

МЕТОДОЛОГИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ПРИМЕНЕНИЯ ЕСТЕСТВЕННО-НАУЧНЫХ МЕТОДОВ В СОЦИАЛЬНО-ГУМАНИТАРНЫХ ИССЛЕДОВАНИЯХ: КОНВЕРГЕНЦИЯ ЕСТЕСТВЕННО-НАУЧНОГО И ГУМАНИТАРНОГО ЗНАНИЯ¹

Олег Евгеньевич Баксанский,

профессор РАН, доктор философских наук, профессор, backsanskiyoe@lebedev.ru

Евгений Аркадьевич Созонтов,

кандидат физико-математических наук, esozontov@yahoo.com

Феномен НБИКС-конвергенции как радикально новый этап научно-технического прогресса, знаменующий начало трансгуманистических преобразований. Характеристики конвергентного единства. Новейшие направления развития науки, связанные с нано-, био-, инфо-, когнитивными (NBIC) науками и технологиями как иллюстрация конвергентных процессов. Примеры естественно-научных методов в гуманитарном познании.

Ключевые слова: гуманитарные науки, социально-гуманитарные технологии, междисциплинарный подход, информационные технологии, биотехнологии, нанотехнологии, когнитивная наука, конвергенция, NBICS-конвергенция.

Широко известна фраза К. Леви-Стросса: «XXI век будет либо веком гуманитарных наук, либо его не будет вообще». Конечно, не стоит быть столь категоричным, но отрицать важность и значимость социально-гуманитарных технологий в контексте конвергентных технологий было бы весьма опрометчиво.

¹ Данная работа выполнена при частичной поддержке НИЦ «Курчатовский институт» и частичной финансовой поддержке РФФИ (проект № 17-29-04476 офи-м).



В Курчатowski НБИКС-центр входят:

- суперкомпьютерный центр;
- медико-биологическое подразделение;
- подразделение когнитивных исследований и технологий, состоящее из нейрофизиологического блока и гуманитарной части.

Развивая когнитивные исследования, делается попытка реализовать принципиально новый подход. С одной стороны, изучаются процессы сознания с помощью нейронаук, физиологии и молекулярной биологии, а с другой стороны, одновременно привлекаются специалисты различных социально-гуманитарных направлений:

- философы;
- психологи;
- социологи;
- лингвисты;
- этнографы.

Например, при изучении поведения человека или животного в момент принятия решения анализируется распространение сигнала по нейронным сетям, возбуждение различных отделов мозга с нейрофизиологических позиций, далее опускаясь на молекулярный уровень. С другой стороны, одновременно можно исследовать этот же процесс с помощью гуманитарных технологий, например, изучая поведенческие, речевые, психологические и другие особенности. Привлечение гуманитарных технологий даёт нам право говорить о создании новой

конвергентной НБИКС-технологии, где «С» — это социальные гуманитарные технологии.

Все эти чрезвычайно сложные технологии требуют специалистов принципиально нового класса, подготовленных уже на междисциплинарной основе. При этом таких междисциплинарно образованных специалистов не должно быть много, на сегодняшний день это, образно говоря, элита научного сообщества. Можно сказать, что развивающийся на наших глазах феномен НБИКС-конвергенции представляет собой радикально новый этап научно-технического прогресса, знаменует начало трансгуманистических преобразований, когда сама по себе эволюция человека перейдёт под его собственный разумный контроль.

Дифференциация наук способствует становлению методов исследования, специфичных для каждой отрасли науки, что позволяет овладевать знаниями об объектах, явлениях и процессах вглубь, получать точную и детальную информацию об отдельных их элементах. Однако без объединения разнопредметных знаний невозможно целостное описание объекта, системы, процесса, явления, теории, построение многомерной картины мира, отражающей его изменчивость и подвижность, без этого невозможно постижение взаимной обусловленности всего происходящего в мире. Объединение усилий наук позволяет овладевать

знаниями не только вширь. Благодаря ему рождается новое знание вглубь, оно подводит к выявлению и раскрытию новых качеств изучаемых объектов, даёт новое представление о единстве и взаимосвязи всего сущего.

