



Анализ когнитивной компетентности специалистов химической отрасли на основе сравнения движений глаз у начинающих и опытных профессионалов

БЛИННИКОВА Ирина Владимировна

Московский государственный университет имени М. В. Ломоносова, Москва, Россия

ИШМУРАТОВА Юлия Алексеевна

Психологический институт РАО, Москва, Россия

Аннотация. *Актуальность.* Глобальная компьютеризация трудовой деятельности заставляет всё больше внимания уделять когнитивной компетентности профессионалов. Выявление структурных и функциональных характеристик когнитивной компетентности оказывается затруднительным из-за наличия скрытых знаний и неосознаваемых компонентов когнитивной обработки. Эти затруднения можно преодолеть с помощью анализа движения глаз. *Цель:* исследовать когнитивную архитектуру решения задач специалистами, обладающими разным профессиональным опытом, выявить особенности использования знаний на разных этапах профессионализации, описать разные уровни когнитивной компетентности. *Методика.* Для анализа были выбраны специалисты химической отрасли, поскольку данная область знаний предъявляет особые требования к способам обработки и репрезентирования информации, необходимой для решения профессиональных задач. Участники исследования, среди которых были опытные ($n = 22$) и начинающие ($n = 20$) профессионалы, должны были идентифицировать молекулу вещества, выбрав правильный ответ из приведённого списка (это могли быть либо формулы, либо названия вещества). Регистрировалось время выполнения задания, ошибки, а также показатели движений глаз с помощью оборудования и программного обеспечения фирмы SMI. *Результаты.* Более опытные «эксперты» превосходили менее опытных «новичков» в скорости и безошибочности идентификации молекул. Для того чтобы понять, что стоит за таким «превосходством», было проведено сравнение выполнения разных вариантов задачи, а также проанализированы показатели движений глаз испытуемых в процессе решения. Начинающие профессионалы были менее успешны в тех ситуациях, когда изображения молекулы нужно было соотнести со словесным наименованием вещества. Это свидетельствовало о затруднениях, которые возникали у них с переходом между разными формами репрезентаций. Что касается движений глаз, то у «экспертов» регистрировались более короткие первые фиксации (свидетельствующие о более быстрой ориентировке в задаче) и менее продолжительная средняя длительность фиксаций (говорящая о более быстрой обработке информации в целом). Были выявлены и разные стратегии в решении задачи. «Эксперты» больше опирались на имеющиеся у них знания, стараясь сначала идентифицировать молекулу, сконструировать ментальную репрезентацию, а затем использовать её для выбора ответа. «Новички» пытались вычерпать решение из предъявленной информации. *Заключение.* Выявленное «превосходство экспертов» обеспечивалось более быстрой ориентировкой в задаче и обработкой информации, использованием репрезентативных стратегий, и большими возможностями переходов между разными форматами репрезентаций.

Ключевые слова: когнитивная компетентность, метод регистрации движения глаз, глазодвигательная активность, технология айтрекинга, профессиональный опыт, эксперты и новички в области химии.

Введение

Широко известно, что опытные специалисты демонстрируют превосходство в решении профессиональных задач по сравнению теми, кто только начинает свою трудовую деятельность, они действуют быстрее и с меньшим количеством ошибок. Это находит подтверждение во множестве самых разных исследований. Однако главный вопрос — что стоит за этим «превосходством экспертов»? — пока остается без однозначного и полного ответа. Во многом это связано с тем, что ряд когнитивных структур и умений относятся к неявному знанию, к неосознаваемым уровням обработки информации. Для того, чтобы выявить скрытые компоненты когнитивной компетентности, исследователи используют разные приёмы, одним из которых является анализ окуломоторной активности¹ в процессе решения визуальных задач. В данном исследовании мы сравниваем движения глаз специалистов-химиков, имеющих разный уровень профессионального опыта, в процессе решения задач на идентификацию молекулы вещества. Наша цель — понять, какие способы когнитивной обработки приводят к более эффективному решению задач. Это позволит найти новые возможности в подготовке и оценке специалистов.

Сравнение экспертов и новичков как способ изучения профессиональной компетентности

В современной организационной психологии одно из ключевых мест занимает проблема компетентности профессионалов (Алдашева, 2012; Нечаев, 2005; Raven, Stephenson, 2001). Значительные ресурсы затрачиваются на моделирование этого системного качества личности, его оценку, формирование и развитие (Абдуллаева, 2017; Пряжников, 2017; Стрелков, 2007). Впервые Р. Уайт ввёл в обращение термин «компетентность» для того чтобы описать те особенности, которые наиболее тесно связаны с «превосходным» выполнением работы и высокой мотивацией (White, 1959). Сегодня профессиональной компетентностью, как правило, называют интегральную характеристику деловых и личностных качеств специалиста, которая определяет его способность решать проблемы и типичные задачи, возникающие в реальных ситуациях профессиональной деятельности, с использованием знаний и жизненного опыта, ценностей и наклонностей (Кузьмина, 1978). Д. МакКлелланд определил компетентность как характеристики человека, которые, с одной стороны, могут быть измерены, а с другой, — позволяют отличить работников, достигающих высоких результатов, от тех, кто демонстрирует более скромные успехи в работе, или новичков (McClelland, 1973). Одним из путей выявления компетентности является сравнение полярных групп с разным опытом и уровнем достижений, которые получили название «эксперты» и «новички».

«Экспертами» называют специалистов, имеющих достаточно длительный и успешный профессиональный опыт в той или иной области, например, квалифицированные врачи, опытные шахматисты, профессора университетов, лица, в совершенстве владеющие иностранными языками, и другие. Таким образом, экспертов отличает длительность, успешность и специфичность опыта. Хотя по поводу каждой из этих характеристик существуют некоторые разногласия. А. Эрикссон вместе с коллегами считают, что длительность профессионального опыта экспертов должна быть не меньше десяти лет (Ericsson, Krampe, Tesch-Römer, 1993). Однако другие авторы полагают, что критическая продолжительность опыта

¹ Окуломоторная активность включает в себя все движения глаз в процессе использования зрения (см. Барабанщиков, Жегалло, 2013).

может быть и ниже, это зависит от интенсивности профессиональной практики (Simonton, 1999). Дискуссионным является и то, должен ли применяться термин «эксперт» только по отношению к специалистам, достигшим высочайших успехов (Ericsson, Smith, 1991). Существует мнение, что уровень достижений зависит от конкретной области знания, связан с особенностями профессионального сообщества и наличием определённых процедур оценки и социального признания, поэтому «эксперты» должны обладать лишь высокой квалификацией (Sternberg, 1998).

Большинство исследователей согласны с тем, что одна из важнейших характеристик «экспертов» — это владение широко-специфичным знанием и превосходными возможностями в решении узко-специализированных задач (Feldon, 2007). В работе У. Чейза и Г. Саймона, посвящённой особенностям памяти шахматистов, было показано, что высококлассные игроки проявляют потрясающие возможности в воспроизведении расположения фигур на шахматной доске после их кратковременного предъявления. При этом они не демонстрировали значимого преимущества в задачах с воспроизведением случайных, несвязанных с шахматами стимулов (Chase, Simon, 1973). Эти результаты нашли подтверждение в последующих исследованиях (Alberdi, Sleeman, Korpi, 2000; Beilock, Wierenga, Carr, 2002). Эта особенность рождает две самостоятельные тенденции в исследованиях «экспертов» и «новичков». Первая тенденция — дифференцирующая — заставляет исследователей выделять всё более узкие области знаний и придумывать всё более специализированные задачи для выявления специфических компетенций. Ярким воплощением такого подхода является сравнение «экспертов» и «новичков» в медицинских областях (Krupinski, 2005; Wilson et al., 2010). Вторая тенденция — интегрирующая — ведёт исследователей к поиску универсальных стратегий, обеспечивающих преимущества в любых областях знаний. В этом направлении всё чаще используется метод мета-анализа (см., например, Gegenfurtner, Lehtinen, Säljö, 2011).

Когнитивные компетенции профессионалов

Под когнитивной компетентностью специалистов мы понимаем способность и готовность применить знания² к решению профессиональных задач, которая реализуется за счёт сформированных способов и стратегий когнитивной обработки. Р. Глейзер и М. Чи в конце 1980-х годов выявили ряд компетенций³, которые отличают высококвалифицированных профессионалов⁴: 1) превосходство в знаниях и когнитивных умениях в особой профессиональной области; 2) способность воспринимать значимые, взаимосвязанные, осмысленные конфигурации, релевантные их области знаний; 3) быстрое и эффективное решение мыслительных задач в рамках своей специализации; 4) обладание более высокими мнемическими возможностями; 5) анализ задач в своей профессиональной области на более глубоком понятийном уровне (в отличие от менее опытных профессионалов, ориентирующихся на поверхностные признаки); 6) распределение времени решения задач в пользу качественного, а не количественного анализа; 7) эффективное использование метакогнитивных ресурсов — знания собственных возможностей, самоконтроля, самооценки в процессе решения задач. Перечисленные характеристики связывают компетентность «экспертов» с решением задач (Glaser, Chi, 1988). Реализация компетентности зависит от возможностей использования

2 В данном случае под знаниями понимаются любые формы сохранения опыта. Сюда можно отнести декларативное и процедурное знание, явное или неявное знание (см. Александров, 2006; Носуленко, 2016).

3 Под когнитивными компетенциями здесь мы будем понимать отдельные составляющие общей компетентности.

4 Подробный анализ на русском языке приведён в монографии Б. М. Величковского (2006, с. 244–249).

перцептивных, мнемических, интеллектуальных и метакогнитивных ресурсов. Необходимо учитывать также уровни когнитивной обработки и другие параметры. В дальнейшем было показано, что «экспертам» в самых разных профессиональных сферах присущи обозначенные характеристики (см. Ericsson et al., 2018).

Существуют и другие описания характеристик «экспертов». Д. Фелдон описал когнитивную архитектуру выполнения задач «экспертами», которая позволяет им действовать эффективнее, чем менее опытным специалистам. С одной стороны, он выделил репрезентацию знаний в долговременной и рабочей памяти, а с другой, — когнитивные стратегии как особые устойчивые способы или подходы к решению задач, операциональная структура которых может автоматизироваться и даже превращаться в рутинные навыки (Feldon, 2007). Здесь мы обнаруживаем два важных компонента когнитивной компетентности: первый затрагивает структуру и формат, в который облекаются и хранятся знания, второй — связан с особенностями когнитивной обработки. В современной психологии всё, что касается представления знаний профессионалов, получило название «репрезентационная компетентность». Термин является новым и ещё до конца не устоявшимся. Данный вид компетентности можно определить как способность к созданию, анализу и описанию ментальных репрезентаций⁵ (Cheng, Gilbert, 2009) или как понимание, перевод и построение различных форм репрезентаций (Gilbert, Treagust, 2009). Однако это не исчерпывающее определение, за репрезентационной компетентностью стоят умения и навыки, обеспечивающие успешное использование ментальных конструкторов для решения профессиональных и учебных задач (Kozma, Russell, 2005).

