно отличается от случайного.

**1.2. Взаимоотношения компонентов СИЗ, представляющих акты репертуара.** Количество отношений следования, если учитывать хотя бы

единожды реализованный переход от акта определенного типа к другому, у разных испытуемых варьировало от 150 до 180. Связи количества отношений этого типа с возрастом испытуемых выявлено не было ( $F = 0.12$ ,  $p = 0.72$ ).

*Отношения AND* выявлены у всех испытуемых. Оценки показали, что отношения этого типа связывают в среднем 27 компонентов СИЗ (оценка среднего по Тьюки) (у разных испытуемых – от 21 до 43 компонентов). Количество компонентов СИЗ, связанных отношениями AND (но не количество самих связей), увеличивается с возрастом испытуемых (медианный тест, сравнение двух групп: 6–9 лет и испытуемых старше 12 лет;  $\chi^2 = 11.62$ ,  $df = 1$ ,  $p = 0.007$ ).

*Отношения IOR и XOR* выявлены также у всех испытуемых. Количество пар компонентов СИЗ, находящихся в отношениях XOR, составляло у разных испытуемых от 24 до 448, а в отношениях IOR – от 163 до 983. Количество отношений этих типов достоверно больше у испытуемых старших возрастных групп по сравнению с младшими (медианный тест, сравнение двух групп: 6–9 лет и испытуемых старше 12 лет;  $\chi^2 = 7.95$ ,  $df = 1$ ,  $p = 0.005$ ).

**1.3. Объединения компонентов СИЗ, соответствующих актам репертуара.** Группы компонентов СИЗ, представляющие второй каталог актов и находящиеся в соответствии с определенными элементами первого каталога, содержали до 6 компонентов, которые были связаны исключительно отношениями AND, но не XOR или IOR.

Устойчивые повторяющиеся последовательности актов репертуара идентифицированы у всех испытуемых. В течение контролируемого периода приобретения компетенции у испытуемых могло сформироваться от 4 до 42 последовательностей, причем их количество увеличивалось с возрастом субъектов ( $F = 4.14$ ,  $df = 4$ ,  $p = 0.005$ ). Важно отметить, что с возрастом увеличивалось количество гибких последовательностей ( $r_s = 0.45$ ,  $p < 0.001$ ), в то время как для линейных последовательностей не наблюдалось такой зависимости ( $r_s = 0.21$ ,  $p = 0.106$ ). Количество отношений следования между компонентами гибких последовательностей оказалось линейно связанным с возрастом ( $F = 4.87$ ,  $df = 4$ ,  $p = 0.002$ ; оценка линейности:  $F = 15.56$ ,  $p = 0.0002$ , отклонение от линейности:  $F = 1.31$ ,  $p = 0.28$ ). Для линейных последовательностей такой зависимости не установлено (оценка линейности:  $F = 0.22$ ,  $p = 0.64$ , отклонение от линейности:  $F = 4.03$ ,  $p = 0.01$ ).

Количество компонентов СИЗ, составляющих последовательности, возрастало по мере приобретения компетенции испытуемыми: у наиболее успешных игроков в последовательности входило до 8 компонентов, включающие же 7 и 8 компонентов наблюдались лишь у взрослых испытуемых, а состоящие из 6 формировались у взрослых

раньше, чем в других возрастных группах, на 50–60 актов игры.

Компоненты, составляющие определенные последовательности, могли быть связаны отношениями AND или IOR. Ни в одном случае между ними не было отмечено отношений XOR.

Было установлено, что отношения AND, XOR и IOR связывают компоненты СИЗ, представляющие акты репертуара, в группы, между которыми отношения данных типов не определяются. Количество таких групп составляло у разных испытуемых от 7 до 30; из них от 4 до 11 содержали более трех компонентов СИЗ, максимальный объем этих групп у отдельных испытуемых составлял от 3 до 36 компонентов. Предварительный анализ показал, что подобные группы включают компоненты СИЗ, преимущественно связанные с определенными содержательными характеристиками деятельности, например, с начальной стадией игр (дебютом) или с завершением (эндшпилем), с игрой крестиками либо ноликами, с выигрышами либо проигрышами, реализацией игровых комбинаций и т.п.

С возрастом испытуемых увеличивается количество отношений XOR и IOR между компонентами СИЗ, включенными в одну и ту же группу (медианный тест, сравнение двух групп: 6–9 лет и испытуемых старше 12 лет;  $\chi^2 = 4.98$ ,  $df = 1$ ,  $p = 0.026$ ), т.е. группы компонентов СИЗ у более взрослых испытуемых обладают большей связностью. Отношения XOR дифференцируют группы на пересекающиеся подмножества компонентов. У разных испытуемых максимальное количество таких подмножеств составляло от 7 до 42, причем их максимальный объем достигал 18–37 компонентов. Дифференциация групп в результате формирования отношений XOR увеличивается с возрастом: количество подмножеств, определенных на группах, возрастает (медианный тест, сравнение двух групп: 6–9 лет и испытуемых старше 12 лет;  $\chi^2 = 6.24$ ,  $df = 1$ ,  $p = 0.013$ ), в то время как их объем не претерпевает изменений (медианный тест, сравнение тех же групп:  $\chi^2 = 0.6523$ ,  $p = 0.4193$ ).

**1.4. Связность СИЗ.** Кластерный анализ наборов характеристик, описывающих СИЗ, показал, что ни один из признаков, использованных для описания структуры знания, не имел исключительного значения в разбиении массива на кластеры; все полученные кластеры были политетическими, выделенными по определенным сочетаниям значений признаков, а не их фиксированным величинам [23].

При сопоставлении характеристик различных кластеров (медианный тест, для всех сравнений  $df = 4$ ,  $p < 0.001$ ) было установлено, что увеличению ранга кластера соответствует: 1) увеличение количества компонентов СИЗ, представляющих

акты репертуара, объединенные в группы, и снижение числа изолированных компонентов; 2) уменьшение количества групп при одновременном увеличении числа включенных в них компонентов СИЗ; 3) возрастание степени дифференциации групп на пересекающиеся подмножества; 4) увеличение количества отношений AND, XOR и IOR и компонентов, связанных этими отношениями; 5) формирование большего количества последовательностей, включающих больше компонентов СИЗ.

Обнаружено, что типы СИЗ, выделенные по сочетаниям признаков, достаточно хорошо соответствуют возрасту испытуемых ( $r_s = 0.723$ ,  $p < 0.001$ ). Кластеры ранга 1 более характерны для детей младших возрастных групп, а выше ранга 3 – для детей старших групп и взрослых.

Установлено, что констелляция признаков, характеризующая связность СИЗ и приписанная к определенному кластеру, не является постоянной характеристикой субъекта. На интервале между 150 и 260 актами игры отмечено увеличение частоты встречаемости кластеров более высокого ранга. Например, если для испытуемых 8–9 лет в начале этого интервала наиболее частым был кластер №1, то к его завершению доминируют по частоте кластеры №2 и/или №3.

В результате факторного анализа дескрипторов СИЗ выделены 3 фактора, объясняющие 80.2% дисперсии.

В первый фактор (39.5% дисперсии) вошли с наибольшими факторными весами: количество компонентов первого (0.83) и второго каталогов (0.71), отношений следования (0.61), количество линейных последовательностей (-0.80) и отношений между их компонентами (-0.89). Этот фактор был интерпретирован как "основные составляющие СИЗ".

Второй фактор (26.6% дисперсии) включает переменные, описывающие отношения IOR (0.93), XOR (0.94), количество пересечений групп базовых компонентов (0.81), гибких последовательностей (0.56) и групп, между которыми отношения AND, IOR и XOR не определяются (-0.63). Этот фактор получил интерпретацию как "дифференцированность СИЗ".

В состав третьего фактора ("интегрированность СИЗ") (14.1%) вошли: количество отношений AND (0.85) и связывающих группы компонентов СИЗ, которые представляют второй каталог актов, находящиеся в соответствии с определенными элементами первого каталога (0.93).

Даже после процедуры косоугольного вращения факторы "дифференцированность СИЗ" и "интегрированность СИЗ" остались несвязанными ( $R = -0.03$ ,  $p = 0.14$ ), т.е. они представляют ортогональные оси пространства, позволяющего описать СИЗ как связную структуру [17, с. 68].