Более того, разные области познания не могут развиваться независимо друг от друга, ибо тесно взаимосвязаны через объект исследования. Да и само научное знание по своей природе является целостным, интегративным и системным, а его разбиение на отдельные части — явление чисто условное.

Процесс развития науки, если описать его в самых общих чертах, начинается с появления множества отдельных, не связанных между собой областей знания. Позже началось объединение областей знания в более крупные комплексы, а по мере их расширения снова проявила себя тенденция к специализации. Технологии же всегда развивались взаимосвязано, и, как правило, прорывы в одной области были связаны с достижениями в других областях. При этом развитие технологий обычно определялось в течение длительных периодов каким-либо одним ключевым открытием или прогрессом в одной области. Так, можно выделить открытие металлургии, использование силы пара, открытие электричества.

Сегодня же, благодаря ускорению научно-технического прогресса, мы наблюдаем пересечение во времени

целого ряда волн научно-технической революции. В частности, можно выделить идущую с 80-х годов XX столетия революцию в области информационных и коммуникационных технологий, последовавшую за ней биотехнологическую революцию, недавно начавшуюся революцию в области нанотехнологий. Также нельзя обойти вниманием имеющий место в последнее десятилетие бурный прогресс развития когнитивной науки.

Особенно интересным и значимым представляется взаимовлияние именно информационных технологий, биотехнологий, нанотехнологий и когнитивной науки. Данное явление получило название **NBICS-конвергенции** (по первым буквам областей: N — нано; B — био; I — инфо; C — когно, S — социально-гуманитарные технологии).

Термин **NBIC-конвергенции** был введён в 2002 г. М. Роко и У. Бейнбриджем, авторами наиболее значительной в этом направлении на данный момент работы, отчёта «Converging Technologies for Improving Human Performance: Nanotechnology, Biotechnology, Information technology and Cognitive science», подготовленного 2002 г. во Всемирном центре оценки технологий (WTEC). Отчёт посвящён раскрытию особенности NBIC-конвергенции, её значению в общем ходе развития мировой цивилизации, а также её эволюционному и культурообразующему значению.



Однако спустя 5–6 лет стало очевидно, что четыре первоначальные базовые технологии невозможно рассматривать в отрыве от блока социально-гуманитарных дисциплин, и М.В. Ковальчуком было предложено расширить **NBIC-конвергенцию** до **NBICS-конвергенции**, что открыло огромное поле деятельности для гуманитарного знания. Но, к сожалению, отечественные академические исследователи (философы, психологи, социологи, экономисты) оказались не готовы ответить на вызовы времени.

Далее мы постараемся очертить стратегические направления организационного включения социально-гуманитарных технологий в общий конвергентный контекст.

Объективно процессы интеграции и дифференциации связаны с материальным единством мира, практическими потребностями развивающегося общества и всех его подсистем. С процессуальной стороны они рассматриваются как противоположные тенденции, как две стороны процесса познания, которые являются характеристиками его развития. Границы между ними часто бывают размыты и подвижны, а их единство не исключает того, что в различные моменты в процессе познания преобладает какая-то одна из них.

В современной науке интеграция понимается как **взаимодействие** на основе общих принципов позна-

ния окружающего мира, общих **инвариантов**, позволяющих объединить разнопредметные знания в единую, целостную, стройную систему. Однако если в естественных науках в качестве инвариантов могут выступать общие логические основания, общие структуры, характеристики, общие качества или обобщённые понятия, используемые разными областями естествознания, то поиски оснований для интеграции естественно-научного и гуманитарного знания вызывают серьёзные затруднения, особенно в той области, где они соприкасаются с ненаучным знанием. Вместе с тем, целостный образ мира, его обобщённая картина в представлениях отдельного человека, его мировоззрение и его деятельность формируются на основе синтеза как научных, так и ненаучных знаний, отражающих разные стороны познания мира. Поиски оснований этого синтеза для современной философии и методологии науки представляют чрезвычайно серьёзную проблему, теоретическое решение которой пока не найдено.

В качестве основных направлений методологического анализа в рамках **естественно-научной методологической концепции** науки можно выделить:

- 1) изучение общих методов научного познания;
- 2) изучение частных методов;
- 3) анализ фундаментальных методологических принципов научного познания.