Когнитивные стратегии, в широком смысле, — это сформировавшиеся способы и приёмы обработки информации, представляющие собой структуру ментальных операций, которые могут выполняться либо последовательно, либо параллельно, с использованием различных когнитивных ресурсов и обеспечивать решения задач. Стратегии могут приводить к успеху или неудаче, использовать меньше или больше ресурсов, именно это лежит в основе оценки их эффективности. В одном из исследований было отмечено, что даже если «новички» опираются на фундаментальное знание, их способы решения отличаются от тех, которые используют более опытные профессионалы (Sloutsky, Yarlas, 2000), а в других исследованиях было показано что эти способы или стратегии менее эффективны (приводят к большему количеству ошибок, а также существенным временным и ресурсным затратам) (Спиридонов, 2013; Bédard, Chi, 1992; Singley, Anderson, 1989).

Анализ сформированности когнитивных компетенций связан с изучением того, как решаются задачи на разных этапах становления профессионализма. Попытка выявить способы решения проблем позволила установить, что высококлассные специалисты справляются с задачами, опираясь на метод дедукции, а специалисты с более скромным опытом подходят к задаче индуктивно. Сравнение профессионалов с разным опытом в области физики, показал, что профессора при решении задач опираются на обобщённые, категориальные знания, а решения студентов сконцентрированы вокруг поверхностных аспектов предъявляемой информации и реализуются путем проб и ошибок с постоянно меняющимися гипотезами (Larkin, 1985; Chi, Glaser, Rees, 1981). Аналогичным образом в задаче на категоризацию строк компьютерного кода опытные программисты использовали функциональные или семантические характеристики, тогда как «новички» в области программирования классифицировали строки на основе синтаксиса (Adelson, 1981). В ряде работ был сделан вывод, что решение задач квалифицированными специалистами включает понимание и категори-

⁵ Ментальные репрезентации рассматриваются как психические структуры хранения и мысленного представления знаний (см. Брушлинский, Сергиенко, 1998).

зацию проблемы, и именно это играет главную роль при поиске решения (Voss et al., 1983). «Эксперты» лучше справляются со слабо структурированными задачами за счёт того, что сами структурируют их. Отмечается также, что профессионалы высокого уровня осуществляют более глубокий анализ и часто выходят за рамки задания или конкретной проблемной ситуации (Chi, Feltovich, Glaser, 1981; Feldon, 2007).

Когнитивные стратегии могут быть связаны не только с решением мыслительных задач, но и с процессами информационной обработки. В последние годы они активно изучаются с помощью технологии регистрации окулоmotorной активности (Gegenfurtner, Lehtinen, Säljö, 2011). Движения глаз состоят из фиксаций и саккад. Фиксации — это относительно неподвижное состояние глаза (в среднем продолжительность фиксаций составляет четверть секунды, хотя существуют и сверхкороткие и сверхдлительные фиксации). Предполагается, что именно в моменты неподвижного взора информация считывается (или извлекается) и перерабатывается. Саккады — это быстрые баллистические перемещения глаз (их длительность в несколько раз меньше, чем длительность фиксаций), они позволяют перенаправить зрительную систему на другую область исследуемого пространства. Кроме длительности фиксаций и саккад регистрируют их количество, амплитуду, а также ряд производных показателей (Барабанщиков, Жегалло, 2013).

Метод регистрации движений глаз для выявления когнитивной компетентности профессионалов был предложен на самых ранних этапах развития данного направления. В тот момент внимание исследователей привлекало решение задач шахматистами (Chase, Simon, 1973). К настоящему времени эта технология позволила получить представления о некоторых механизмах обработки информации, обеспечивающих профессиональную деятельность в различных областях, включая авиацию (Schriver et al., 2008), управление транспортными средствами (Crundall et al., 1999), ихтиологию (Jarodzka et al., 2010), медицину (Krupinski, 2005; Wilson et al., 2010), преподавание иностранных языков (Blinnikova, Izmalkova, 2016), искусство (Vogt, Magnussen, 2007), спорт (Williams et al., 2006) и другие.

Однако, несмотря на большое количество исследований, в литературе существуют разногласия относительно того, чем отличаются движения глаз и связанные с ними когнитивные стратегии у опытных и начинающих профессионалов. Во многих работах демонстрируется, что «эксперты» решают задачи, бросив на неё один единственный взгляд. К примеру, было показано, что опытные рентгенологи менее чем за секунду обнаруживали наличие рака на маммографии (Kundel et al., 2007). В другой работе гроссмейстеры за одну фиксацию обнаруживали позицию заданной фигуры на доске (Reingold et al., 2001). Однако при использовании других задач «эксперты» могли совершать достаточно большое количество фиксаций (Konstantopoulos, 2009; Litchfield et al., 2008). Такое расхождение данных связано с тем, что в пространстве задачи существуют области, имеющие разное отношение к её правильному решению, и характер глазодвигательных стратегий «экспертов» и «новичков» может меняться в зависимости от той области, на которую направлена их когнитивная активность.

Действительно, были выявлены различия между специалистами разного уровня компетентности в распределении внимания между областями релевантными и нерелевантными задаче. Х. Хайдер и П. Френш в своей гипотезе информационной редукции утверждают, что с возрастанием профессионализма специалисты быстрее обрабатывают информацию, что приводит к более быстрым решениям и менее длительным фиксациям, а также лучше различают значимую и незначимую информацию, и поэтому концентрируются на обработке наиболее важной информации (Haider, Frensch, 1999). Это нашло своё подтверждение в исследовании шахматистов (Reingold et al., 2001) и специалистов в других областях (Rayner, 2009). В одном из исследований с помощью мета-анализа (Gegenfurtner, Lehtinen, Säljö, 2011) были

сопоставлены данные 819 высококвалифицированных профессионалов, 187 специалистов среднего уровня и 893 новичков в различных профессиональных областях. Авторы пришли к выводу, что «эксперты» по сравнению с «новичками» имеют более короткую длительность фиксаций, больше фиксаций на релевантной задаче области и меньшее количество фиксаций на не относящейся к заданию области. У экспертов также были более длинные саккады и более короткое время первой фиксации на релевантной информации. Это интересное исследование, однако, многие авторы сходятся на том, что особенности когнитивных стратегий могут достаточно сильно отличаться в зависимости от задач и от тех доменно-специфических знаний, к которым они обращены (Ericsson et al., 2018).

Когнитивные компетенции химиков

Сегодня способности человека к развитию и использованию химических знаний изучены явно недостаточно (Волкова, 2008). При этом работа в химических лабораториях и на химических производствах предъявляет особые требования к когнитивным возможностям человека. В центре когнитивной компетентности специалистов химической отрасли находится понимание природы вещества, состоящего из дискретных частиц (Мусаев, Мусаева, Гринева, 2009). Поскольку эти частицы недоступны прямому наблюдению, химикам необходима высочайшая репрезентационная компетентность, как способность к созданию, анализу, описанию и использованию ментальных репрезентаций. Было обнаружено, что специалисты-химики обладают системой навыков работы с ментальными представлениями химических элементов, реакций, процессов (Kozma, Russel, 1997), которые являются ключевыми для выполнения профессиональной деятельности и понимания химии в целом. Эти навыки позволяют им гибко переключаться между различными уровнями репрезентаций и интегрировать их для выражения идей или описания химических феноменов. Можно предположить, что для химиков имеет большое значение использование ментальных репрезентаций в процессе решения профессиональных задач.

В процессе анализа и формирования когнитивных компетенций химиков часто используется так называемый «треугольник Джонстона», который разделяет все знания в этой области на следующие компоненты: 1) макро-уровень, 2) микро-уровень и 3) символический уровень. Макро-уровень — это все наблюдаемые химические явления (химические реакции, химические взаимодействия). Микро-уровень — это ненаблюдаемые глазом атомы, молекулы, ионы, кристаллические решетки вещества. Символический уровень — это графические, математические представления, описывающие взаимосвязь макро- и микро-уровней. Подобная природа химических знаний требует от специалистов постоянного перехода между микро-, макро- и символическим уровнями, а также понимания химических преобразований в разных масштабах (Johnstone, 1991). Химики в своей работе анализируют взаимодействие частиц микро-уровня с помощью наблюдения за химическими явлениями на макро-уровне, а затем переводят установленные закономерности в репрезентации разного формата — химические формулы, уравнения, изображения атомов и молекул, схемы и описание химических процессов (Harrison, 2001).

Исследований, сравнивающих выполнение когнитивных задач специалистами с разным уровнем профессионального опыта в области химии, не так много. В эксперименте Р. Козьмы и Дж. Рассела (Kozma, Russell, 1997) испытуемым предъявлялись слайды, содержащие разные типы стимульного материала (видеоматериалы химических процессов, графики, изображения атомов веществ и записи химических уравнений). Предъявляемый стимульный материал различался и по содержательным параметрам (например, по типу вещества,

по фазе преобразования вещества, по типу реакции). Участникам эксперимента предлагалось классифицировать слайды на основании любого критерия. В результате было обнаружено, что «эксперты» и «новички» различались размером рассматриваемых информационных фрагментов (*chunks*), что согласуется с результатами других исследований (Chi, Feltovich, Glaser, 1981). Средний размер классов, которые создавали «эксперты», был значительно больше, чем тот, который создавали «новички», а последние образовывали большее количество групп. Кроме этого, было установлено, что «эксперты» объединяют информацию в объёмные значимые паттерны вокруг одного общего принципа или закона. Для них не имело значения, в каком виде представлен материал (изображения, записи, схемы, графики, видеоролики). «Новички» же, напротив, при кластеризации слайдов с химическими феноменами ориентировались скорее на их поверхностные характеристики и с трудом могли «отстроиться» от формы предъявления заданий.

Ещё в одном исследовании выяснялось, каким образом «эксперты» и «новички» трансформируют один вид репрезентаций знаний в другой. Испытуемым предъявлялись зрительные изображения химических явлений (например, схемы химических процессов), которые необходимо было трансформировать в другой тип репрезентаций (например, в уравнения реакций). Было обнаружено, что «эксперты» были намного более успешны при совершении подобных трансформаций. «Эксперты» и «новички» действовали одинаково успешно, когда требовалось перевести информацию из формул и уравнений в схемы, графики, анимационные видео, но различались в ситуациях, которые требовали преобразования образного материала в вербальное описание. Для «новичков» трансформация схем и графиков в словесную форму представляла сложность (см.: Kozma 2003). В более поздних работах было показано, что при обучении химии большую сложность для студентов представляет построение связи между макро-, микро-, и символьным уровнями репрезентаций (Cheng, Gilbert, 2009).

В последнее время внимание исследователей всё больше привлекает анализ когнитивных компетенций химиков с помощью расшифровки глазодвигательной активности (Tang, Pienta, 2012). Было показано, что экспертам и новичкам присущи различные стратегии перемещения взгляда в пространстве задачи (Tai, Loehr, Brigham, 2006). К примеру, было обнаружено, что «эксперты-химики» гораздо быстрее находят и смотрят значимо дольше на релевантную информацию, а впоследствии решают задачи эффективнее «новичков» (Tang, Pienta, 2012). В то же время не была открыта и описана когнитивная архитектура, которая обеспечивает «превосходство экспертов» в решении химических задач.