**Таблица 1.** Оценки зависимости времени выбора хода от возраста испытуемых (медианный тест) для начала и завершения формирования компетенции при реализации актов, представленных изолированными или объединенными в группы компонентами СИЗ

Компоненты СИЗ	Формирование компетенции (порядковые номера актов)	
	начало (акты 1–70)	завершение (акты 190–260)
Изолированные	$n=1711$ $\chi^2=9.74$ $df=4$ $p=0.045$	$n=688$ $\chi^2=18.15$ $df=4$ $p=0.012$
Объединенные в группы AND, IOR или XOR	$n=1857$ $\chi^2=61.68$ $df=4$ $p<0.0001$	$n=3044$ $\chi^2=158.97$ $df=4$ $p<0.0001$

Напротив, факторы "основные составляющие СИЗ" и "интегрированность СИЗ" достаточно тесно связаны ( $R = 0.19$ ,  $p < 0.001$ ), что указывает на фундаментальное значение отношений AND в организации СИЗ.

Анализ факторных нагрузок показал, что отношения следования и отношения между компонентами линейных последовательностей расположены на полюсах оси первого фактора и поэтому являются разными типами отношений компонентов СИЗ. Количество линейных и гибких последовательностей вошло в некоррелированные первый и второй факторы и, следовательно, эти виды последовательностей являются разными типами компонентов СИЗ. Отношения AND и отношения, связывающие группы компонентов СИЗ второго каталога, находящихся в соответствии с определенными элементами первого каталога, располагаются на одном полюсе оси третьего фактора, и поэтому являются одним и тем же типом отношений.

Для части компонентов СИЗ взаимоотношения AND, XOR и IOR не определяются. Количество таких "изолированных" компонентов составляет от 9 до 69 у разных испытуемых, или от 8 до 41% от общего количества, составляющего индивидуальный репертуар. Количество изолированных компонентов уменьшается с возрастом испытуемых и в абсолютном выражении (ANOVA:  $F = 32.84$ ,  $df = 4$ ,  $p < 0.0001$ ; медианный тест, сравнение двух групп: 6–9 лет и испытуемых старше 12 лет;  $\chi^2 = 25.42$ ,  $df = 1$ ,  $p < 0.0001$ ), и в процентном (ANOVA:  $F = 34.20$ ,  $df = 4$ ,  $p < 0.0001$ ; медианный тест, сравнение двух групп: 6–9 лет и испытуемых старше 12 лет;  $\chi^2 = 29.08$ ,  $df = 1$ ,  $p < 0.0001$ ).

**1.5. Соотношение характеристик СИЗ и времени выбора хода.** Средняя длительность выбора хода составила  $M = 3.53$  с, медиана = 2.25 с,  $\delta = 4.02$  с, размах распределения – от 0.33 до 47.18 с. Оценка нормальности распределения по критерию Колмогорова–Смирнова для выборки:  $KS =$

$= 21.65$ ,  $p < 0.0001$ . После применения процедуры нормализации:  $M = -0.05$ , медиана = -0.07,  $\delta = 1.01$ ;  $KS = 1.27$ ,  $p = 0.07$ .

Время выбора хода не зависит от объема группы компонентов второго каталога, которая соответствует одному компоненту первого каталога и представляет определенную альтернативу при выборе хода ( $\chi^2 = 0.13$ ,  $df = 2$ ,  $p = 0.93$ ).

Показано, что время выбора хода достоверно меньше, если компонент СИЗ, соответствующий выбранному акту репертуара, включен в сформированную ранее последовательность, по сравнению с выбором акта, не включенного в последовательность ( $\chi^2 = 10.44$ ,  $df = 4$ ,  $p = 0.0012$ ).

Установлено, что на интервале между 150 и 260 актами игры длительность выбора хода достоверно различается у испытуемых разных возрастных групп: 1.74 с – у детей 6–7 лет, 2.05 с – у 10-летних, 2.83 с – у взрослых (медианный тест,  $\chi^2 = 168.5$ ,  $df = 4$ ,  $p < 0.0001$ ). Сходным образом время выбора хода связано с рангом кластера: 1.87 с – для кластера №1; 2.16 с – для кластера №3; 3.50 с – для кластера №5 (медианный тест,  $\chi^2 = 118.5$ ,  $df = 4$ ,  $p < 0.0001$ ).

Анализ показал, что возраст не является основным фактором, определяющим вариативность времени выбора хода. Наиболее важный фактор – постепенное приобретение компетенции: различия кластеров по времени выбора хода существенно меньше в начале игр, чем в конце. Другой фактор, влияние которого проявляется в изменении времени выбора хода, – наличие взаимоотношений данного компонента с другими. Это показало сравнение времени выбора хода у испытуемых разного возраста раздельно по двум выборкам компонентов СИЗ, в одну из которых вошли изолированные компоненты, а в другую – объединенные в группы (см. табл. 1).

Время выбора хода, продемонстрировавшее высокую корреляцию с рангом кластера, показало тесную связь также и с переменными, эффек-

тивными при разбиении массива данных на классы (см. *Результаты I.4*).

**I.6. Соотношение параметров СИЗ и индивидуальных психологических характеристик испытуемых.** Количество правильно решенных задач мультипликации отношений (мультипликативной сериации) положительно коррелирует с показателем связности СИЗ ( $r_s = 0.62, p < 0.001$ ). При этом значимые корреляции наблюдались и с некоторыми переменными, которые были использованы при оценке связности: с развитием отношений следования ( $r_s = 0.58, p < 0.001$ ), отношений AND ( $r_s = 0.45, p = 0.005$ ). Эти результаты позволяют предполагать, что более высокая дифференциация структуры знания в исследуемой области может соответствовать большему числу правильных решений задач на построение отношений ряда [26].

Оценки полезности по тесту включенных фигур Уиткина показали отрицательную корреляцию с показателем связности структуры знания ( $r_s = -0.396, p = 0.009$ ). Это означает, что высокая степень структурированности индивидуального знания в анализируемой предметной области соответствует высокой результативности выделения существенных характеристик объектов в других предметных областях знания.

Оценка импульсивности снижается при увеличении количества устойчивых последовательностей компонентов СИЗ ( $r_s = -0.39, p = 0.009$ ), т.е. если субъект в рассматриваемой предметной области способен к планированию нескольких вариантов достижения целей на несколько шагов вперед, то он проявляет меньшую зависимость от ситуативных характеристик деятельности и в других предметных областях.

Количество правильно воспроизведенных деталей фигур максимальной сложности (пятикомпонентных) в тесте зрительной памяти положительно коррелировало с показателем связности СИЗ ( $r_s = 0.57, p < 0.001$ ). Значительный вклад в эту связь вносила переменная, описывающая число компонентов СИЗ, объединенных в группы ( $r_s = 0.39, p = 0.009$ ). Этот результат позволяет полагать, что возможность одновременной актуализации больших наборов компонентов СИЗ в стратегической игре будет проявляться в успешном решении задач, требующих воспроизведения характеристик больших количеств сложных объектов.

## II. Реконструкция и верификация описания СИО у кролика

**II.1. Компоненты СИО, представляющие акты репертуара и их группы.** У животных трех групп были зарегистрированы нейроны, специализированные относительно всех актов реперту-

ара. Распределения частот встречаемости специализаций нейронов относительно 10 актов двух циклов не различались в трех группах животных ( $\chi^2 = 22.39, df = 18, p = 0.21$ ). Распределение специализаций по актам было неравномерным ( $\chi^2 = 13.45, df = 4, p = 0.009$ ) за счет большего количества нейронов, специализированных относительно подхода к педалям (акты P3 и P3'), подхода к кормушке и захвата пищи (акты P5 и P5', P1 и P1'), и меньшего – относительно поворота от кормушки к педали и нажатия на нее (акты P2 и P2', P4 и P4').

Кроме нейронов, специализированных относительно одного акта, выявлены нейроны, постоянные активации которых наблюдались при выполнении не одного, а двух актов репертуара. Например, нейроны активировались при реализации двух последовательных актов: при подходе к кормушке и при захвате пищи, т.е. акты P5 и P1 (P5' и P1'), или при подходе к педали и нажатии на нее, т.е. акты P3 и P4 (P3' и P4'). Другой тип "двойной" специализации – постоянная связь активности нейрона не с последовательными, а с разделенными во времени актами, например с нажатием на обе педали, т.е. с актами P4 и P4', или с опусканием морды в обе кормушки, т.е. актами P1 и P1'. Заметим, что нейроны с такой формой специализации наблюдались относительно редко.

Оценка пропорции количества нейронов, специализированных по отношению к актам нажатия на две педали в обоих циклах, и нейронов, специализированных по отношению только к одной педали (либо в одном, либо в другом цикле), показала, что "двойная" специализация наблюдалась в группе животных, обученных I способом, чаще (7 из 15), чем в группах животных, обученных II и III способами (4 из 27) (точный критерий Фишера,  $p = 0.031$ ). Для других специализаций такого рода какой-либо связи со способом обучения выявлено не было.