Критерии различения гуманитарного и естественно-научного знания

Критерии различения	Естественные науки	Гуманитарные науки
Объект исследования	Природа	Человек, общество
Характер объекта исследования	1. Материальный. 2. Относительно устойчивый	1. Больше идеальный, чем материальный. 2. Относительно изменчивый
Характер методологии	Генерализирующий (обобщающий)	Индивидуализирующий
Ведущая функция	Объяснение (истины доказываются)	Понимание (истины истолковываются)
Влияние ценностей	Малозаметно, неявно	Существенно, открыто
Антропоцентризм	Изгоняется	Неизбежен
Идеологическая нагрузка	Идеологический нейтралитет	Идеологическая нагруженность
Взаимоотношения субъекта и объекта познания	Строго разделены	Частично совпадают
Количественно-качественные характеристики	Преобладание количественных оценок	Преобладание качественных оценок
Применение экспериментальных методов	Составляет основу методологии	Затруднено

К числу общих методов естествознания относятся:

- методы эмпирического познания (измерение, наблюдение и эксперимент);

- метод индукции, метод гипотез и
- аксиоматический метод.

Частными и специальными являются:

- вероятностные методы;
- методы, используемые в обобщении и осмыслении эмпирических результатов;
- методы аналогии, мысленного и математического экспериментов.

Фундаментальные методологические принципы — это общие требования, предъявляемые к содержа-

нию, структуре и способу организации научного знания.

Методологические принципы научного познания регулируют научную деятельность (их называют регулятивными принципами или методологическими регулятивами).

Другая важнейшая функция методологических принципов — эвристическая.

В качестве методологических принципов научного познания выступают:

- принципы подтверждаемости (верификации) и
- опровергаемости (фальсификации);
- принцип наблюдаемости;



- принцип простоты;
- принцип соответствия;
- принцип инвариантности (симметрии) и
- принцип системности (согласованности).

Нередко к ним добавляют:

- принцип дополнительности;
- принцип красоты;
- экстремальные принципы и некоторые другие.

В **методологии гуманитарных наук** решаются проблемы, сходные с проблемами методологии естествознания, с помощью переосмысления и определённой адаптации.

Так, базовая проблема — **научная картина мира в познании** — предстаёт как роль языковой картины

мира в интеграции сфер и универсалий культуры, жизнедеятельности человека в целом. Она составляет основание человеческого познания, поведения, типа хозяйствования, образа жизни, «логики» мировидения и мировосприятия. Это особо значимо для историко-культурных исследований: историк культуры не может полагаться только на воображение и интуицию, но должен обращаться к научным методам, гарантирующим объективный подход. Важнейший из них — выявление таких универсальных («космических» и социальных) категорий языка, как время, пространство, изменение, причина, судьба, свобода, право, труд, собственность.



▲ Рис. 1

Эти универсалии образуют «сетку координат», своего рода «модель», или картину мира, при помощи которой воспринимается действительность и строится образ мира в сознании человека.

Мощным драйвером всё нарастающего междисциплинарного взаимопроникновения является интенсивное развитие и применение естественно-научных методов исследования в гуманитарных науках. Это кажется чрезвычайно важным с позиций развития НБИКС-концепции, поскольку именно эти исследования создают реально действующую связь социогуманитарных наук с естественными науками и технологиями через комплекс естественно-научных методов исследования.

Научное познание возникло из необходимости создать целостную картину окружающего мира. Именно из холистической концепции природы исходил родоначальник современной физики Исаак Ньютон, хотя дисциплинарная структура научного знания берёт своё начало ещё в Античности и продолжается вплоть до наших дней.

Однако изучение разноаспектной реальности привело к тому, что вместо целостной картины мира наука получила своеобразную мозаику с разной степенью полноты изученных и понятых явлений за счёт вычленения модельных сегментов природы, доступных анализу. Желая познать мир более глубоко, выявить

фундаментальные законы, лежащие в основе мироздания, человек был вынужден сегментировать природу, создать дисциплинарные границы. Следствием этого явилась узкая специализация науки и образования, что, в свою очередь, определило отраслевой принцип организации экономики и производства.