В нашем исследовании мы поставили целью выявить когнитивные компетенции химиков, которые обеспечивают преимущества в решении профессиональных задач. Для этого мы сравнили особенности решения задач на идентификацию молекул вещества у химиков с разным профессиональным стажем. Мы предполагали, что специалисты с 10-летним опытом будут:

- а) демонстрировать превосходство в решении профессиональных задач, затрачивая меньше времени и делая меньше ошибок, по сравнению с «новичками»;
- б) применять особые стратегии когнитивной обработки, отражающиеся в показателях движений глаз;
- в) более эффективно использовать знания разного типа и испытывать меньше затруднений при переходе между разными форматами ментальных репрезентаций.

Дизайн и процедура экспериментального исследования

Испытуемые

В исследовании приняли участие 42 специалиста-химика в возрасте от 17 до 55 лет (средний возраст — 35 лет). Испытуемые были разделены на две группы по критерию стажа работы. Из них 20 человек — студенты химических специальностей (МГУ им. М. В. Ломоносова, химический факультет, РХТУ им. Д. И. Менделеева), средний стаж работы студентов — 0,6 лет. Стаж работы студентов варьировался от трёх до двенадцати месяцев. Остальные 22 человека — профессиональные химики, работающие по специальности на разных предприятиях химической промышленности более 8 лет. Средний стаж работы химиков-профессионалов — 10 лет. Минимальный стаж работы профессионалов составил 8 лет, максимальный — 34 года.

Экспериментальная задача

Испытуемым предъявлялись слайды на экране 19" ЖК-монитора с трёхмерным изображением молекул и списком обозначений различных химических соединений. Задача состояла в том, чтобы определить химическое вещество, молекула которого была изображена. Для этого нужно было указать на обозначение вещества в правой части экрана и кликнуть мышью на правильный вариант ответа.

Стимульный материал

Модели молекул вещества особенно важны для понимания предмета химии в связи с невозможностью непосредственного наблюдения молекулярных взаимодействий (Kozma, 2003). Для разработки стимульного материала были привлечены высококвалифицированные специалисты в области химии. В роли экспертов выступили три специалиста, сотрудники химического предприятия «Ренова-Оргсинтез», стаж работы которых превышал 20 лет. Эксперты работали на позициях химик-исследователь, старший научный сотрудник и руководитель лаборатории, двое из них имели учёную степень кандидата химических наук.

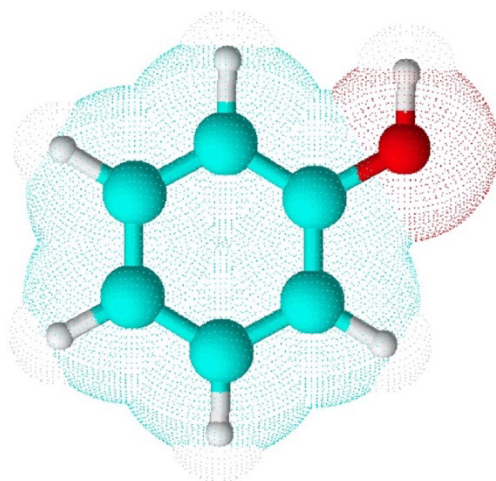
Были разработаны 32 тестовых задания. Каждое задание представляло собой слайд с трёхмерным изображением молекулы химического элемента. Стимульный материал был создан в программе «ChemDraw». ChemDraw — это профессиональный редактор химической графики, который используется для создания и редактирования химических структур и оборудования, для конвертации названия соединения в структуру и обратное название соединения по структуре ИЮПАК (Мясоедов, 2004) для проверки химических формул и структур. Данная программа входит в пакет ChemOffice от CambridgeSoft и широко используется специалистами-химиками в научно-исследовательской работе.

Стимульный материал предъявлялся на экране компьютера: изображение молекулы в левой части монитора и варианты обозначений данного химического элемента в правой части монитора (пример представлен на рис. 1). Варианты ответов располагались списком из 10 обозначений вещества, которые предлагались либо в виде формул, либо в виде слов. Это позволяло оценить, насколько просто испытуемые будут соотносить разные формы химических репрезентаций. Структура молекулы повторяется в формуле, словесное обозначение может быть не связано напрямую с молекулярным составом. Порядковый номер правильного ответа в списке варьировался от слайда к слайду.

Процедура

Последовательность стимулов состояла из 32 слайдов. Для построения ряда стимулов был использован алгоритм случайных чисел. После выполнения каждой пробы испытуемый нажимал клавишу «пробел» и переходил к следующему слайду с заданием. Время на выпол-

нение каждого задания не ограничивалось. Время выполнения всей серии заданий одним испытуемым варьировалось от 20 до 50 минут.



| | |
|-----------------|----|
| C_6H_5CHO | 1 |
| $C_6H_5NO_2$ | 2 |
| $C_6H_6Cl_6$ | 3 |
| C_6H_5COOH | 4 |
| $C_6H_{10}O$ | 5 |
| $C_6H_5CH_3$ | 6 |
| $C_6H_{11}OH$ | 7 |
| C_6H_5OH | 8 |
| $C_6H_5NH_2$ | 9 |
| $C_6H_{11}NH_2$ | 10 |

Рисунок 1. Пример используемого в эксперименте тестового задания с использованием вариантов ответов в виде формул. Второй вариант ответов представлял список из 10 названий веществ.

Регистрируемые показатели

В эксперименте регистрировались:

- показатели успешности решения задач, такие как время выполнения задачи и количество правильных ответов;
- простые индикаторы окулomotorной активности: количество, частота и длительность фиксации; количество, частота, скорость и амплитуда саккад, а также «путь сканирования» («scan-path»), частота и длительность морганий.

Все показатели фиксировались автоматически с помощью программы Experimentre Centre.

Аппаратура

Эксперимент был разработан и проведён с использованием оборудования и программного обеспечения фирмы Senso Motoric Instruments (SMI). Предъявление стимулов осуществлялось с помощью 19" ЖК-монитора, расположенного на расстоянии 60 — 65 см от испытуемого. Эксперимент проводился в программной среде SMI ExperimentCenter. Регистрация движений глаз осуществлялась с помощью системы бесконтактной видеорегистрации движений глаз SMI Hi-Speed с частотой 1250 Гц с использованием опоры для подбородка.

Статистическая обработка данных

Статистическая обработка данных проводилась с помощью пакета IBM SPSS *Statistics* 20. Использовался дисперсионный анализ (ANOVA).

Результаты и обсуждение

Эффективность решения задач

Для анализа эффективности выполнения задач были проанализированы показатели времени и правильности их решения. Результаты представлены на рис. 2. Опытные профессионалы выполняли задания значительно быстрее, чем «новички» ($F(1, 41) = 101.12, p < 0.01$). Они давали статистически значимо большее количество правильных ответов во всех типах заданий ($F(1, 41) = 29.85, p < 0.01$): в среднем «эксперты» решали верно 30.49, а новички — 28.78 из 32 задач. Для оценки компетентности профессионалов существенное значение имеет длительность первой фиксации. Многие авторы связывают её с процессом ориентировки в задаче (Holmqvist et al., 2011). Длительность первой фиксации была значимо больше ($F(1, 41) = 6.92, p < 0.01$) у «новичков» и составляла в среднем 153.76 мс, в то время как у «экспертов» только — 140.26 мс. В целом это демонстрировало феномен, который в литературе получает название «превосходство экспертов». Несмотря на то, что предлагаемая задача является скорее тестовой, чем собственно профессиональной, и для её решения студентам выпускных курсов хватало знаний и навыков, они проигрывали более опытным специалистам. Последние быстрее ориентировались, быстрее решали и делали меньше ошибок. Это подтверждало результаты, полученные в исследованиях «экспертов» и «новичков» в области химии (Tang, Pienta, 2012). Однако особенности предложенной нами задачи позволили установить не только факт превосходства более опытных специалистов, но и раскрыть природу этого превосходства.

Различия при выполнении разных типов заданий

Были обнаружены значимые различия между группами «экспертов» и «новичков» во времени выполнения обоих типов заданий: при решении задач со словесным ($F(1, 413) = 154.18, p < 0.01$) и с формульным ($F(1, 395) = 610.53, p < 0.01$) обозначением вещества при сравнении всех выполненных проб. При этом для «экспертов» разница между временем решений заданий с разным обозначением вариантов ответов была незначимой. Для новичков же разница между временем решений заданий с формульным и словесным обозначением вариантов ответов оказалась статистически значимой: задания с словесным обозначением вариантов ответов новички решали медленнее. Также были обнаружены статистически значимые различия между группами по количеству правильных ответов в задачах со словесным обозначением ответов ($F(1, 41) = 29.85, p < 0.01$): более опытные профессионалы давали большее количество верных ответов (в среднем около 15.7, в то время как менее опытные — 13). При этом группы значимо не различались по количеству правильных ответов в задачах с формульным обозначением («новички» в среднем давали 15.3 правильных ответов, «эксперты» — 14.8).

Таким образом, можем сделать вывод о том, что «эксперты» одинаково эффективно решали задачи как со словесной записью ответов, так и с формульной записью ответов. Для «новичков» же задачи со словесной записью ответов представляли большую сложность. Этот результат, на наш взгляд, является очень важным. Он свидетельствует о том, что у начинающих специалистов недостаточно сформированы когнитивные умения перехода между ментальными репрезентациями разного типа. Дело в том, что химические формулы в определённой степени повторяют структуру молекулы. Испытуемым, обладающим хорошими знаниями в области химии, не составляет труда соотнести трёхмерное изображение молекулы с формулой. Гораздо труднее сопоставить изображение с названием вещества. По всей вероятности, именно эта способность приобретается с накоплением профессиональ-

ного опыта — более лёгкий переход между ментальными хранилищами знаний и разными типами ментальных репрезентаций. Похожие данные были получены в ряде работ (Cheng, Gilbert, 2009; Kozma, Russell, 1997), где также было продемонстрировано, что начинающие специалисты сталкиваются с трудностями при необходимости соотношения разных типов репрезентации знаний.