Таким образом, найдены группы нейронов со сходной специализацией, представляющие компоненты СИО. Некоторые из этих групп нейронов специализированы относительно одного акта репертуара, другие – относительно двух актов репертуара.

Набор компонентов СИО первого типа (представленных нейронами с одинарной специализацией) не зависит от способа обучения животных, в то время как набор компонентов СИО второго типа ("двойная" специализация нейронов) зависит от истории научения.

**II.2. Взаимоотношения между компонентами СИО, представляющими акты репертуара.** Активация специализированного нейрона в специфическом акте оказывает существенное влияние на уровень дополнительных активаций других нейронов в этом же акте. Например, активация группы нейронов, специализированных относительно

подхода к кормушке (акт P5) в цикле Ц, повышает активность нейронов, связанных с захватом пищи в том же цикле (P1) ( $R_{part} = 0.31, p < 0.0001$ ), и при этом по-разному влияет на частоту активности нейронов, специализированных относительно подхода к педалям: понижает ее у нейронов, связанных с актом P3 в цикле Ц ( $R_{part} = -0.11, p = 0.022$ ), и повышает – у нейронов, специализированных относительно P3' (Ц') ( $R_{part} = 0.28, p < 0.0001$ ). Активация нейронов, специализированных относительно аналогичного акта в Ц' (P5'), оказывает "симметричное" влияние на дополнительные активации нейронов – повышает активность нейронов, связанных с P1' (Ц') ( $R_{part} = 0.31, p < 0.0001$ ), и P3 (Ц) ( $R_{part} = 0.29, p < 0.0001$ ), и снижает – у нейронов, специализированных относительно P3' (Ц') ( $R_{part} = -0.15, p = 0.0011$ ). Применение этого метода позволяет диагностировать асимметричные отношения, однако ни одного случая асимметрии отношений синергии и оппонентности зафиксировано не было.

Общими для трех групп животных являются только положительные связи между группами нейронов, активирующихся в актах подхода к кормушкам и захвата в них пищи. Приведем в качестве примера пары P5–P1 в цикле Ц ( $R_{part} = 0.27, p = 0.0019$ ) и P5–P1' в Ц' ( $R_{part} = 0.31, p = 0.0004$ ), захвата пищи в Ц и Ц' (акты P1 и P1') ( $R_{part} = 0.28, p = 0.0012$ ), подхода к педали и нажатия на нее: пары P3–P4 ( $R_{part} = 0.39, p < 0.0001$ ) и P3'–P4' ( $R_{part} = -0.28, p = 0.0021$ ), а также между актами подхода к кормушке в одном цикле и подхода к педали – в другом: пары актов P3–P5' ( $R_{part} = 0.20, p < 0.031$ ) и P3'–P5 ( $R_{part} = 0.19, p < 0.038$ ).

Отрицательные коэффициенты корреляции в группах животных, обученных разными способами, связывали активность нейронов разнотименных актов в Ц и Ц'. Так, отрицательные корреляции между актами подхода к педали P3 и к кормушке P5 на каждой стороне клетки, т.е. в Ц ( $R_{part} = -0.14, p = 0.038$ ) и в Ц' ( $R_{part} = -0.18, p = 0.0069$ ), обнаружены лишь в I группе. Во II группе выявлена лишь тенденция к отрицательной связи для пары актов P3' и P5' ( $R_{part} = -0.17, p = 0.069$ ). Для III группы не было найдено даже тенденции такой связи. Негативная связь между P1 (захват пищи в кормушке цикла Ц) и P2' (жевание и поворот от кормушки к педали в цикле Ц') была выявлена для II ( $R_{part} = -0.26, p = 0.006$ ) и III групп ( $R_{part} = -0.20, p = 0.024$ ), а между P5 (подход к кормушке в цикле Ц) и P4' (нажатие педали в цикле Ц') – для I ( $R_{part} = -0.15, p = 0.028$ ) и II групп ( $R_{part} = -0.24, p = 0.008$ ).

Только у животных, обученных I способом, выявлены отрицательные корреляции, не встречающиеся у животных, обученных II и III способами: между актами P5' (подход к кормушке в Ц') и P4 (нажатие педали в Ц) ( $R_{part} = -0.21, p = 0.002$ ),

в паре актов P3' и P5' (подход к педали и к кормушке в Ц') ( $R_{part} = -0.18, p = 0.007$ ), и для актов P5 (подход к кормушке в Ц) и P1' (захват пищи в кормушке в Ц') ( $R_{part} = -0.16, p = 0.021$ ); следует также отметить тенденцию к отрицательной корреляции между аналогичной парой актов P5' и P1

Анализ показал, что отношения синергии связывают компоненты СИО, обладающие определенной общностью, проявляющейся в сходстве актов, которые представляют эти компоненты: по целям (аналогичные акты в двух циклах), по двигательной активности (например, в актах подхода к педали P3 в цикле Ц и подхода к кормушке P5 в цикле Ц'). Оппонентные отношения компонентов СИО наблюдаются при значительных несоответствиях содержательных характеристик актов, которые представляют эти компоненты, например, подход к кормушке P5 и нажатие педали P4' или P1 и P2' – во всех случаях это акты, совершающиеся в разных циклах Ц и Ц'.

**П.3. Связность СИО.** Сравнение количества достоверных ( $p \leq 0.05$ ) частных корреляций между переменными, описывающими активность групп нейронов в 10 поведенческих актах, показало, что в I группе животных таких связей больше, чем в III ( $\chi^2 = 4.22, df = 1, p = 0.039$ ). Если учитывать только высокие коэффициенты корреляции, для которых  $p < 0.001$ , то количество связей компонентов СИО в I и II группах животных не различается ( $\chi^2 = 0.43, df = 1, p = 0.83$ ), а в III группе достоверно меньше, чем в I и II группах ( $\chi^2 = 4.52, df = 1, p = 0.033$ ).

Эти результаты показывают, что отношения, связывающие компоненты СИО в целостное образование, наиболее развиты и разнообразны в I и II группах животных, и наименее – в III.

Иерархический кластерный анализ 10 переменных, описывающих активации нейронов в поведенческих актах циклов Ц и Ц', показал, что для группы животных, обученных I способом, переменные разделяются на 3 кластера (рис. 2, I). Первый кластер включал две пары наиболее тесно связанных переменных, характеризующих активность нейронов в актах подхода к педалям и нажатие на них в циклах Ц' и Ц (P3–P4' и P3–P4). Второй кластер включал описание активности в актах захвата пищи в обеих кормушках (P1 и P1' в циклах Ц и Ц'). Третий кластер описывает активность в актах, связанных с получением пищи (P2 и P2' – жевание и поворот от кормушки; P5 и P5' – подход к кормушкам).

Для животных, обученных II и III способами (рис. 2, II и III), также были выделены попарные группировки переменных, описывающих одноименные акты в циклах Ц и Ц'. Наиболее тесно связанная пара для животных всех групп – акты

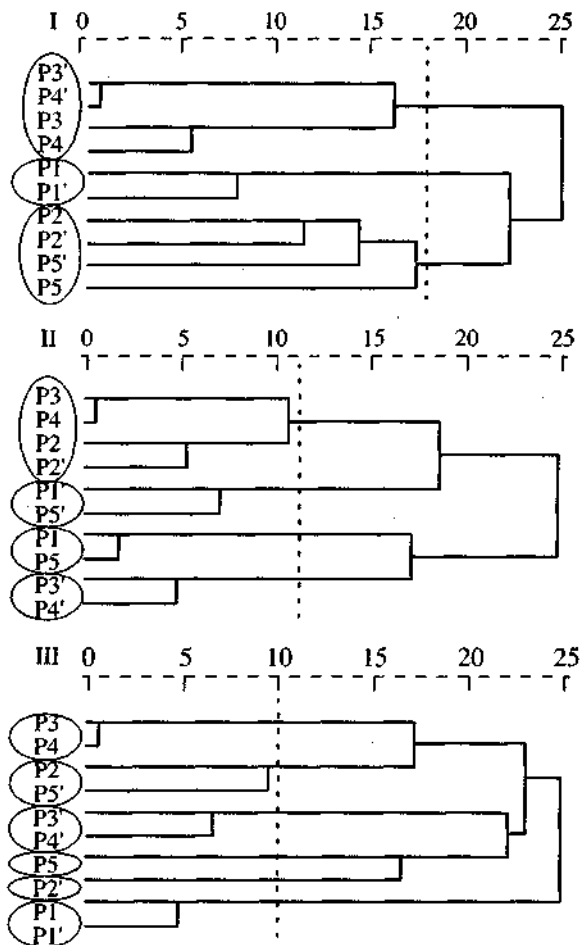


Рис. 2. Дендрограммы разбиения нормированных оценок частоты спайковой активности нейронов в актах пищедобывательного поведения на кластеры у животных, обученных разными способами. P1, ..., P5 – акты цикла Ц, P1', ..., P5' – Ц'; I, II, III – группы животных; по горизонтали – нормированное расстояние между кластерами, вертикальными штриховыми линиями отмечены "значимые скачки" коэффициента слияния. Кругжками обведены объекты, объединенные в кластеры.