Последующее развитие цивилизации с необходимостью потребовало возникновения сначала интегрированных междотраслевых технологий, а в настоящее время — **надотраслевых** технологий, примерами которых являются **информационные** и **нанотехнологии** (манипулирование атомами). При этом последние представляют собой единый фундамент для развития **всех** отраслей новой наукоёмкой технологии постиндустриального — информационного — общества, первый надотраслевой приоритет развития. Нанотехнологии — это базовый приоритет для всех существующих отраслей, которые изменят и сами информационные технологии. В этом заключается синергизм новой системы, что возвращает нас к цельной картине естествознания. Можно сказать, что сегодня у учёных есть некий набор пазлов, из которых надо вновь собрать целостный неделимый мир.

Последние привели к изменению исследовательской парадигмы: если ранее научное познание носило аналитический характер («сверху вниз»), то теперь оно перешло



на синтетический уровень («снизу вверх»), что потребовало отказа от узкой специализации и перехода к созданию различных материалов и систем на атомно-молекулярном уровне.

Важнейшими чертами современного этапа развития научной сферы являются:

- переход к наноразмеру (технологии атомно-молекулярного конструирования);
- междисциплинарность научных исследований;
- сближение органического (живой природы) и неорганического (металлы, полупроводники) миров.

Цивилизация прошла путь от **макротехнологий** (дом, машина), где измерения производились линейками или рулетками, через **микротехнологии** (полупроводники, интегральные схемы), где в качестве измерительных приборов уже использовались оптические методы, до **нанотехнологий**, где для измерений нужны уже рентгеновские дифракционные методы и установки для их реализации, ибо стандартные оптические методы достигли границ своей применимости.

Можно сказать, что **нанотехнологии** представляют собой методологию современного научного познания, её рабочий инструмент, ведущий к принципиальному стиранию междисциплинарных границ. Более того, это именно методология создания новых материалов,

а не «одна из» множества других существующих технологий. Иными словами, если современная **физика** является сегодня *методологией холистического понимания* природы, **математика** — *аппаратом (языком)* этого понимания, то **конвергентные технологии** являются *инструментом* этого аппарата, с одной стороны, а с другой, основой промышленного производства и системы образования (философия образования).

Именно конвергентные технологии, являясь материальным плацдармом конвергентного подхода, исходя из нанотехнологической методологии, изменили парадигму познания с **аналитической** на **синтетическую**, породив современные промышленные технологии, обеспечившие стирание узких междисциплинарных границ. При этом следует иметь в виду, что неотраслевые технологии ни в коем случае не уничтожают специальное знание, как утверждают многие отечественные философы постнеклассического толка, просто узкая специализация останется необходимым компонентом точного знания.

Вместе с тем не следует относиться к нанотехнологиям как к некоторой панацее, которая избавит человечество от всех существующих проблем — от экономических до очень модных сегодня глобальных экологических. Нанотехнологии, как уже неоднократно подчёркивалось, — это, прежде всего,

инструмент, который во многих аспектах является универсальным для интегрированного целеуказания, которым является конвергенция. Но её главным проективным критерием является функция **сложности**, отражающей совершенство произведённой системы.

Существовавшие ранее технологии создавались под нужды человека, под его запросы и потребности, а существующие сейчас технологии (например, те же надотраслевые — информационные и нанотехнологии) оказываются в состоянии изменить самого человека, чего не было в прошлом. Об этом много рассуждает М. Кастельс в контексте информационной эпохи. Более того, всё чаще антропологи отмечают прямое влияние технологий на эволюцию человека как биологического вида.

Таким образом, NBICS-конвергенция порождает множество очень серьёзных мировоззренческих проблем. Если начало XX века ознаменовалось известным тезисом о неисчерпаемости электрона, то начало XXI века знаменуется тезисами о диалектической **неисчерпаемости** человеческого мозга и принципиальной возможности **воспроизводства** живого. При этом следует иметь в виду, что эти установки следует понимать не в буквальном смысле, а с точки зрения *асимптотического* приближения, хорошо известного математикам и физикам.

Сегодня в когнитивной науке получила широкое распространение компьютерная метафора функционирования мозга. Но это очень приближённая модель: действительно, компьютер — это числовая алгоритмическая система, а мозг принципиально неалгоритмичен (во всяком случае все многочисленные попытки учёных найти или хотя бы описать эти алгоритмы не дали результатов). К тому же мозг работает с психическими образами при обработке информации, то есть является аналоговой системой. Вместе с тем не стоит забывать, что информация всегда имеет материальный носитель, без и вне которого она не может существовать.