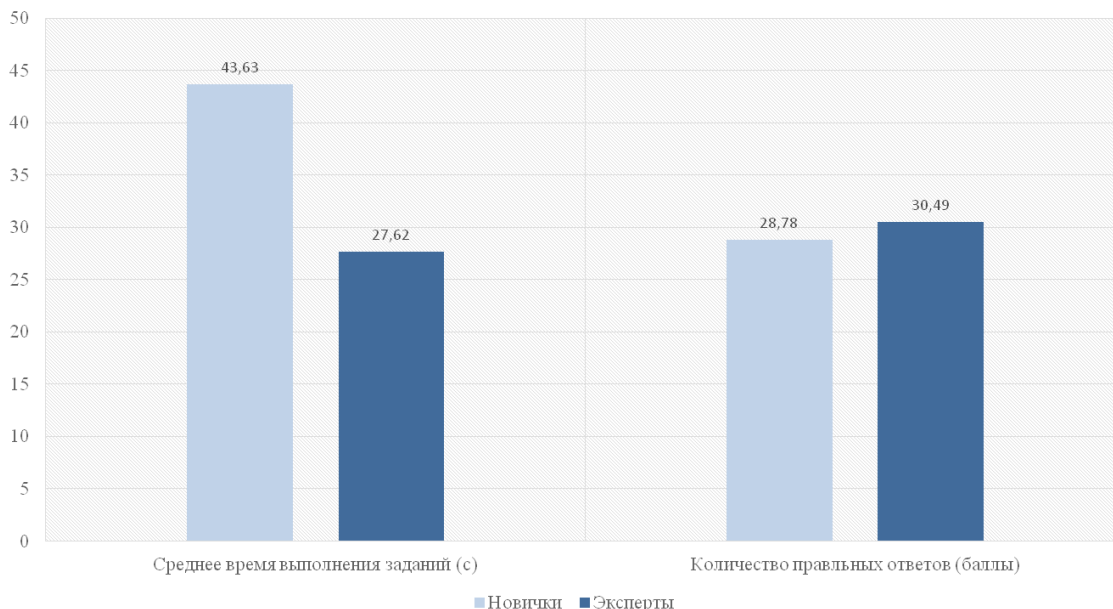


Рисунок 2. Среднее время распознавания молекулы вещества (с) и среднее количество правильных ответов экспертов и новичков (баллы) у начинающих («новички») и опытных («эксперты») профессионалов.

Глазодвигательная активность в процессе выполнения заданий

С помощью дисперсионного анализа были выявлены различия в показателях глазодвигательной активности между двумя группами испытуемых: «новичков» и «экспертов». Ряд показателей — количество фиксаций, саккад, общая длительность фиксаций и саккад — был связан с временем выполнения заданий. Поскольку студенты выполняли задание дольше, все перечисленные показатели имели у них более высокие значения. Интереснее было рассмотреть параметры, которые не были напрямую связаны с общим временем выполнения задания и могли свидетельствовать об особенностях когнитивной обработки. Мы обнаружили значимые различия ($p < 0.01$) между «экспертами» и «новичками» по средней длительности фиксаций (236.34 мс и 248.53 мс соответственно).

Этот результат представляет интерес. То, что «эксперты» решают задачи за счёт менее длительных фиксаций, регистрируется в большинстве исследований. Считается, что более продолжительные фиксации свидетельствуют о более длительной информационной переработке, затрате больших усилий, установлении большего количества связей (Holmqvist et al., 2011). С приобретением опыта, с развитием профессиональных навыков это время сокращается. Это получает название «информационная редукция» или «сокращение информационной обработки» (Haider, Frensch, 1996). По всей вероятности, за этим стоит более экономное расходование ресурсов и игнорирование заведомо ненужных связей.

Любопытным является то, что в данной задаче у «экспертов» регистрируются более короткие и медленные саккады. Средняя амплитуда саккад составляет 4.09° у «экспертов» и 5.21° у «новичков»; средняя скорость саккад составляет 81.27 град/с у «экспертов» и 95.33 град/с у «новичков»; различия между группами на уровне значимости $p < 0,01$. Это говорит

о том, что они применяют сознательно контролируруемую стратегию последовательно организованного анализа. Эти данные согласуются с рядом других результатов, полученных в некоторых исследованиях когнитивных компетенций химиков. В частности в работе С. Хансен было показано, что решение задач на поэтапный анализ веществ улучшается при более точном и подробном проговаривании последовательности решения (Hansen, 2014). Однако они не согласуются со многими результатами, демонстрирующими, что опыт приводит к более холистическому обобщённому анализу, что «экспертам» нужно «бросить только один взгляд на задачу» и тому подобное (Rayner, 2009; Reingold et al., 2001). По всей вероятности, предложенное нами задание не позволяет использовать что-то вроде «гештальт-стратегии»: многие молекулы даны в непривычном ракурсе, поэтому для правильной идентификации требуется поэлементно учитывать количество атомов и их связи. Стоит подумать о том, что и «преимущество экспертов», связано с умением выбора оптимальной стратегии для конкретных ситуаций. Об этом свидетельствуют демонстрация более высокого уровня осознанности профессиональной деятельности, присущей высококвалифицированным специалистам (Матюшин, Сорокина, Блинникова, 2018), так же как и более активное использование «экспертами» метакогнитивных стратегий (Кукушкина, Спиридонов, 2008).

Анализ показателей движений глаз относительно «зон интереса»

Для проведения более дифференцированного анализа технология регистрации движений глаз предполагает выделение «зон интереса» (*areas of interest, AOI*) — области стимульного материала, значимые в той или иной степени для выполнения задачи, которые исследователь выделяет в соответствии с условиями. С целью выявления стратегий поиска правильных решений у специалистов с разным профессиональным опытом мы обозначили две «зоны интереса»: первая — графическое представление химического элемента в левой части слайда, вторая — варианты ответа в правой части экрана (Рис. 1). В нашем случае зоны не отличались по релевантности относительно решения поставленной задачи. Обе они содержали необходимую, но разную информацию. Нам было интересно проанализировать, как распределяются когнитивные усилия «экспертов» и «новичков» относительно разных областей решения задачи. Поэтому отдельные показатели глазодвигательной активности были подсчитаны относительно каждой «зоны интереса», а затем по ним мы сравнили испытуемых с разным профессиональным опытом. Данные о значимо различающихся показателях представлены в табл. 1.

Таблица 1. Показатели глазодвигательной активности в зоне интереса «изображение молекулы» и «варианты ответов»

| Показатель | Группа новичков (SD) | Группа экспертов (SD) | F(1, 810) | p |
|---|----------------------|-----------------------|-----------|-------|
| Область интереса — «изображение молекулы» | | | | |
| Время пребывания в зоне интереса (dwell time), мс | 9658.35 (3686.94) | 14228.03 (4999.22) | 219.72 | < .01 |
| Средняя продолжительность фиксации, мс | 196.99 (38.21) | 223.01 (68.89) | 44.29 | < .01 |
| Область интереса — «варианты ответов» | | | | |
| Время пребывания в зоне интереса (dwell time), мс | 31548.29 (9021.44) | 12558.74 (4676.66) | 1417.86 | < .01 |
| Средняя продолжительность фиксации, мс | 268.85 (55.52) | 249.85 (43.64) | 29.42 | < .01 |
| Длительность первой фиксации, мс | 225.25 (104.63) | 205.67 (107.99) | 6.89 | < .05 |

Первое, что нужно отметить, это разное распределение времени, «проведённого» в зонах интереса, у начинающих и опытных профессионалов. «Новички» провели только 25.16% в области изображение молекулы и 70.19% в области вариантов ответа относительно общего времени выполнения задачи. Другими словами, они не столько изучали молекулу вещества, сколько возможные ответы. «Эксперты» примерно поровну распределили свои ресурсы

между двумя зонами. При этом изображению молекулы они посвятили больше времени (53.87%), чем изучению ответов (43.36%). Таким образом, можно было заключить, что опытные профессионалы были сосредоточены на изображении молекулы, в начинающие профессионалы — на вариантах ответа.

Что касается сравнения показателей глазодвигательной активности в области изображения молекулы, то были обнаружены статистически значимые различия между группами по длительности пребывания в зоне интереса (*dwell time*): взгляд «экспертов» дольше находился в данной области — в среднем около 14.2 секунд, у «новичков» — в течение 9.6 секунд. Было установлено также, что средняя длительность фиксаций была в этой зоне более продолжительной у «экспертов». Это очень значимый результат. Он говорит нам о том, что «эксперты» осуществляют более тщательную глубокую обработку информации в этой зоне интереса, выходя на семантические уровни анализа.

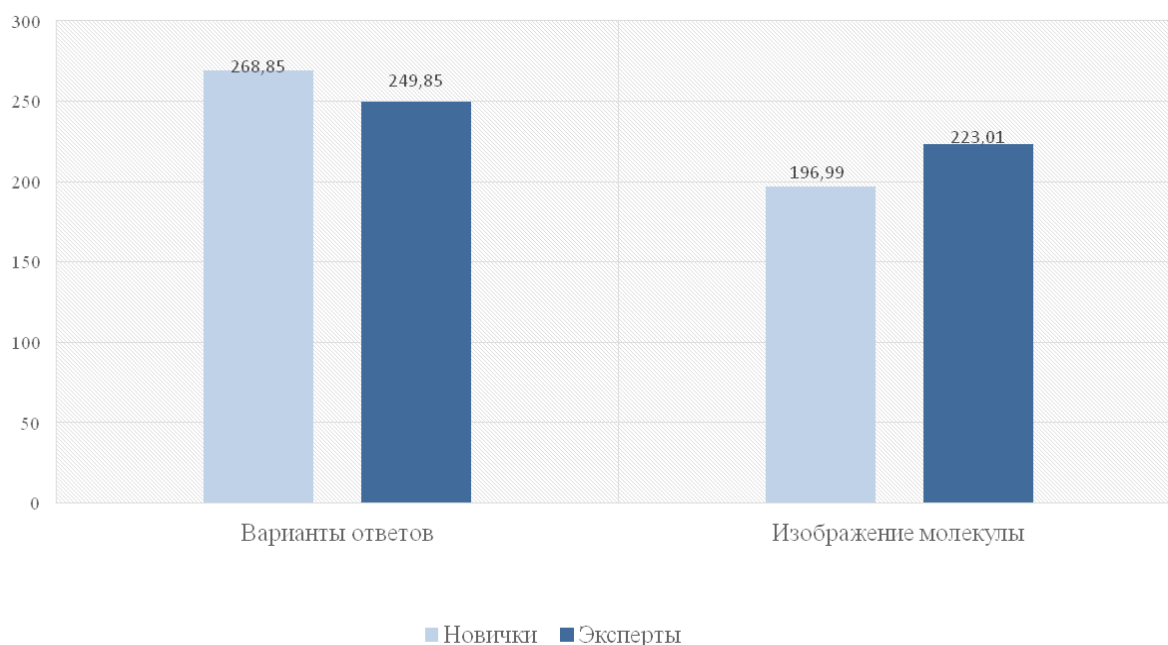


Рисунок 3. Средняя длительность фиксаций новичков и экспертов на разных зонах интереса, мс.

В области вариантов ответа также были получены различия между группами в общем времени пребывания в данном пространстве. Только в этом случае закономерность была обратной — взор «новичков» гораздо дольше находился в области с вариантами ответа, в среднем 31.5 секунд, в то время как «эксперты» проводили там в среднем 12.6 секунд. Обратная закономерность была установлена и по отношению к средней длительности фиксаций. «Новичкам» были присущи более длительные фиксации на вариантах ответа, это свидетельствовало о том, что они осуществляют более глубокую и сложную обработку знакового и вербального материала. Длительность первой фиксации также была значимо продолжительнее у «новичков» в этой зоне, в то время как в области изображения разницы в этом показателе между двумя группами не было выявлено. Таким образом, можем сделать вывод о том, что «новички», в целом, рассматривают варианты ответов дольше, и совершают более длительные фиксации в данной области.