подхода к педалям и нажатия на них в Ц или Ц', т.е. P3 и P4 или P3' и P4'.

Три кластера, определенные для I группы животных, включали 2, 4 и 4 объекта, для II группы – определено разбиение на четыре кластера – один крупный (4 объекта) и три кластера по два объекта, а для III группы шесть мелких кластеров – четыре кластера по два объекта и два кластера по одному объекту в каждом. Таким образом, СИО животных, обученных III способом, содержит большее количество групп компонентов СИО меньшего объема по сравнению с животными, обученными I и II способами (рис. 2, ср. I, II и III).

Анализ активности нейронов методом многомерного шкалирования показал, что данные могут быть описаны в двухмерной системе координат достаточно хорошо (для моделей по трем

группам животных  $S\text{-stress} < 0.025$ ,  $R^2 > 0.58$ ). Качество моделей не улучшалось существенно при переходе к трехмерному пространству и ухудшалось при переходе к одномерному.

Сопоставление расположения точек, представляющих активность нейронов на плоскости, для трех групп животных (рис. 3, I, II и III) показало, что точки, представляющие активность в актах цикла Ц, расположены так, что на один полюс оси 1 проецируются акты P5 и P1 (подход к кормушке и захват пищи), а на другой полюс – P3 (подход к педали). Проекция P2 и P4 (поворот от кормушки к педали и нажатие на нее) располагаются между ними так, что траектория, соединяющая все точки, воспроизводит порядок реализующих актов в цикле. Проекция точек, соответствующих актам цикла Ц', на ось 2 упорядочены таким же образом. Можно полагать, что оси 1 и 2 отображают особенности и соотношение активности нейронов при реализации актов, составляющих Ц и Ц'.

Отображения данных на плоскость для групп I, II и III совпадают с точностью до ортогонального поворота осей. Заметим, что евклидово расстояние инвариантно относительно вращения системы координат.

Хотя расположение актов на плоскости для всех трех групп животных обладает значительным сходством, отметим, что для I и II групп точки, представляющие активность нейронов в актах P2, P3, P4 (цикл Ц) и P2', P3', P4' (цикл Ц'), располагаются в непосредственно примыкающих друг к другу областях плоскости отображения. Для III группы точки, представляющие активность в этих актах, занимают области плоскости, далеко отстоящие друг от друга (ср. рис. 3, I, II и III), так что центральная часть плоскости остается незаполненной.

По сравнению с I и II группами в III группе животных между компонентами СИО формируется меньше взаимоотношений, причем в наибольшей степени это касается отношений оппонентности (частные корреляции); СИО содержит больше мало связанных кластеров компонентов (кластерный анализ); компоненты СИО, представляющие акты циклов Ц и Ц', меньше связаны друг с другом (многомерное шкалирование). Таким образом, СИО, сформированные при I и II способах обучения, обладают высокой связностью и сходны в этом отношении, СИО в III группе животных характеризуется существенно меньшей связностью.

#### II.4. Временные характеристики поведения.

Средняя длительность выполнения пищедобывательного цикла составила  $M = 6.33$  с, медиана = 5.85 с,  $\delta = 2.38$  с, размах распределения – от 2.0 до 21.9 с. Оценка нормальности распределения по критерию Колмогорова–Смирнова для выборки

**Таблица 2.** Сопоставление времени выполнения пищедобывательного цикла при разных способах обучения животных

Способ обучения	I	II	III
I	6.265 0.207	$F = 0.003$ $p = 0.957$ I = II	$F = 181.99$ $p < 0.0001$ I > III
II	$\chi^2 = 13.5$ $p = 0.246$ I = II	6.090 0.155	$F = 134.42$ $p < 0.0001$ II > III
III	$\chi^2 = 104.65$ $p < 0.0001$ I > III	$\chi^2 = 85.16$ $p < 0.0001$ II > III	4.783 -0.574

Примечание. По диагонали показаны оценки среднего времени по Тьюки: сверху – секунды; снизу – нормализованное время; над диагональю матрицы – величины  $F$  (ANOVA), оценка достоверности ( $p$ ) и направленность различий; под диагональю – то же для медианного теста ( $X^2$ ).

$KS = 4.24$ ,  $p < 0.0001$ . После применения процедуры нормализации:  $M = 0.0$ , медиана =  $-0.003$ ,  $\delta = 1.00$ ;  $KS = 0.27$ ,  $p = 1.0000$ .

Результаты сопоставления времени выполнения цикла пищедобывательного поведения для кроликов, обученных различными способами, приведены в табл. 2. Показано, что у животных, обученных III способом, длительность цикла значительно меньше, чем при обучении I и II способами.

Сопоставление времени выполнения циклов Ц и Ц' (медианный тест) не выявило достоверных различий ни для одной группы животных. При проведении индивидуальных сравнений установлена достоверная разница времени выполнения циклов только у двух животных, обученных I способом – у кроликов №1 ( $\chi^2 = 6.48$ ,  $df = 1$ ,  $p = 0.011$ ) и №5 ( $\chi^2 = 9.98$ ,  $df = 1$ ,  $p = 0.002$ ).

## ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

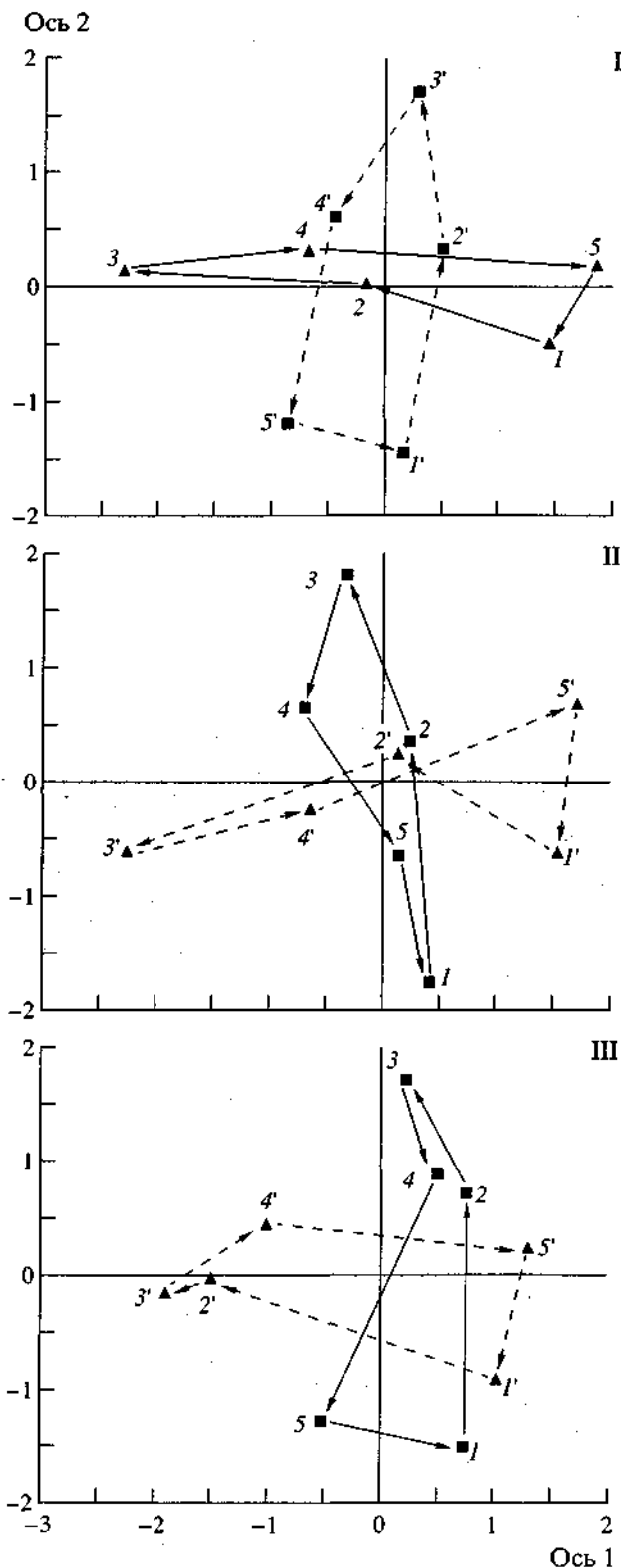
### I. Реконструкция и верификация описания СИЗ у человека

**I.1. Компоненты СИЗ, представляющие акты репертуара.** Количество компонентов СИЗ, входящих в первый и второй каталоги, по-разному зависит от возраста испытуемых. Компоненты первого каталога формируются в существенно большем количестве у испытуемых младших возрастных групп, а их дифференциация, т.е. образование компонентов СИЗ второго каталога, протекает более интенсивно у старших испытуемых. Эти результаты позволяют предполагать различное происхождение и разное значение в структуре индивидуального знания компонентов СИЗ первого и второго каталогов.