Научная картина мира требует возвращения к натурфилософии (философии природы), с которой 300 лет назад начинал Ньютон, органично включающей в себя естественные и гуманитарные науки. И необходимым инструментом для решения данной задачи являются конвергентные NBICS-технологии.

При этом постоянно следует иметь в виду, что NBICS-конвергенция помимо позитивных аспектов может таить в себе и большое количество угроз и социально-экономических рисков. Определение ключевых факторов риска в значительной степени зависит от перспектив, которые открываются, и от области применения и приложения. Поэтому следует уделять внимание и различным аспектам



обеспечения безопасности. Конвергентные технологии открывают огромные потенциальные возможности и перспективы для человечества, но они же могут оказаться и ящиком Пандоры. Возможно, это лучший тест на разумность вида *homo sapiens*.

Таким образом, в конце XX — начале XXI веков в естествознании складывается качественно новый тип научной картины мира. Развитие производительных сил до уровня пятого и шестого технологических укладов привело к значительному росту теоретической и материально-предметной активности субъекта. Роль науки в обществе продолжает возрастать, она всё в большей мере выступает непосредственной производительной силой и интегративной основой всех сфер общественной жизни на всех её уровнях. Как никогда ранее сблизилась наука и техника, фундаментальные и прикладные науки, науки естественные и социально-гуманитарные (на фоне возрастания роли человеческого фактора во всех формах деятельности). Выделяются совершенно новые типы объектов научного познания. Они характеризуются сложностью организации, открытостью, саморегулированием, уникальностью, а также историзмом, саморазвитием, необратимостью процессов, способностью изменять свою структуру.

К такого типа уникальным объектам относятся, прежде всего, природные комплексы, в которые вклю-

чён человек как субъект деятельности (экологические, социальные объекты, медико-биологические, биотехнологические, биосферные, эргономические, информационные комплексы, включая системы искусственного интеллекта). Исследование такого рода объектов требует новых, ранее не проявлявшихся в познавательной деятельности особенностей. Так, изменяются представления классического и неклассического естествознания о ценностно-нейтральном характере научного исследования. В процесс и результат научного познания непосредственно включаются аксиологические факторы (социальная экспертиза, ценностные, этические, эстетические обстоятельства). Крайне важным является появление информационных технологий — первых, носящих надотраслевой характер. Сегодня без них не может существовать ни одна из отраслей науки, промышленности (благодаря им возникли телемедицина, дистанционное обучение, автоматические системы пилотирования самолётов, кораблей) — информационные технологии стали неким «обручем», который методологически и теоретически объединил, интегрировал разные научные дисциплины и технологии².

В современной науке предметная активность субъекта достигла такого

² Ковальчук.М.В. Идеология нанотехнологий. — М., 2010. — С. 83.

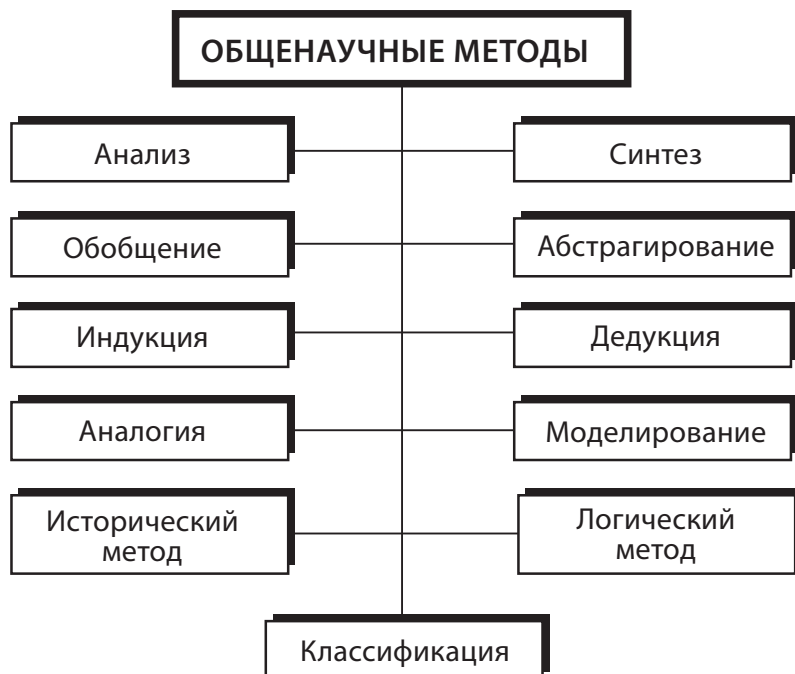
уровня, когда появились исключительные возможности созидания новой сферы материальной культуры на основе атомно-молекулярного конструирования искусственных, целенаправленно созданных человеком материальных вещественных образований с принципиально новыми, заданными свойствами. Современные нано- и биотехнологии размывают границы между практической и познавательной деятельностью, познание объекта становится возможным только в результате его предметно-деятельного преобразования. По сути, идёт процесс формирования материальной культуры в совер-