Анализ передвижений взгляда «экспертов» и «новичков»

На последнем этапе был проведён качественный покадровый анализ решения с целью идентификации когнитивных стратегий новичков и экспертов при решении химических задач (Рис. 4). Было проанализировано перемещение взгляда (*scanpath*) или хронологическая карта движений глаз, включающая все фиксации и саккады. Бросается в глаза разное количество переходов между выделенными зонами интереса, и разный подход к анализу молекулы и вариантов ответа у «экспертов» и «новичков». Анализ перемещений взгляда подтвердил существование двух различных стратегий в решении задач.

Начинающие профессионалы проводили больше времени на области интереса с представленными вариантами ответа. Они останавливали взгляд на каждом варианте. Им было присуще также большее количество перемещений между зонами интереса, многократное возвращение к рассмотренным вариантам ответа. Было очевидно, что они используют способ решения задачи, аналогичный тому, который известен под названием «пробы и ошибки». Двигаясь вдоль списка ответов, они проверяют, соответствует тот или иной вариант предъявленной молекуле. В этом случае речь идет об исчерпывающем поиске. Более того, мы в данном случае наблюдаем «эффект перепроверки», сходный с тем, который был выявлен при сравнении стратегий чтения профессиональных текстов (Ишмуратова, Блинникова, 2017). Такую стратегию можно назвать «перцептивной», профессионалы с небольшим опытом стараются найти правильный ответ, не выходя за границы предъявленной информации.

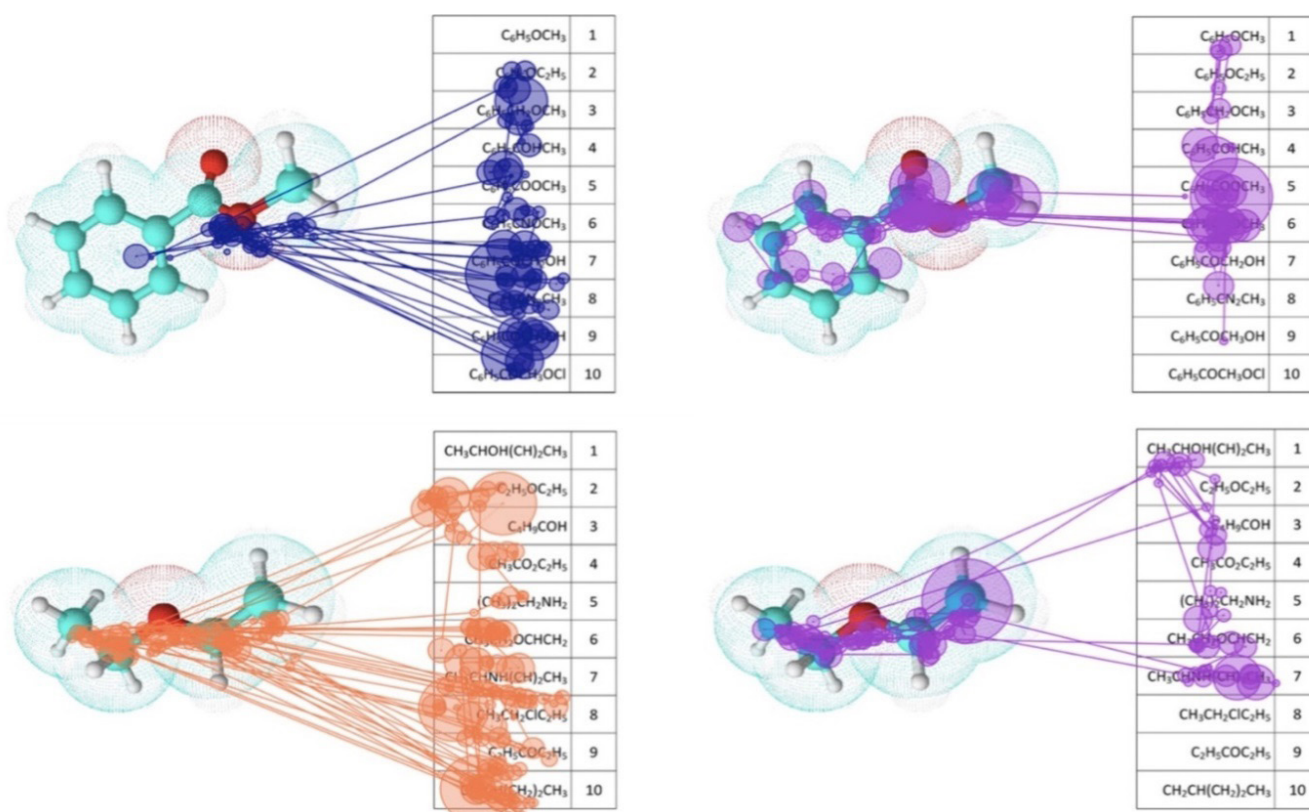


Рисунок 4. Примеры паттернов движений глаз в процессе решения задачи начинающих (слева) и опытных (справа) профессионалов в области химии.

Опытные специалисты-химики проводили в целом больше времени на области с изображением молекулы. Их характерной стратегией было последовательное сканирование изображения молекулы вещества, с фиксацией на отдельном атоме. Затем, после тщатель-

ного анализа структуры молекулы, «эксперты» приступали к поиску правильного варианта ответа. После его нахождения в списке они отмечали этот вариант и переходили к следующему заданию. Другими словами, речь идёт о самооканчивающемся поиске. Они совершали небольшое количество перемещений между зонами интереса. Стратегию «экспертов» можно назвать «репрезентационной», поскольку в процессе решения они используют ментальные репрезентации. Подробно, поatomно изучив изображения молекулы, они строят её ментальную репрезентацию, возможно даже определяют вещество, и затем, уже не возвращаясь к изображению молекулы, выбирают правильный ответ.

Выявленные «репрезентационная» и «перцептивная» стратегии, первая из которых присуща более опытным профессионалам, а вторая — начинающим специалистам в области химии, в целом, соответствуют идеям, предложенным Р. Глэйзером и его коллегами — «эксперты» в большей степени опираются на уже имеющиеся знания и ментальные репрезентации, в то время как решения «новичков» используют более «поверхностную» обработку информации (см. Glaser, Chi, 1988; Chi, Glaser, Rees, 1981).

Заключение

Попытки выявить структуру когнитивной компетентности наталкиваются на сложности изучения когнитивного компонента профессиональной деятельности. Для решения этой проблемы исследователи всё чаще прибегают к анализу движений глаз, выявляя более эффективные когнитивные стратегии при решении как профессиональных, так и тестовых задач в разных областях. Значительный интерес представляют когнитивные компетенции специалистов химической отрасли, поскольку особенности их профессиональной деятельности требуют интенсивной работы с ментальными репрезентациями и осуществления постоянных переходов между репрезентациями разного типа. В данной работе мы проанализировали, как опытные и начинающие специалисты в области химии решают задачу идентификации вещества по трёхмерным изображениям молекул.

Предложенный Д. МакКлелландом подход сравнения полярных групп профессионалов, обладающих разным опытом (McClelland, 1973), позволил выявить феномен «превосходства экспертов». Суть этого феномена сводится к тому, что более опытные специалисты решают задачи в рамках их профессионального опыта более успешно и с меньшими ресурсными затратами. Это касается множества разных аспектов их профессиональной деятельности в целом, и обработки информации, в частности. В нашем исследовании феномен «превосходства экспертов» также был подтверждён. Было показано, что опытные профессионалы-химики решают задачи быстрее и с меньшим количеством ошибок. Однако сегодня установления подобных фактов уже недостаточно, требуется выяснить, что стоит за «превосходством экспертов», какие способы информационной обработки приводят их к успеху.

Проведённый нами анализ показал, что относительно всего пространства задачи опытным профессионалам по сравнению со студентами были присущи менее длительные фиксации. Это подтверждает гипотезу информационной редукации в процессе приобретения навыков (Haider, Frensch, 1999). Другими словами, чем более опытными являются «эксперты», тем более экономно они обрабатывают информацию, связанную с профессиональными задачами. Кроме того, у высококвалифицированных специалистов более короткими были первые фиксации на слайдах, которые свидетельствуют о скорости ориентировки в задаче. Это также «работает» на гипотезу Х. Хайдер и П. Френша, которая предполагает, что в процессе становления опыта многие когнитивные навыки автоматизируются, возникают более устойчивые отсылки поступающей информации к той, что хранится в памяти, меньше времени и усилий тратится на нерелевантные связи.

Большой интерес вызывает результат, показывающий, что глазодвигательная активность «экспертов» при решении задачи на идентификацию молекул тестовых заданий характеризовалась менее длительными, более короткими и медленными саккадами. В то время как «новички» решали задачи за счёт более длительных, высокоамплитудных и высокоскоростных саккад. Это говорит о том, что опытные специалисты использовали сознательно контролируруемую стратегию последовательных операций. Такие данные вступают в противоречие с результатами многих других исследований, где было показано, что «эксперты» решают задачи за счёт более холистической обработки информации, связанных с укрупнением информационных фрагментов (*chunks*), обрабатываемых в единицу времени. Наши данные, конечно, не могут служить опровержением этих идей. Скорее, они позволяют предположить, что разные задачи требуют разных стратегий, а «преимущество экспертов» связано с умением выбора оптимальной стратегии для конкретных ситуаций.

Более дифференцированный анализ движений глаз специалистов с разным профессиональным опытом позволил выявить две принципиально разные стратегии решения зрительной задачи на идентификацию молекул вещества. Было установлено, что «эксперты» больше времени проводят на области трёхмерного изображения молекулы, а не на области вариантов ответа. При этом для них в этой части пространства задачи характерны более длительные фиксации, чем у начинающих профессионалов. Здесь не наблюдается редукции информационной обработки. Напротив, «эксперты» в той области задачи, которую они определяют как релевантную получению адекватного результата, осуществляют более длительную и более глубокую переработку информации. Они проводят поатомное рассмотрение молекулы вещества, строят ментальную репрезентацию молекулы, идентифицируют её, а затем переходят к поиску правильного варианта ответа из списка предложенных. После нахождения правильного варианта ответа эксперты завершают выполнение задания, не просматривая остальные варианты. «Экспертам» присуще меньшее количество перемещений между областями интереса, что свидетельствует о построении ментальных репрезентаций, которые позволяют быстрее и эффективнее решать поставленные задачи. Это может быть интерпретировано и описано как существование особой «репрезентационной» стратегии решения задачи экспертами, которая имеет особое значение именно для специалистов в области химии.

С другой стороны, было показано, что начинающие профессионалы при решении тестовых задач на идентификацию молекул вещества проводят больше времени на области вариантов ответа, а не на изображении молекулы. Им присущи более продолжительные фиксации в этой области, они затрачивают больше времени и усилий на обработку представленной там информации. Покадровый анализ выполнения заданий показал, что «новички» просматривают все варианты, иногда по несколько раз. При этом каждый из вариантов соотносится с изображением молекулы, что значительно увеличивает количество переходов между двумя областями решения задачи. Это было интерпретировано и описано как существование «перцептивной» стратегии решения задачи «новичками». Они просматривают варианты ответов, переходя от одного к другому и всякий раз оценивая, подходит ли обозначение под предъявленное изображение.