Ранее нами было показано [2], что компоненты СИЗ первого каталога формируются как группы потенциальных актов, т.е. являются "протокомпонентами", которые, дифференцируясь, порождают новые компоненты СИЗ второго каталога, реализующиеся и доступные наблюдению как акты игры. Важно, что компоненты СИЗ первого каталога, хотя и представляют собой унитарные образования, не проявляются прямо, и их существование может быть установлено лишь косвенными методами – например по изменениям времени выбора хода в ситуации формирования таких компонентов [2].

**I.2. Взаимоотношения компонентов СИЗ, представляющих акты репертуара.** СИЗ в данной предметной области может быть рассмотрена как неоднородная семантическая сеть (см. [20]). Этот формализм для представления знаний был введен Г.С. Осиповым и в простейшем случае есть совокупность множества объектов и семейства отношений на данном множестве [24, с. 48–49]. В приведенном исследовании отношения каждого типа были охарактеризованы по свойствам транзитивности, рефлексивности и симметричности (формальные определения и анализ этих свойств отношений подробно даны в [24; с. 52]). Используя эти свойства, можно сопоставить отношения, идентифицированные нами при анализе СИЗ, и описанные в [24].

В основе примененной нами методики выделения отношений следования лежит представление СИЗ в виде ориентированного графа, ребра которого и являются отображением такого типа отношений. На основании свойств ребер ориентированного графа (см. [30]) можно утверждать, что



**Рис. 3.** Геометрическая модель соотношения активности нейронов в актах пищедобывательного поведения кролика, построенная методом многомерного шкалирования. I, II, III – группы животных; 1, 2, 3, 4, 5 – акты цикла I, траектория их смены обозначена сплошными стрелками; 1', 2', 3', 4', 5' – акты цикла II, траектория их смены обозначена штриховыми стрелками

отношение следования нетранзитивно, нерелексивно, несимметрично. Из списка отношений, данного Г.С. Осиповым, наиболее полно отношению следования соответствует каузальная связь "X вызывает Y", которая, однако, отличается от отношения следования тем, что она транзитивна. Отношение следования на ориентированном графе не обладает свойством транзитивности, поскольку из существования ребер  $(a, b)$  и  $(b, c)$  не следует актуального существования ребра  $(a, c)$ . Отношение следования может обладать свойством транзитивности лишь в особых графах, например, типа "транзитивной тройки" [30, с. 241]. Заметим, что этими свойствами не обладал ни один из проанализированных нами графов, представляющих СИЗ.

Отношению AND соответствует комитативная связь "X сопровождается Y"; эти отношения транзитивны, рефлексивны и антисимметричны [24, с. 52]. Отношение с такими свойствами называют отношением эквивалентности [11, с. 218].

Точный аналог отношения XOR, приведенный в [24, с. 54], – негативная связь "X отрицает Y". Эти отношения обладают одинаковыми свойствами: они нетранзитивны, антирефлексивны и симметричны.

Отношению IOR можно поставить в соответствие модально-комитативную связь "X может сопровождаться Y" [там же, с. 53]. Это соответствие основывается на совпадении свойств нетранзитивности, рефлексивности, несимметричности.

Заметим, что свойства отношений AND, XOR и IOR обусловлены способом их идентификации, поэтому наличие этих, а возможно, и других свойств должно быть верифицировано независимыми способами.

Поскольку результаты данного исследования, а также работы [2], дают основание считать группы компонентов второго каталога продуктом дифференциации соответствующих протокомпонентов, представляется правдоподобным предположение, что их связывает отношение генерации ("X порождает Y"). Это отношение нетранзитивно, антирефлексивно, несимметрично [24, с. 58–59]. Однако участие данной группы в принятии решения как единого целого заставляет предположить, что протокомпонент и порожденные им компоненты СИЗ связывает также отношение, координирующее существование этих компонентов как единой группы. Подобную роль могла бы выполнить инструментальная связь "X является средством Y", которая соответствует ситуации "когда среди признаков Y есть признак X с именем "средства", а имя события X есть одно из значений этого признака". Такое отношение нетранзитивно, нерелексивно, асимметрично [там же, с. 54–55]. Специально отметим "аспектность" действия инструментальной связи: на одном и том

же множестве компонентов могут перекрываться одновременно реализующиеся отношения, ориентированные на разные признаки или значения одного и того же признака.

Результаты факторного анализа дескрипторов СИЗ показывают, что отношения между компонентами второго каталога, образующие последовательности, отличаются от отношений следования. Однако для того, чтобы определить, в чем именно состоит их различие, необходимо специальное исследование.

**1.3. Группы компонентов СИЗ.** Компоненты СИЗ второго каталога, имеющие общее происхождение – от общего протокомпонента, могут рассматриваться как единая группа уже на этом основании. Следует заметить также, что данные компоненты сопутствуют друг другу как обязательные составляющие определенной полустепени исхода, и, по определению, должны быть связаны отношениями AND. Действительно, результаты факторного анализа показали, что отношения, связывающие компоненты СИЗ второго каталога, неотличимы от отношений AND.

Повторяющиеся последовательности компонентов СИЗ могут быть интерпретированы как игровые стратегии, поскольку они фиксируют устойчивые способы достижения отдаленных целей игры. В пользу этого говорит также связь характеристик последовательностей с достигнутым уровнем компетенции субъекта и снижение времени выбора хода при реализации сформированной ранее последовательности.

Стратегии представляют собой особый тип групп компонентов СИЗ. Их нельзя рассматривать просто как наиболее часто повторяющиеся цепочки актов, потому что любые компоненты СИЗ, реализующиеся последовательно, связаны отношениями следования. Результаты показывают, что отношения, связывающие компоненты СИЗ в стратегии, отличаются от отношений следования. Заметим, что компоненты СИЗ, составляющие стратегии, никогда не находятся в отношении XOR, из чего следует, что множество компонентов, составляющих стратегию, не подразделяется на подмножества. Устойчивость стратегий есть проявление их свойств как структурных образований.

Существование гибких стратегий позволяет предполагать наличие специальных компонентов СИЗ, координирующих реализацию актов, включенных в стратегии через "инструментальное" отношение (см. *Обсуждение 1.2*).

Группы компонентов СИЗ, связанных отношениями AND, XOR и IOR, – особый тип структурных образований, которые можно обозначить как области или "домены" СИЗ. В пользу высказанного предположения говорят следующие результаты: 1) эти группы и их субструктура обес-

печивают важные характеристики взаимодействия субъекта с предметной областью знания; 2) их развитие соответствует компетенции субъекта; 3) временные характеристики деятельности зависят от включенности реализуемого акта в подобную группу и от степени ее связности. Выявленные соотношения объясняются именно тем, что домены как структурные образования фиксируют достигнутый субъектом уровень обобщения/дифференциации предметной области знания.

По аналогии с компонентами, координирующими реализацию стратегий, можно предположить существование специальных компонентов СИЗ, которые обеспечивают организацию доменов как целостных образований. Важно, что инструментальная связь, которая, по нашему предположению, поддерживает такую координацию, может обеспечить функционирование доменов, разделенных на пересекающиеся подмножества в соответствии с важными для субъекта аспектами предметной области знания (см. *Обсуждение 1.2*).

**1.4. Связность СИЗ, содержательные и временные особенности деятельности.** Структура знания, типичная для взрослого человека, компетентного в игре, содержит небольшое количество крупных доменов СИЗ, в высокой степени дифференцированных на пересекающиеся подмножества за счет высокоразвитых отношений между компонентами, и лишь небольшое количество изолированных компонентов. Такую структуру охарактеризуем как обладающую высокой связностью. Связность можно рассматривать как оценку целостности СИЗ, взаимосвязи компонентов и их групп, возможности обобщенных и дифференцированных взаимоотношений субъекта с предметной областью знания. Связность структуры увеличивается и в возрастном ряду, и у конкретных испытуемых – в процессе приобретения компетенции.