шенно новом качестве. Налицо тенденция замены узкой специализации междисциплинарностью, что, в свою очередь, ведёт уже к трансдисциплинарной интеграции.

В современном познании аналитический подход к познанию структуры материи окончательно сменился синтетическим. Анализ и синтез, по своей сути, не только дополняют, но и взаимно обуславливают друг друга, трансформируются один в другой. Разумеется, в дальнейшем путь анализа никуда не исчезнет, но он перестанет быть главным приоритетом, скорее, отойдёт на второй план в векторе развития науки.



▲ Рис. 2



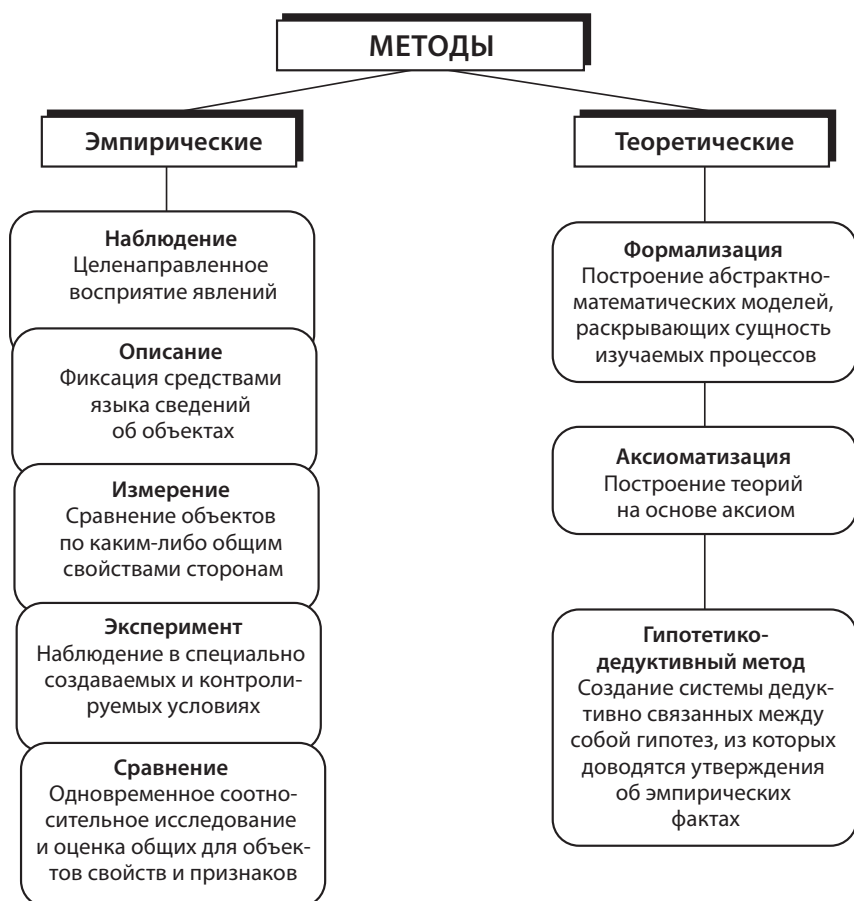
▲ Рис. 3



▲ Рис. 4

Всё это влечёт за собой качественные изменения характера «внутреннего» и «внешнего» единства науки. Идеал аксиоматическо-дедуктивной системы как формы организации «внутреннего единства» науки сменяется идеалом поливариантной теории — построение конкурирующих теоретических описаний, основанных на методах аппроксимации, компьютерных программах. В частности, это вызвано потребностями разработки способов описания (объяснения) состо-