Любопытные данные были получены при сравнении решения задач с разным типом обозначения вещества. Оказалось, что для «экспертов» не существует принципиальных различий в поиске правильного ответа среди формул или среди словесных обозначений. Более того, эксперты несколько лучше решали задачи, когда ответы были представлены в форме слов. Напротив, «новички» были более эффективными, если ответы были представлены в виде формул, а поиск правильного ответа среди словесных обозначений увеличивал время выполнения и количество ошибок. По всей вероятности, эти данные также связаны

с выявленными характерными стратегиями решения задач. «Эксперты» рассматривают молекулу, понимают, какое вещество изображено, и затем ищут его обозначение в списке ответов. Небольшой выигрыш в случае словесных обозначений может свидетельствовать о том, что, определяя вещество, «эксперты», анализируя ответы, уже знают о каком веществе идёт речь. «Новички» предпочитают последовательно сравнивать молекулу с предъявленными обозначениями. В этом случае понятно преимущество, которое дают формулы, ведь последние собственно являются символическими изображениями молекулярного состава. Те преимущества, которые дает «экспертам» словесное обозначение вещества может также свидетельствовать о том, что они с большей легкостью могут перемещаться между разными классами и уровнями химического знания.

Таким образом, в данном исследовании удалось выявить глазодвигательные паттерны, которые связаны с успешностью решения зрительных задач на идентификацию молекул химического вещества. Описаны «репрезентационная» и «перцептивная» стратегии, первая из которых присуща более опытным профессионалам, а вторая — начинающим специалистам в области химии. Также было показано, что успех опытных профессионалов необязательно связан с анализом более крупных информационных фрагментов, он может быть следствием и последовательного поэлементного анализа. Важным является то, что «эксперты» знают, какая стратегия будет более успешна в том или ином случае.

Существенным является то, что в проведенном нами исследовании были установлены значимые различия между показателями глазодвигательной активности у специалистов с разным профессиональным опытом. Это открывает серьезные перспективы для разработки технологий объективной и дистантной оценки компетентности профессионалов в химической области, вопрос о которой является высокоактуальным и постоянно оказывается в центре обсуждения специалистов (Пряжников и др., 2017).

Ограничения исследования

Проведённое исследование носит скорее пилотажный характер и может служить началом цикла работ по выявлению отдельных когнитивных компетенций, как у специалистов-химиков, так и у профессионалов из других областей. Исследование имеет некоторые ограничения. Первое, о чём следует упомянуть, это достаточная, но не слишком большая выборка испытуемых. Исследования, проведённые с помощью аппаратуры для регистрации движений глаз достаточно трудоёмки как для экспериментатора, так и для испытуемых, поэтому сбор данных занимает довольно длительное время. Поэтому увеличение выборки — не всегда легко выполнимая задача. Тем не менее, небольшая выборка может быть источником искажений, связанных с индивидуальными различиями испытуемых. Для устранения этого ограничения можно было бы провести ещё одну экспериментальную серию с участием такого же количества испытуемых.

Второе ограничение связано с используемой задачей. Хотя задача имеет прямое отношение к деятельности химиков, она всё-таки является скорее тестовой, чем истинно профессиональной. Кроме этого она носит яркий образный характер, и это может приводить к ограничениям в распространении полученных закономерностей на задачи другого типа. Для преодоления этого ограничения необходимо провести эксперименты с использованием текстовых и графических задач. Остается открытым вопрос о том, насколько выявленные закономерности присущи профессионалам в области химии, или они носят более универсальный, кросс-профессиональный характер. Для того чтобы ответить на него, потребуется провести исследования с использованием аналогичных задач со специалистами других профессиональных областей.

Финансирование

Работа выполнена при поддержке РФФИ, грант № 18-013-01240 А «Когнитивные стратегии экспертов и новичков в оптимальных и напряжённых условиях решения задач».

Литература

- Абдуллаева, М. М. (2017). Возможности психосемантического подхода к изучению содержания профессионального опыта специалистов. *Мир психологии*, 3, 209–217.
- Алдашева, А. А. (2012). Профессиональная компетентность: Понятие и структура. *Вестник Адыгейского государственного университета. Серия 3: Педагогика и психология*, 4(109), 121–128.
- Александров, И. О. (2006). *Формирование структуры индивидуального знания*. М.: Институт психологии РАН.
- Барабанчиков, В. А., Жегалло, А. В. (2013). *Регистрация и анализ направленности взора человека*. М.: Институт психологии РАН.
- Брушлинский, А. В., Сергиенко, Е. А. (Ред.) (1998). *Ментальная репрезентация: Динамика и структура*. М.: Институт психологии РАН.
- Величковский, Б. М. (2006). *Когнитивная наука. Основы психологии познания. В 2-х томах (Т. 2)*. М.: Академия: Смысл.
- Волкова, Е. В. (2008). *Общий универсальный закон развития, развитие когнитивных структур химического знания и химические способности*. Екатеринбург: Издательство Уральского университета.
- Ишмуратова, Ю. А., Блинникова, И. В. (2017). Движения глаз в процессе анализа концептуальных схем специалистами химиками. В сб.: С. И. Масалова, В. Д. Соловьев, В. Н. Поляков (Ред.) *Когнитивное моделирование: Труды Пятого Международного форума по когнитивному моделированию. В 2-х частях. Часть 2 (23–31)*. Ростов-на-Дону: Фонд науки и образования.
- Кузьмина, Н. В. (1978). Педагогическая деятельность мастера. В сб.: М. И. Думченко (отв. ред.) *Проблемы дидактики производственного обучения (233–234)*. М.: Высшая школа.
- Кукушкина, Ю. А., Спиридонов, В. Ф. (2008). Критическое мышление как фактор профессиональной компетентности программистов. *Психология. Журнал Высшей школы экономики*, 5(1), 165–174.
- Матюшин, В. В., Сорокина, А. С., Блинникова, И. В. (2018). Анализ взаимосвязи осознанности (mindfulness) и эмоционального интеллекта среди представителей различных профессий. В сб.: Т. Н. Банщикова, В. И. Моросанова, Е. А. Фомина (Ред.). *Личностный ресурс субъекта труда в изменяющейся России. В 2-х томах. Т. 1. Субъект и личность в психологии саморегуляции (133–139)*. Иваново: Научный мир.
- Мусаев, Ю. И., Мусаева, Э. Б., Гринёва, Л. Г. (2009). О названиях органических соединений по правилам ИЮПАК. *Химия в Школе*, 5, 49–54.
- Мясоедов, Б. Ф. (2004). *Рекомендации и номенклатурные правила ИЮПАК по химии*. М.: Наука.
- Нечаев, Н. Н. (2005). *Профессионализм как основа профессиональной мобильности*. М.: Иссл. Центр Минобрнауки РФ.
- Носуленко, В. Н. (2016). Введение. В сб.: В. Н. Носуленко (ред.) *Технологии сохранения и воспроизведения когнитивного опыта (5–19)*. М.: Институт психологии РАН.
- Пряжников, Н. С. (2017). Методы ориентировки в психологических «пространствах» самоопределения. *Национальный психологический журнал*, 3(27), 144–150.
- Пряжников, Н. С., Гусев, А. Н., Тюрин, К. Г., Самборская Л.Н. (2017). Проектирование информационно-поисковых онлайн технологий в профессиональном консультировании (на

- примере экспертной системы «Выбирай и поступай — ВИП»). *Вестник Московского университета. Серия 14. Психология*, 2, 95–113.
- Спиридонов, В. Ф. (2013). Новые методы изучения мыслительных процессов. *Психология. Журнал Высшей школы экономики*, 10(4), 5–38.
- Стрелков, Ю. К. (2007). Операционально-смысловые структуры профессионального опыта. В сб.: В. А. Бодров (ред.), *Психологические основы профессиональной деятельности* (261–268). М. Логос.
- Adelson, B. (1981). Problem solving and the development of abstract categories in programming languages. *Memory & Cognition*, 9(4), 422–433.
- Alberdi, E., Sleeman, D. H., Korpi, M. (2000). Accommodating surprise in taxonomic tasks: The role of expertise. *Cognitive Science*, 24(1), 53–91.
- Beilock, S. L., Wierenga, S. A., Carr, T. H. (2002). Expertise, attention, and memory in sensorimotor skill execution: Impact of novel task constraints on dual-task performance and episodic memory. *The Quarterly Journal of Experimental Psychology Section A*, 55(4), 1211–1240.
- Bédard, J., Chi, M. T. (1992). Expertise. *Current Directions in Psychological Science*, 1(4), 135–139.
- Blinnikova, I., Izmailkova, A. (2016). Eye Movement Evidence of Cognitive Strategies in SL Vocabulary Learning. In I. Czarnowski, A. M. Caballero, R. J. Howlett, L. C. Jain (Eds.), *Intelligent Decision Technologies 2016* (311–322). Cham: Springer International Publishing.
- Chase, W. G., Simon, H. A. (1973). The mind's eye in chess. In W. G. Chase (Ed.), *Visual information processing* (215–281). Oxford, England: Academic.
- Cheng, M., Gilbert, J. K. (2009). Towards a Better Utilization of Diagrams in Research into the Use of Representative Levels in Chemical Education. In J. K. Gilbert, D. Treagust (Eds.), *Multiple Representations in Chemical Education* (55–73). Dordrecht: Springer Netherlands. doi:10.1007/978-1-4020-8872-8_4
- Chi, M. T. H., Feltovich, P. J., Glaser, R. (1981). Categorization and representation of physics problems by experts and novices. *Cognitive Science*, 5(2), 121–152.
- Chi, M. T. H., Glaser, R., Rees, E. (1981). *Expertise in problem solving*. Pittsburgh: Pittsburgh Univ Pa Learning Research And Development Center.
- Crundall, D., Underwood, G., Chapman, P. (1999). Driving experience and the functional field of view. *Perception*, 28(9), 1075–1087.
- Ericsson, K. A., Hoffman, R. R., Kozbelt, A., Williams, A. M. (Eds.). (2018). *The Cambridge handbook of expertise and expert performance*. 2d ed. NY: CUP.
- Ericsson, K. A., Krampe, R. T., Tesch-Römer, C. (1993). The role of deliberate practice in the acquisition of expert performance. *Psychological Review*, 100(3), 363–406.
- Ericsson, K. A., Smith, J. (1991). *Toward a general theory of expertise: Prospects and limits*. Cambridge University Press.
- Feldon, D. F. (2007). The implications of research on expertise for curriculum and pedagogy. *Educational Psychology Review*, 19(2), 91–110.
- Gegenfurtner, A., Lehtinen, E., Säljö, R. (2011). Expertise differences in the comprehension of visualizations: A meta-analysis of eye-tracking research in professional domains. *Educational Psychology Review*, 23(4), 523–552.
- Gilbert, J. K., Treagust, D. F. (2009). Introduction: Macro, Submicro and Symbolic Representations and the Relationship Between Them: Key Models in Chemical Education. In: J. K. Gilbert, D. Treagust (Eds.), *Multiple Representations in Chemical Education. Models and Modeling in Science Education*, vol. 4. Springer, Dordrecht.
- Glaser, R., Chi, M. T. H. (1988). Overview. In M. T. H. Chi, R. Glaser, M. J. Farr (Eds.), *The nature of expertise*. Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum Associates.