Установленная зависимость времени выбора хода от оценки связности СИЗ показывает, что временные характеристики деятельности определяются особенностями структуры знания как целостного образования. Различия времени выбора хода в ситуациях реализации изолированных компонентов или доменов, а также возрастание времени при увеличении количества альтернативных компонентов СИЗ и сходства между ними соответствует данным литературы (см., например, [31, 36]).

Зависимость времени выбора хода от того, к какому типу компонентов СИЗ принадлежит акт, который будет реализован, объясняется свойствами этих типов. Компоненты второго каталога, составляющие единую группу, дифференцированную из одного протокомпонента, не могут выступать как отдельные альтернативы выбора; стратегии при принятии решения выступают как

целостные образования, компоненты которых не являются отдельными альтернативами, при реализации стратегий размерность пространства принятия решения снижается; включенность реализуемого акта в высокодифференцированные домены, напротив, увеличивает размерность этого пространства.

Именно показатель связности СИЗ как интегральная оценка уровня компетенции субъекта в данной предметной области, его возможностей в формировании целостного и детального представления о ней наиболее тесно коррелирует с индивидуальными психологическими характеристиками испытуемых, как обобщенными оценками деятельности субъекта в различных ситуациях. Это говорит о том, что характеристики СИЗ в данной предметной области сходны с характеристиками структур знания субъекта, релевантных другим предметным областям.

Установлено, что различные составляющие СИЗ достигают разной степени соответствия характеристикам СИЗ. Даже без учета возрастного своеобразия и индивидуальных вариаций СИЗ выделяется некоторое множество компонентов второго каталога, общих для всех испытуемых. Множество этих компонентов описывает специфику взаимодействий разных носителей компетенции именно с данной предметной областью.

Все составляющие СИЗ находятся в определенном соответствии с логикой предметной области и историей формирования компетенции. При этом компоненты первого и второго каталогов, отношения следования и AND в большей степени определяются структурой предметной области, чем домены, отношения IOR и XOR, формирование которых зависит от индивидуальной истории взаимоотношения субъекта с предметной областью.

### *//. Реконструкция и верификация СИО у кролика*

**II.1. Компоненты СИО, представляющие акты репертуара, и их группы.** При исследовании поведенческой специализации нейронов установлено существование двух типов *компонентов СИО*, представляющих акты репертуара. Одному из них соответствуют группы нейронов, специализированных относительно определенного акта репертуара, другому – группы нейронов, специализированных относительно двух актов репертуара.

Специализация нейрона относительно двух актов репертуара не означает совмещения двух отдельных специализаций на одной клетке. Группа нейронов, специализированных относительно двух или даже большего числа актов репертуара, представляет такой же унитарный компонент СИО, как и группа нейронов, специализирован-

ная относительно одного акта, поскольку нейроны обладают только единичной поведенческой специализацией (см. [4, 33, 41]).

Группа специализированных нейронов, сформированная на начальных этапах обучения, является "прасистемой" для компонентов СИО, обладающих общностью цели/результата, способа или обстоятельств действия, которые образуются в процессе дифференциации прасистемы при усложнении взаимоотношений субъекта с миром и увеличении их дробности [3, 4, 15, 33, 41]. Специализация группы нейронов относительно прасистем дефинитивного поведения проявляется в феномене "двойной" или "множественной" специализации. Таким образом, компоненты СИО, представленные группами нейронов с "двойной" специализацией (им соответствует не конкретный акт репертуара дефинитивного поведения, а пара или группа актов), могут рассматриваться как протокомпоненты для компонентов СИО, представляющих единичные акты репертуара.

Все обсуждаемые группы специализированных нейронов и представленные ими компоненты СИО сформированы при обучении кроликов пищедобывательному поведению в экспериментальной клетке. Это согласуется с данными о преимущественной специализации нейронов лимбической коры относительно наиболее новых компонентов индивидуального опыта [32, 40].

*Группы компонентов СИО* как специальные структурные составляющие индивидуального опыта, выявленные методами частных корреляций, кластерного анализа и многомерного шкалирования переменных, которые описывают активность нейронов в актах пищедобывательного поведения, имеют сложное строение. Например, группа компонентов СИО, соответствующих актам подхода к педали и нажатия на нее (P3 и P4), содержит не только два компонента, представляющие акты репертуара, но и третий компонент, который реализуется группой нейронов с "двойной" специализацией (относительно двух актов P3 и P4) и не проявляется как отдельный акт репертуара. Можно предположить, что организация групп компонентов СИО фиксирует этапы их формирования: образование протокомпонента и его дифференциацию на компоненты СИО, представляющие акты дефинитивного поведения. В соответствии с этим группы могут содержать компоненты СИО, которые представляют акты, как непосредственно следующие друг за другом в пищедобывательном цикле, так и не составляющие последовательность, и даже одноименные акты разных циклов.

**II.2. Взаимоотношения между компонентами СИО.** Взаимоотношения компонентов СИО, представляющих акты репертуара, формируются в соответствии с общностью характеристик ак-



тов. Общность цели/результата одного акта и начальных условий реализации другого проявляется в "облегчающем" влиянии предшествующего акта на последующий. Этой общности соответствует отношение следования, определяющее последовательность актов пищедобывательного цикла. Заметим, что особенности общности компонентов, связанных отношениями следования, предопределяют нетранзитивность и несимметричность такого отношения.

Общности целей/результатов, ситуации и/или способа действия соответствуют отношению синергии, разрешающему одновременную актуализацию компонентов СИО. Несовместимости или противоречия в содержательных характеристиках компонентов СИО лежат в основе отношения оппонентности, которое ограничивает возможности одновременной актуализации компонентов СИО или налагает на нее запрет. Нами показано, что отношения синергии и оппонентности обладают свойством симметричности.

Иной тип отношений связывает компоненты СИО, представленные нейронами, специализированными относительно двух актов, и компоненты СИО, представленные нейронами со специализациями относительно каждого из этих актов. Отношение между протокомпонентом и компонентами, представляющими результат его дифференциации, можно идентифицировать как отношение генерации, нетранзитивное, антирефлексивное, несимметричное [24]. Заметим, что влияние компонента СИО, представленного нейронами с "двойной" специализацией, обеспечивает одновременную актуализацию компонентов СИО, имеющих широкий спектр общностей, не определяя порядок реализации соответствующих актов, т.е. обладает сходством с инструментальной связью.

Судя по вариациям коэффициентов частной корреляции, характеризующих тесноту отношений следования, синергии и оппонентности, интенсивность этих типов отношений изменяется градуально.

Все рассмотренные типы отношений могут реализовываться одновременно на одном и том же множестве компонентов СИО. Отношения синергии/конкуренции определяют специфику целостного состояния структуры опыта в каждый данный момент времени, отношения же следования – последовательность этих состояний в процессе реализации поведения.

**III.3. Связность СИО.** Применение различных способов обучения определяет не только отдельные характеристики СИО, но и связность структуры, характеризующую ее целостность; при этом СИО, сформированные при I и II способах обучения, обладают наибольшей, а при III способе – наименьшей связностью. Чем меньше соот-

*ветствие между порядком приобретения актов и последовательностью их реализации в дефинитивном поведении, тем меньшей связностью обладает СИО.*

Установлено, что животные, обученные III способом, совершают поведенческий цикл значительно быстрее, чем обученные I и II способами, причем максимальное время выполнения цикла отмечено в I группе животных. Различия групп по времени выполнения цикла можно сопоставить с характеристиками связности СИО, сформированных у животных этих групп. Установлено, что количество отношений синергии и оппонентности, связывающих компоненты структуры опыта, достоверно больше в I группе животных, чем в III. Эти отношения определяют состав наборов одновременно актуализированных компонентов структуры. Чем больше компонентов СИО связано взаимоотношениями этих типов, тем больше разнообразие актуализированных компонентов опыта, представляющих множество альтернатив в развитии поведения. Судя по данным литературы (см., например, [31, 36]), именно меньшее количество актуализированных компонентов структуры опыта и меньшее их сходство у животных III группы может служить объяснением наиболее быстрого выполнения цикла, по сравнению с I и II группами.

Составляющие СИО находятся в зависимости и от *истории обучения*, и от заданных экспериментальном объективных условий пищедобывательного поведения и последовательности событий, необходимой для достижения результата животным, т.е. *структуры предметной области опыта*.