яний развивающегося объекта, которые должны включать в себя построение сценариев возможных многовариантных линий изменяющихся состояний объекта. Особенно когда объектом является развивающаяся система, существующая лишь в одном экземпляре (Вселенная, биосфера, социум). Здесь главная сложность в том, что, во-первых, нет возможности воспроизводить первоначальные состояния такого объекта, а, во-вторых, в данное время нет возможности воспроизвести



▲ Рис. 5



▲ Рис. 6

его будущие состояния. В таком случае концептуальные обобщения эмпирических данных проецируются на множественные теоретические модели вероятностных линий эволюции объекта.

«Внешнее единство» постнеклассической науки реализуется на нескольких уровнях — в процессе установления системных взаимосвязей между различными областями знания; в ходе трансформации методологии познания, способов

и методов познания, методологических установок; через появление новых элементов картины мира; уточнение философских оснований конкретно-научного познания. Наиболее важный интегративный уровень связан с научной картиной мира. На уровне картин мира единство научного знания в постнеклассической науке проявляется в усилении междисциплинарных взаимодействий, уменьшении уровня автономности специальных научных

картин мира, которые интегрируются в системы естественно-научной и социальной картин мира, а затем обобщаются в общенаучной картине мира.

Сама общенаучная картина мира всё в большей мере соединяет принципы системности и эволюции и базируется на идее универсального эволюционизма. Это позволяет ей через установление преемственных связей между неорганическим миром, живой природой и социумом устранить исторически сло-

этических регулятивов постнеклас- сической науки.

Все эти интегративные много- уровневые процессы позволяют гово- рить о новом типе интеграции в системе постнекласической науки. «Внутреннее» и «внешнее» единство науки сливаются в некий единый когнитивно-ценностный комплекс требований к познавательному про- цессу. Единство науки приобретает качественно новый характер, кото- рый получил название *конвергенции наук*.

Естественнонаучное познание	Гуманитарно-художественное
1. Носит объективный характер	Носит субъективный характер
2. Предмет познания типичен	Предмет познания индивидуален
3. Историчность не обязательна	Всегда исторично
4. Создаёт только знание	Создаёт знание, а также мнение и оценку познаваемого предмета
5. Естествоиспытатель стремится быть сторонним наблюдателем	Гуманитарий неизбежно участвует в исследуемом процессе
6. Опирается на язык терминов и чисел	Опирается на язык образов

жившееся в познании противопоставление естественно-научной и социальной научной картин мира, усилить интегративные связи отдельных наук, специальных картин мира, представить их как фрагменты единой общенаучной картины мира. На уровне философских оснований система постнекласической науки интегрируется прежде всего катего- риальным аппаратом, теоретически отражающим проблематику социо- культурной обусловленности позна- ния, включая сюда проблему миро- воззренческих и социально-

К характеристикам конвергент- ного единства могут быть отнесены также следующие черты современ- ной науки.

Во-первых, доминирование меж- дисциплинарных исследований, кото- рые берут на себя интегративные функции по отношению к отдельным наукам (примерами могут служить теория систем, теория управления). На этой основе происходит сближе- ние отдельных наук, способов позна- ния. Интеграция носит не просто междисциплинарный, а трансдисци- плинарный характер.



Во-вторых, растёт само многообразие интегративных процессов; иначе говоря, происходит их дифференциация, т.е. интеграция дифференцируется.

В-третьих, сама дифференциация становится всё в большей мере моментом интеграции, приобретает всё более явно выраженную интегративную направленность, выступает как закономерный, функциональный момент процесса самоорганизации и самоструктурирования науки. Иначе говоря, дифференциация из особого направления эволюции науки становится частью доминирующего в ней интеграционного процесса.

В-четвёртых, в результате интеграция как движение к целостности направлена не противоположно дифференциации, а включает её в себя как *часть*, как один из необходимых аспектов общего процесса развития системы. Другими словами, отдельные процессы дифференциации и интеграции сливаются в единый интегрально-дифференциальный синтез.