- Haider, H., Frensch, P. A. (1999). Eye movement during skill acquisition: More evidence for the information-reduction hypothesis. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, 25(1), 172–190. doi: 10.1037/0278-7393.25.1.172
- Hansen, S. J. R. (2014). *Multimodal study of visual problem solving in chemistry with multiple representations*. Columbia University.
- Harrison, A. G. (2001). How do teachers and textbook writers model scientific ideas for students? *Research in Science Education*, 31(3), 401–435.
- Holmqvist, K., Nyström, M., Andersson, R., Dewhurst, R., Jarodzka, H., Van de Weijer, J. (2011). *Eye tracking: A comprehensive guide to methods and measures*. OUP Oxford.
- Jarodzka, H., Scheiter, K., Gerjets, P., Van Gog, T. (2010). In the eyes of the beholder: How experts and novices interpret dynamic stimuli. *Learning and Instruction*, 20(2), 146–154.
- Johnstone, A. H. (1991). Why is science difficult to learn? Things are seldom what they seem. *Journal of Computer Assisted Learning*, 7(2), 75–83.
- Konstantopoulos, P. (2009). *Investigating drivers' visual search strategies: Towards an efficient training intervention*. University of Nottingham.
- Kozma, R. (2003). The material features of multiple representations and their cognitive and social affordances for science understanding. *Learning and Instruction*, 13(2), 205–226.
- Kozma, R. B., Russell, J. (1997). Multimedia and understanding: Expert and novice responses to different representations of chemical phenomena. *Journal of Research in Science Teaching*, 34(9), 949–968.
- Kozma, R., Russell, J. (2005). Students Becoming Chemists: Developing Representational Competence. In J. K. Gilbert (Ed.), *Visualization in Science Education* (121–145). Dordrecht: Springer Netherlands.
- Krupinski, E. A. (2005). Visual search of mammographic images: Influence of lesion subtlety. *Academic Radiology*, 12(8), 965–969.
- Kundel, H. L., Nodine, C. F., Conant, E. F., Weinstein, S. P. (2007). Holistic component of image perception in mammogram interpretation: gaze-tracking study. *Radiology*, 242(2), 396–402.
- Larkin, J. (1985). Understanding, problem representations, and skill in physics. *Thinking and Learning Skills*, 2, 141–159.
- Litchfield, D., Ball, L. J., Donovan, T., Manning, D. J., Crawford, T. (2008). Learning from others: Effects of viewing another person's eye movements while searching for chest nodules. In *Medical Imaging 2008: Image Perception, Observer Performance, and Technology Assessment* (691–715). International Society for Optics and Photonics.
- McClelland, D. C. (1973). Testing for competence rather than for "intelligence". *American Psychologist*, 28(1), 1–14.
- Raven, J., Stephenson, J. (Eds.). (2001). *Competence in the Learning Society*. New York: Peter Lang.
- Rayner, K. (2009) Eye movements and attention in reading, scene perception, and visual search. *The quarterly journal of experimental psychology*, 62(8), 1457–1506.
- Reingold, E. M., Charness, N., Pomplun, M., Stampe, D. M. (2001). Visual span in expert chess players: Evidence from eye movements. *Psychological Science*, 12(1), 48–55.
- Schriner, A. T., Morrow, D. G., Wickens, C. D., Talleur, D. A. (2008). Expertise differences in attentional strategies related to pilot decision making. *Human Factors*, 50(6), 864–878.
- Simonton, D. K. (1999). Talent and its development: An emergent and epigenetic model. *Psychological Review*, 106(3), 435–457.
- Singley, M. K., Anderson, J. R. (1989). *The transfer of cognitive skill*. Harvard University Press.
- Sloutsky, V. M., Yarlas, A. (2000). Problem representation in experts and novices: Part 2. Underlying processing mechanisms. In *Proceedings of the XXII Annual Conference of the Cognitive Science Society* (475–480).

- Sternberg, R. J. (1998). Metacognition, abilities, and developing expertise: What makes an expert student? *Instructional Science*, 26(1), 127–140. doi: 10.1023/A:1003096215103
- Tai, R. H., Loehr, J. F., Brigham, F. J. (2006). An exploration of the use of eye-gaze tracking to study problem-solving on standardized science assessments. *International journal of research & method in education*, 29(2), 185–208.
- Tang, H., Pienta, N. (2012). Eye-tracking study of complexity in gas law problems. *Journal of Chemical Education*, 89(8), 988–994.
- Vogt, S., Magnussen, S. (2007). Expertise in pictorial perception: eye-movement patterns and visual memory in artists and laymen. *Perception*, 36(1), 91–100.
- Voss, J. F., Greene, T. R., Post, T. A., Penner, B. C. (1983). Problem-solving skill in the social sciences. *The Psychology of Learning and Motivation*, 17, 165–213.
- White, R. W. (1959). Motivation reconsidered: The concept of competence. *Psychological Review*, 66(5), 297–333.
- Williams, A. M., Hodges, N. J., North, J. S., Barton, G. (2006). Perceiving patterns of play in dynamic sport tasks: Investigating the essential information underlying skilled performance. *Perception*, 35(3), 317—332.
- Wilson, M., McGrath, J., Vine, S., Brewer, J., Defriend, D., Masters, R. (2010). Psychomotor control in a virtual laparoscopic surgery training environment: gaze control parameters differentiate novices from experts. *Surgical Endoscopy*, 24(10), 2458–2464.



Analysis of cognitive competence of chemists: comparison between novices and professionals using eye tracker

Irina BLINNIKOVA

Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russia

Yuliya ISHMURATOVA

Psychological Institute of Russian Academy of Education, Moscow, Russia

Abstract. *Relevance.* Global computerization of work makes it relevant to pay more and more attention to the cognitive competence of professionals. Identifying its structural and functional characteristics is difficult due to latent knowledge and unconscious components of cognitive processing. These difficulties can be overcome by analyzing eye movement. *Purpose:* to explore the cognitive architecture of problem solving by specialists with different professional experience, to identify peculiarities of using knowledge at different stages of professionalization, to describe different levels of cognitive competence. Professional chemists were chosen as subjects for the investigation since this area of knowledge implies special ways of processing and representing the information essential for solving professional problems. *Methodology.* Both professional chemists ($n = 22$) and novices ($n = 20$) were asked to identify the substance molecule by choosing the correct answer from the given list (these could be either formulas or substance names). The task execution time, errors and eye movement indicators were recorded using the SMI hardware and software. *Finding.* More experienced chemists outperformed less experienced ones in the speed and accuracy of molecule identification. In order to understand what was behind this “superiority”, we compared solving processes of different versions of the task and analyzed indicators of the subjects’ eye movements. The novices were less successful in situations where they were asked to match the images of the molecule with its name, which indicated the difficulties they had with the transition between different forms of representations. As for eye movements, the professionals showed shorter first fixations (indicating a faster orientation in the task) and a shorter average duration of fixations (indicating faster processing of information in general). Different strategies for task solving were identified. Professionals relied more on their knowledge, trying first to identify the molecule, construct a mental representation and then use it to select the answer. The novices tried to find the solution in the presented information. *Value of results.* The revealed “superiority of experts” was due to a faster orientation in the task, faster processing of information, the use of representative strategies and more developed abilities to switch between different formats of representations.

Keywords: cognitive competence, eye movement, eye tracking, professional experience, experts and novices in chemistry.

References

- Abdullaeva, M. M. (2017). Vozmozhnosti psihosemanticheskogo podhoda k izucheniyu sodержaniya professional'nogo opyta specialistov [Possibilities of psychosemantic approach to the study of the content of professional experience of specialists]. *Mir psihologii*, 3, 209–217.
- Adelson, B. (1981). Problem solving and the development of abstract categories in programming languages. *Memory & Cognition*, 9(4), 422–433.
- Alberdi, E., Sleeman, D. H., Korpi, M. (2000). Accommodating surprise in taxonomic tasks: The role of expertise. *Cognitive Science*, 24(1), 53–91.
- Aldasheva, A. A. (2012). Professional'naya kompetentnost': Ponyatiye i struktura [Professional competence: The concept and structure]. *Vestnik Adygeyskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya 3: Pedagogika i psikhologiya*, 4(109), 121–128.
- Aleksandrov, I. O. (2006). *Formirovaniye struktury individual'nogo znaniya* [Formation of the structure of individual knowledge.]. M.: IP RAN.
- Barabanshchikov, V. A., Zhegallo, A. V. (2013). *Registraciya i analiz napravlenosti vzora cheloveka* [Registration and analysis of human gaze]. M.: IP RAN.
- Bédard, J., Chi, M. T. (1992). Expertise. *Current Directions in Psychological Science*, 1(4), 135–139.
- Beilock, S. L., Wierenga, S. A., Carr, T. H. (2002). Expertise, attention, and memory in sensorimotor skill execution: Impact of novel task constraints on dual-task performance and episodic memory. *The Quarterly Journal of Experimental Psychology Section A*, 55(4), 1211–1240.
- Blinnikova, I., Izmalkova, A. (2016). Eye Movement Evidence of Cognitive Strategies in SL Vocabulary Learning. In I. Czarnowski, A. M. Caballero, R. J. Howlett, L. C. Jain (Eds.), *Intelligent Decision Technologies 2016* (311–322). Cham: Springer International Publishing.
- Brushlinsky, A. V., Sergienko, Ye. A. (Eds.). (1998). *Mental'naya reprezentatsiya: Dinamika i struktura* [Mental representation: Dynamics and structure]. M.: IP RAN
- Chase, W. G., Simon, H. A. (1973). The mind's eye in chess. In W. G. Chase (Ed.), *Visual information processing* (215–281). Oxford, England: Academic.
- Cheng, M., Gilbert, J. K. (2009). Towards a Better Utilization of Diagrams in Research into the Use of Representative Levels in Chemical Education. In J. K. Gilbert, D. Treagust (Eds.), *Multiple Representations in Chemical Education* (55–73). Dordrecht: Springer Netherlands. doi:10.1007/978-1-4020-8872-8_4
- Chi, M. T. H., Feltovich, P. J., Glaser, R. (1981). Categorization and representation of physics problems by experts and novices. *Cognitive Science*, 5(2), 121–152.
- Chi, M. T. H., Glaser, R., Rees, E. (1981). *Expertise in problem solving*. Pittsburgh: Pittsburgh Univ Pa Learning Research And Development Center.
- Crundall, D., Underwood, G., Chapman, P. (1999). Driving experience and the functional field of view. *Perception*, 28(9), 1075–1087.
- Ericsson, K. A., Hoffman, R. R., Kozbelt, A., Williams, A. M. (Eds.). (2018). *The Cambridge handbook of expertise and expert performance*. 2d ed. NY: CUP.
- Ericsson, K. A., Krampe, R. T., Tesch-Römer, C. (1993). The role of deliberate practice in the acquisition of expert performance. *Psychological Review*, 100(3), 363–406.
- Ericsson, K. A., Smith, J. (1991). *Toward a general theory of expertise: Prospects and limits*. Cambridge University Press.
- Feldon, D. F. (2007). The implications of research on expertise for curriculum and pedagogy. *Educational Psychology Review*, 19(2), 91–110.