Наборы компонентов СИО и распределение нейронов, специализированных относительно актов, представляющих эти компоненты, а также отношения следования, не зависят от способа обучения и, следовательно полностью определяются структурой предметной области.

Формирование групп компонентов СИО, отношений синергии, оппонентности, генерации и инструментальных связей зависит от истории взаимоотношения животного с предметной областью. Заметим, что в наибольшей степени это касается отношений оппонентности.

### *III. Логическое сопоставление описаний СИЗ человека и СИО кролика*

#### **III.1. Основания сопоставления**

– Описания СИЗ и СИО даны в терминах компонентов, групп компонентов, их отношений, характеристик связности, истории формирования структуры, соответствия свойств рассматриваемой структуры и логики предметной области; эти описания имеют формальный характер.

– Для верификации формальных описаний СИЗ и СИО были использованы одни и те же показатели – временные характеристики поведения и история формирования структуры.

– Для формального описания континуума поведения человека и животных использован единый принцип – выделение актов репертуара по общности целей/результатов, способов и условий действия.

– Для СИЗ и СИО показано существование двух типов компонентов, которые представляют акты репертуара и связаны отношением генерации.

– Типы отношений компонентов СИЗ и СИО, представляющих акты репертуара, установлены на основе показателей совместимости компонентов при их актуализации.

– Отношения компонентов СИЗ и СИО, представляющих акты репертуара, определяют существование групп компонентов в соответствии с общностью их компонентов.

– Существование групп компонентов СИЗ и СИО, представляющих акты репертуара, обеспечивается специальными компонентами через отношение координации (инструментальную связь).

– Оценка связности СИЗ и СИО соответствует степени детализации взаимоотношений субъекта с предметной областью, зависит от индивидуальной истории этих взаимоотношений, увеличивается по мере роста компетенции и соответствует временным характеристикам поведения.

– Обобщенное описание СИЗ является расширением частных описаний СИЗ человека и СИО кролика. Такое описание включает соответствие свойств структуры как индивидуальным психологическим характеристикам, так и активности поведенчески специализированных нейронов и поэтому является комплексным.

### III.2. Комплексное описание СИЗ

– Основу СИЗ в определенной предметной области составляют два типа компонентов, связанных отношением генерации: компоненты второго типа образуются в результате дифференциации компонентов первого типа – протокомпонентов. Группы компонентов второго типа, дифференцировавшиеся из одного и того же протокомпонента, связаны отношениями AND. Компоненты второго типа представляют акты репертуара, порядок реализации которых определяется отношениями следования.

– Компоненты двух типов, а также отношения генерации, следования и AND являются фундаментальными составляющими СИЗ, поскольку их состав определяется логикой предметной области, и дальнейшее развитие структуры состоит в формировании групп компонентов второго типа. При этом отношения следования и AND зада-

ют пространство свойств семейства производных отношений (генерации, координации или инструментальной связи, IOR и XOR) между компонентами второго типа. Учитывая перечисленные свойства, будем рассматривать компоненты первого и второго типа как *базовые* компоненты СИЗ, что согласуется с выделением специального класса базовых функциональных систем [3].

– Базовые компоненты СИЗ фиксируются в типах поведенческой специализации нейронов, а отношения базовых компонентов – исходные и производные — реализуются как взаимовлияния групп специализированных нейронов. Интенсивность этих отношений изменяется градуально, поэтому применение для их описания логических операторов имеет определенные ограничения.

– Отношения между базовыми компонентами связывают компоненты второго типа в группы: 1) базовых компонентов второго типа с общим происхождением; 2) устойчивых последовательностей компонентов, обеспечивающих прогноз и достижение отдаленных целей; 3) доменов, которые объединяют компоненты по принципу общности их соответствия содержательным характеристикам предметной области. Домены обладают сложной структурой, отражающей разнообразие общностей входящих в них компонентов. Группам базовых компонентов второго типа соответствуют специфические базовые компоненты первого типа, обеспечивающие существование этих групп как структурных образований.

– Если состав базовых компонентов, отношения генерации, следования и AND преимущественно детерминированы логикой предметной области, то группы базовых компонентов, отношения координации, IOR и XOR отражают преимущественно индивидуальную историю взаимоотношений субъекта с предметной областью.

– Все составляющие СИЗ имеют общее происхождение, что определяет существование СИЗ как единого целого. Целостность СИЗ проявляется в связности – множественных взаимных пересечениях групп базовых компонентов второго типа. Степень связности структуры соответствует обобщенности/дифференцированности взаимоотношений субъекта с предметной областью. Связность как обобщенная характеристика СИЗ проявляется во временных характеристиках поведения и соотносима с обобщенными индивидуально-психологическими характеристиками субъекта, которые воспроизводятся в любых видах деятельности.

– Приведенные свойства СИЗ позволяют высказать предположение об амодальности СИЗ как внутренней психологической структуры (см. [5]). Это означает, что компетенция субъекта в любой предметной области фиксируется как СИЗ независимо от ее содержательной специфики.

## ВЫВОДЫ

1. СИЗ, соответствующая определенной предметной области, может быть описана как множество базовых компонентов и их групп, образованных отношениями различного типа.

2. Базовые компоненты фиксируются как образования, представляющие вновь сформированные акты взаимоотношения субъекта с предметной областью.

Выделены два типа базовых компонентов: первый тип компонентов, дифференцируясь, порождает компоненты второго типа, которые представляют акты репертуара; компоненты первого типа обеспечивают связность групп базовых компонентов второго типа и при этом не представляют акты репертуара.

Классификация базовых компонентов может быть дана через общность целей/результатов, условий и способов реализации актов взаимоотношения субъекта с предметной областью.

Базовым компонентам соответствуют группы нейронов со сходной специализацией относительно актов репертуара.

3. Между базовыми компонентами второго типа описаны: отношение следования, задающее порядок реализации актов репертуара; отношения AND и IOR, определяющие объединение базовых компонентов в группы и пересечение групп; а также отношение XOR, которое фиксирует демаркацию между группами.

Между базовыми компонентами первого и второго типа описаны: 1) отношение генерации, фиксирующее их генетическое родство, и 2) отношение координации, определяющее связность групп базовых компонентов второго типа.

Отношения между базовыми компонентами СИЗ реализуются как взаимовлияния между группами специализированных нейронов. Эти взаимовлияния градуальны, поэтому описание их через дискретные логические операторы, например, такие, как AND, XOR и IOR, является метафорой.

4. Состав базовых компонентов СИЗ, а также отношения генерации, следования и AND преимущественно определяются логикой предметной области и являются генетическими предшественниками групп базовых компонентов и отношений координации, XOR и IOR, которые соответствуют преимущественно индивидуальной истории взаимоотношений субъекта с предметной областью.

5. СИЗ как связанное множество базовых компонентов, структурированное отношениями различных типов, представляет собой целостное образование, которое определяет феноменологию наблюдаемого поведения, его временные и содержательные характеристики.

6. Особенности СИЗ в конкретной предметной области находятся в соответствии с общим уровнем познавательного развития и индивидуальными психологическими характеристиками субъекта. Это позволяет предполагать, что характеристики СИЗ для других предметных областей, в которых данный субъект компетентен, обладают сходством.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Аверкин А.Н., Гаазе-Рапопорт М.Г., Поспелов Д.А. Толковый словарь по искусственному интеллекту. М.: Радио и связь, 1992.
2. Александров И.О., Максимова Н.Е. О виртуальности компонентов индивидуального знания на ранних стадиях их формирования. // Виртуальная реальность в психологии и искусственном интеллекте / Под ред. Д.А. Поспелова. М.: Российская ассоциация искусственного интеллекта, 1998. С. 61–82.
3. Александров Ю.И. Психофизиологическое значение активности центральных и периферических нейронов в поведении. М.: Наука, 1989.
4. Александров Ю.И., Греченко Т.Н., Гаврилов В.В., Горкин А.Г., Шевченко Д.Г., Гринченко Ю.В., Александров И.О., Максимова Н.Е., Безденежных Б.Н., Бодунов М.В. Закономерности формирования и реализации индивидуального опыта // ЖВНД. 1997. Т. 47. № 2. С. 243–260.
5. Артемьева Е.Ю. Природа элементов семантического слоя субъективного опыта // Деятельностный подход в психологии: проблемы и перспективы / Под ред. В.В. Давыдова и Д.А. Леонтьева. М.: АПН СССР, 1990. С. 170–179.
6. Бардин К.В., Барабанищikov В.А., Митькин А.А. Исследования сенсорно-перцептивных процессов // Тенденции развития психологической науки / Под ред. Б.Ф. Ломова и Л.И. Анцыферовой. М.: Наука, 1989. С. 60–77.
7. Басов А.В., Тихомирова Л.Ф. Развитие логического мышления детей. Ярославль: ТОО "Гринго", 1995.
8. Брушлинский А.В., Тихомиров О.К. Психология мышления. // Тенденции развития психологической науки / Под ред. Б.Ф. Ломова и Л.И. Анцыферовой. М.: Наука, 1989. С. 11–21.
9. Брунер Дж.С. О познавательном развитии. Части I и II // Исследование развития познавательной деятельности / Под ред. Дж.С. Брунера, Р. Олвера, П. Гринфилда. М.: Педагогика, 1971. С. 25–98.
10. Величковский Б.М. Когнитивная психология. М.: МГУ, 1982.
11. Герман О.В. Введение в теорию экспертных систем и обработку знаний. Минск: ДизайнПРО, 1995.
12. Горкин А.Г. Поведенческая специализация нейронов коры на ранних этапах обучения // ЭЭГ и нейрональная активность в психофизиологических исследованиях / Под ред. В.Б. Швыркова, В.М. Русалова, Д.Г. Шевченко. М.: Наука, 1987. С. 73–80.