- Gegenfurtner, A., Lehtinen, E., Säljö, R. (2011). Expertise differences in the comprehension of visualizations: A meta-analysis of eye-tracking research in professional domains. *Educational Psychology Review*, 23(4), 523–552.
- Gilbert, J. K., Treagust, D. F. (2009). Introduction: Macro, Submicro and Symbolic Representations and the Relationship Between Them: Key Models in Chemical Education. In: J. K. Gilbert, D. Treagust (Eds.), *Multiple Representations in Chemical Education. Models and Modeling in Science Education*, vol. 4. Springer, Dordrecht.
- Glaser, R., Chi, M. T. H. (1988). Overview. In M. T. H. Chi, R. Glaser, M. J. Farr (Eds.), *The nature of expertise*. Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum Associates.
- Haider, H., Frensch, P. A. (1999). Eye movement during skill acquisition: More evidence for the information-reduction hypothesis. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, 25(1), 172–190. doi: 10.1037/0278-7393.25.1.172
- Hansen, S. J. R. (2014). *Multimodal study of visual problem solving in chemistry with multiple representations*. Columbia University.
- Harrison, A. G. (2001). How do teachers and textbook writers model scientific ideas for students? *Research in Science Education*, 31(3), 401–435.
- Holmqvist, K., Nyström, M., Andersson, R., Dewhurst, R., Jarodzka, H., Van de Weijer, J. (2011). *Eye tracking: A comprehensive guide to methods and measures*. OUP Oxford.
- Ishmuratova, Yu. A., Blinnikova, I. V. (2017). Dvizheniya glaz v processe analiza konceptual'nyh skhem specialistami himikami [Eye movement in the analysis of conceptual schemas by chemists]. In: S. I. Masalova, V. D. Soloviev (Eds.). *Kognitivnoe modelirovanie. Part 2* (23–31). Rostov-na-Donu: Fond nauki i obrazovaniya.
- Jarodzka, H., Scheiter, K., Gerjets, P., Van Gog, T. (2010). In the eyes of the beholder: How experts and novices interpret dynamic stimuli. *Learning and Instruction*, 20(2), 146–154.
- Johnstone, A. H. (1991). Why is science difficult to learn? Things are seldom what they seem. *Journal of Computer Assisted Learning*, 7(2), 75–83.
- Konstantopoulos, P. (2009). *Investigating drivers' visual search strategies: Towards an efficient training intervention*. University of Nottingham.
- Kozma, R. (2003). The material features of multiple representations and their cognitive and social affordances for science understanding. *Learning and Instruction*, 13(2), 205–226.
- Kozma, R. B., Russell, J. (1997). Multimedia and understanding: Expert and novice responses to different representations of chemical phenomena. *Journal of Research in Science Teaching*, 34(9), 949–968.
- Kozma, R., Russell, J. (2005). Students Becoming Chemists: Developing Representational Competence. In J. K. Gilbert (Ed.), *Visualization in Science Education* (121–145). Dordrecht: Springer Netherlands.
- Krupinski, E. A. (2005). Visual search of mammographic images: Influence of lesion subtlety. *Academic Radiology*, 12(8), 965–969.
- Kukushkina, Yu. A., Spiridonov, V. F. (2008). Kriticheskoe myshlenie kak faktor professional'noj kompetentnosti programmistov [Critical thinking as a factor of programmers expertise]. *Psychology: The journal of the Higher School of Economics*, 5(1), 165–175.
- Kundel, H. L., Nodine, C. F., Conant, E. F., Weinstein, S. P. (2007). Holistic component of image perception in mammogram interpretation: gaze-tracking study. *Radiology*, 242(2), 396–402.
- Kuz'mina, N. V. (1978). Pedagogicheskaya deyatelnost' mastera [Master's pedagogical activity]. In M. I. Dumchenko (Ed.), *Problemy didaktiki proizvodstvennogo obucheniya* (233–234). M.: Vysshaya shkola.
- Larkin, J. (1985). Understanding, problem representations, and skill in physics. *Thinking and Learning Skills*, 2, 141–159.

- Litchfield, D., Ball, L. J., Donovan, T., Manning, D. J., Crawford, T. (2008). Learning from others: Effects of viewing another person's eye movements while searching for chest nodules. In *Medical Imaging 2008: Image Perception, Observer Performance, and Technology Assessment*, (691–715). International Society for Optics and Photonics.
- Matushin, V. V., Sorokina, A. S., Blinnikova, I. V. (2018). Analiz vzaimosvyazi osoznannosti (mindfulness) i emotsional'nogo intellekta sredi predstaviteley razlichnykh professiy [Analysis of the relationship of mindfulness and emotional intelligence among various professionals]. In: T. N. Bانشchikova, V. I. Morosanova, Ye. A. Fomina (Eds.), *Lichnostnyy resurs sub'yekta truda v izmenyayushchey Rossii* (133–139). Ivanovo: Nauchnyy mir.
- McClelland, D. C. (1973). Testing for competence rather than for "intelligence". *American Psychologist*, 28(1), 1–14.
- Musaev, Yu. I., Musaeva, E. B., Grinyova, L. G. (2009). O nazvaniyah organicheskikh soedinenij po pravilam IUPAC [About the names of organic compounds according to the rules of IUPAC]. *Himiya v shkole*, 5, 49–54.
- Myasoedov, B. F. (2004). *Rekomendacii i nomenklaturnye pravila IYUPAK po himii* [Recommendations and nomenclature rules of IUPAC in chemistry]. M.: Nauka.
- Nechaev, N. N. (2005). *Professionalizm kak osnova professional'noj mobil'nosti* [Professionalism as the basis of professional mobility]. M.: Issl. Centr Minobrnauki RF.
- Nosulenko, V. N. (2016). Vvedeniye [Introduction] In: V. N. Nosulenko (Ed.) *Tekhnologii sokhraneniya i vosproizvedeniya kognitivnogo opyta* [Technologies of retention and reproduction of cognitive experience] (5–19). M.: IP RAN».
- Pryazhnikov, N. S. (2017). Metody orientirovki v psihologicheskikh «prostranstvakh» samoopredeleniya [Guidance methods in psychological «spaces» of self-determination]. *National Psychological Journal*, 3(27), 144–150.
- Pryazhnikov, N. S., Gusev, A. N., Tyurin, K. G., Samborskaya, L. N. (2017). Proektirovanie informacionno-poiskovykh onlajn tekhnologij v professional'nom konsul'tirovanii (na primere ehkspertnoj sistemy «Vybiraj i postupaj — VIP») [Development of information retrieval online technologies in professional counseling (For example, the expert system "choose and enter — CAE")]. *Moscow university psychology bulletin. Series 14. Psychology*, 2, 95–113.
- Raven, J., Stephenson, J. (Eds.). (2001). *Competence in the Learning Society*. New York: Peter Lang.
- Rayner, K. (2009) Eye movements and attention in reading, scene perception, and visual search. *The quarterly journal of experimental psychology*, 62(8), 1457–1506.
- Reingold, E. M., Charness, N., Pomplun, M., Stampe, D. M. (2001). Visual span in expert chess players: Evidence from eye movements. *Psychological Science*, 12(1), 48–55.
- Schriner, A. T., Morrow, D. G., Wickens, C. D., Talleur, D. A. (2008). Expertise differences in attentional strategies related to pilot decision making. *Human Factors*, 50(6), 864–878.
- Simonton, D. K. (1999). Talent and its development: An emergent and epigenetic model. *Psychological Review*, 106(3), 435–457.
- Singley, M. K., Anderson, J. R. (1989). *The transfer of cognitive skill*. Harvard University Press.
- Sloutsky, V. M., Yarlas, A. (2000). Problem representation in experts and novices: Part 2. Underlying processing mechanisms. In *Proceedings of the XXII Annual Conference of the Cognitive Science Society* (475–480).
- Spiridonov, V. F. (2013). Novye metody izucheniya myslitel'nykh processov [New Methods for Thinking Process Research]. *Psychology: The journal of the Higher School of Economics*, 10(4), 5–38.
- Sternberg, R. J. (1998). Metacognition, abilities, and developing expertise: What makes an expert student? *Instructional Science*, 26(1), 127–140. doi: 10.1023/A:1003096215103

- Strelkov, Yu. K. (2007). Operacional'no-smyslovye struktury professional'nogo opyta [Operational-semantic structure of professional experience] In: V. A. Bodrov (Ed.), *Psihologicheskie osnovy professional'noj deyatel'nosti hrestomatiyasost* (261–268). M. Logos.
- Tai, R. H., Loehr, J. F., Brigham, F. J. (2006). An exploration of the use of eye-gaze tracking to study problem-solving on standardized science assessments. *International journal of research & method in education*, 29(2), 185–208.
- Tang, H., Pienta, N. (2012). Eye-tracking study of complexity in gas law problems. *Journal of Chemical Education*, 89(8), 988–994.
- Velichkovsky, B. M. (2006). *Kognitivnaya nauka. Osnovy psihologii poznaniya* [Cognitive science: Foundation of epistemic psychology]. V 2-h tomah. (T. 2). M.: Akademiya: Smysl.
- Vogt, S., Magnussen, S. (2007). Expertise in pictorial perception: eye-movement patterns and visual memory in artists and laymen. *Perception*, 36(1), 91–100.
- Volkova, E. V. (2008). *Obshchij universal'nyj zakon razvitiya, razvitie kognitivnyh struktur himicheskogo znaniya i himicheskie sposobnosti* [General universal law of development, development of cognitive structures of chemical knowledge and chemical abilities]. Ekaterinburg: Izdatel'stvo Ural'skogo universiteta.
- Voss, J. F., Greene, T. R., Post, T. A., Penner, B. C. (1983). Problem-solving skill in the social sciences. *The Psychology of Learning and Motivation*, 17, 165–213.
- White, R. W. (1959). Motivation reconsidered: The concept of competence. *Psychological Review*, 66(5), 297–333.
- Williams, A. M., Hodges, N. J., North, J. S., Barton, G. (2006). Perceiving patterns of play in dynamic sport tasks: Investigating the essential information underlying skilled performance. *Perception*, 35(3), 317–332.
- Wilson, M., McGrath, J., Vine, S., Brewer, J., Defriend, D., Masters, R. (2010). Psychomotor control in a virtual laparoscopic surgery training environment: gaze control parameters differentiate novices from experts. *Surgical Endoscopy*, 24(10), 2458–2464.