13. Горкин А.Г., Шевченко Д.Г. Стабильность поведенческой специализации нейронов // ЖВНД. 1990. Т. 40. № 2. С. 291–300.
14. Горкин А.Г., Шевченко Д.Г. Отражение структуры памяти в активности системоспецифичных нейронов // Психол. журн. 1991. Т. 12. № 2. С. 60–69.
15. Горкин А.Г., Шевченко Д.Г. Различия в активности нейронов лимбической коры кроликов при разных стратегиях обучения // ЖВНД. 1995. Т. 45. № 1. С. 90–100.
16. Давыдов В.В. Виды обобщения в обучении. М.: Педагогика, 1972.
17. Ким Дж.-О., Мьюллер Ч.У. Факторный анализ: статистические методы и практические вопросы // Факторный, дискриминантный и кластерный анализ / Под ред. И.С. Енюкова. М.: Финансы и статистика, 1989. С. 5–77.
18. Корж Н.Н. Проблемы памяти // Тенденции развития психологической науки / Под ред. Б.Ф. Ломова и Л.И. Анцыферовой. М.: Наука, 1989. С. 34–46.
19. Кольцова М.М. Развитие сигнальных систем действительности у детей. Л.: Наука, 1980.
20. Максимова Н.Е., Александров И.О., Тихомирова И.В., Филипова Е.В., Никитин Ю.Б. Соотношение грамматики и семантики высказываний с характеристиками структуры индивидуального знания (к проблеме рационального-интуитивного) // Психол. журн. 1998. Т. 19. № 3. С. 63–83.
21. Микуша А.М., Орлов В.Б. Толковый математический словарь. М.: Русский язык, 1988.
22. Мухина В.С. Изобразительная деятельность ребенка как форма усвоения социального опыта. М.: Педагогика, 1981.
23. Олдендерфер Р.К., Блэшфилд Р.К. Кластерный анализ // Факторный, дискриминантный и кластерный анализ / Под ред. И.С. Енюкова. М.: Финансы и статистика, 1989. С. 139–214.
24. Осипов Г.С. Приобретение знаний интеллектуальными системами. М.: Наука, 1997.
25. Петренко В.Ф. Основы психосемантики. Смоленск: Изд-во Смоленского гуманитарного университета, 1997.
26. Пиаже Ж. Избранные психологические труды. М.: Просвещение, 1969.
27. Пономарев Я.А. Психика и интуиция. М.: Изд-во политической литературы, 1967.
28. Пономарев Я.А. Методологическое введение в психологию. М.: Наука, 1983.
29. Талызина Н.Ф. Теоретические проблемы программированного обучения. М.: МГУ, 1969.
30. Харари Ф. Теория графов. М.: Мир, 1973.
31. Хофман И. Активная память. М.: Прогресс, 1982.
32. Шевченко Д.Г., Александров Ю.И., Гаврилов В.В., Горкин А.Г., Гринченко Ю.В. Сопоставление активности нейронов различных областей коры в поведении // Нейроны в поведении: системные аспекты / Под ред. В.Б. Швыркова. М.: Наука, 1986. С. 25–35.
33. Швырков В.Б. Введение в объективную психологию. Нейрональные основы психики. М.: Институт психологии РАН, 1995.
34. Aleksandrov I.O. Assessment of the acquisition rate of procedural and declarative components of individual knowledge // Europ. J. of Psychol. Assessm. 1995. V. 11. P. 66.
35. Gangloff H., Monnier M. Rabbit brain research atlas for stereotaxic brain research on conscious rabbit // Rabbit brain research. Amst. etc.: Elsevier, 1961. P. 76–98.
36. Luce R.D. Response times: Their role in inferring elementary mental organization. New York, Oxford: Oxford Univ. Press, Clarendon Press, 1986.
37. Maksimova N.E. An experimental paradigm for quantitative assesment of individual knowledge acquisition // Europ. J. of Psychol. Assessm. 1995. V. 11. P. 13.
38. Mulner J., Pufflerova S., Czurma L. TE-NA-ZO. Test nachadzanya znamich obrazkov. Bratislava, 1984.
39. Neisser U. Cognitive psychology. Appleton: Century-Crofts, 1967.
40. Shevchenko D.G., Gavrilo V.V., Gorkin A.G. Behavioral specialization peculiarities of limbic cortex neurons in rabbits // Proceed. Int. Union Physiol. Sci. 1989. V. 18. P. 214.
41. Shvyrkov V.B. Neurophysiological study of animals subjective experience // Machinery of the mind / Ed. R. John. Boston-Basel-Berlin: Birkhauser, 1990. P. 337–352.
42. Tulving E. How many memory systems are there? // American Psychologist. 1985. V. 40. P. 385–398.
43. Tulving E. Multiple memory systems and consciousness // Human Neurobiology. 1987. V. 6. P. 67–80.
44. Within H.A. Psychological differentiations. N.Y., 1962.
45. Within H.A., Dyk R.B., Faterson H.F., Karp S.A. Psychological differentiations. N.Y., 1974.

**SYSTEM INVESTIGATION OF THE INDIVIDUAL  
KNOWLEDGE STRUCTURE****I. O. Aleksandrov\***, **N. E. Maksimova\*\***, **A. G. Gorkin\*\*\***, **D. G. Shevchenko\*\*\*\***,**I. V. Tikhomirova\*\*\*\*\***, **E. V. Filippova\*\*\*\*\***, **Yu. B. Nikitin\*\*\*\*\****\* Cand. sci. (psychology), sen. res. ass., IP RAS, Moscow**\*\* Cand. sci. (psychology), sen. res. ass. of the same institute**\*\*\* Cand. sci. (psychology), sen. res. ass. of the same institute**\*\*\*\* Cand. sci. (medicine), sen. res. ass. of the same institute**\*\*\*\*\* Cand. sci. (psychology), sen. res. ass., PIRAE, Moscow**\*\*\*\*\* Cand. sci. (psychology), academic secretary of Moscow municipal psychological and pedagogical institute, Moscow**\*\*\*\*\* Post-graduate of MSU, Moscow*

Formal characteristics of the individual knowledge structure (IKS) in strategic positional game in children aged 6–13 yrs. and adults were estimated. The level of intelligence development and individual psychological characteristics were assessed in children. In rabbits trained to perform cyclic food-acquisition behavior by means of three different ways the structure of individual experience was inferred using analysis of the sequence of behavioral acts and single unit activity of limbic cortex recorded in course of behavior. Comparison of the data obtained in humans and animals permitted to suppose that IKS in any subject area may be described as a set of the basic components and their groups bounded by relations of various types. Basic components are formations (1) fixed newly acquired acts of interrelations between the Subject and the subject area; (2) represented by groups of behaviorally specialized units. Over the sets of basic components the relations of consequence, generation, co-ordination, AND, IOR, XOR were defined, which supported by mutual influences of the groups of specialized units. The composition of basic components as well as the relations of consequence, generation, AND are defined mainly by the structure of subject area and may be considered as genetic precursors of the groups of basic components and relations of co-ordination, XOR, IOR, which defined mainly by the history of S's competence. IKS peculiarities correspond to the general level of Ss' cognitive development and their individual psychological characteristics, and determine wide range of phenomena of overt behavior.

*Key words:* subject area, individual knowledge, structure, components, relations, unit activity, behavioral specialization of neuron, individual psychological characteristics.