Яркой иллюстрацией конвергентных процессов являются новейшие направления развития науки, связанные с нано-, био-, инфо-, когнитивными (NBIC) науками и технологиями. Именно нанотехнологии (в виде технологий атомно-молекулярного конструирования материалов с качественно новыми свойствами «под заказ») создают фундамент и принципиально ново-

го технологического уклада, и принципиально нового уровня организации науки и научных технологий. Внутренняя логика развития нанотехнологий нацелена на объединение множества узкоспециализированных наук в единую систему современного научного познания. Базой такого объединения является не только знание атомарного устройства мира, но и способность человека целенаправленно им манипулировать, конструируя немыслимые ранее материалы. Всё это, на наш взгляд, даёт основания утверждать, что новейшая «нанотехнологическая революция» является выражением глубинной закономерности возрастания роли субъекта в теоретическом и практическом освоении человеком мира. Развитие науки достигло такого технологического уровня, когда стало возможным не просто моделировать, а адекватно воспроизводить системы и процессы живой природы с помощью конвергентных нано-, био-, инфо-, когнитивных наук и технологий (NBIC-технологии). Двигаясь по пути синтеза «природоподобных» систем и процессов, человечество рано или поздно подойдёт к созданию антропоморфных технических систем, высокоорганизованных «копий живого».

Чтобы разумно, безопасно и эффективно пользоваться всеми этими достижениями, привести современную техносферу в гармонию с природой, необходимо учи-

тивать и использовать закономерности трансформации сознания, психики человека. Человек как субъект практического и познавательного отношения к миру рано или поздно сам становится объектом научно-технологического воздействия. Это может быть осуществлено путём соединения возможностей NBIC-технологий с достижениями социально-гуманитарных наук и технологий. На этом пути пространство конвергентных технологий приобретает ещё одно измерение — социально-гуманитарное, а конвергентное единство нано-, био-, инфо-, когнитивных технологий дополняется социально-гуманитарными технологиями, становясь уже NBICS-технологиями. Это делает их практическим инструментом формирования качественно новой техносферы, которая станет органичной частью природы.

Новая научная картина мира складывается в естествознании XXI в.:

- аналитический подход к познанию структуры материи сменился

синтетическим, доминируют междисциплинарные исследования, растёт их многообразие;

- они берут на себя интегративные функции по отношению к отдельным наукам; сближаются науки об органической и неорганической природе, интеграция наук приобретает трансдисциплинарный характер;

- дифференциация из особого направления эволюции науки становится моментом доминирующего в ней интеграционного процесса;

- процессы дифференциации и интеграции сливаются в единый интегрально-дифференциальный синтез; усиливается взаимодействие между внешним и внутренним единством науки, они часто становятся неразличимыми.

Такая парадигма научного знания может быть названа *конвергентной*³.

³ См.: Roco M.C., Bainbridge W.S. Converging technologies for improving human performance: nanotechnology, biotechnology, information technology and cognitive science. Dordrecht. 2003. 488 p.; Ковальчук М.В. Наука и жизнь: моя конвергенция. — М., 2011, Т. 1. — 304 с.



Приложение

Примеры естественно-научных методов в гуманитарном познании

Естественно-научные методы, разработанные в материаловедении и других научных дисциплинах, дают неоценимую информацию для археологии, истории искусства и сохранения объектов исторического и культурного наследия. Быстро растущее число инновационных аналитических методов, а также многие устоявшиеся экспериментальные методики постоянно совершенствуются и оптимизируются для анализа материалов культурного наследия. Исследование и анализ археологических и культурных объектов и артефактов является одним из наиболее перспективных направлений современной гуманитарной науки. Спектр используемых естественно-научных методов, которыми располагает НИЦ «Курчатовский институт», весьма широк и многообразен.

В качестве основных **направлений исследований** в области гуманитарных приложений выполняемых работ можно выделить следующие:

- идентификация подлинности объектов;
- химический (включая радиохимический) анализ артефактов и материалов;
- визуальная реконструкция утраченных фрагментов артефактов;

- ДНК-анализ органических останков;
- компьютерная 3D-реконструкция и визуализация археологических объектов и комплексов;
- обнаружение, анализ и восстановление скрытых и угасших изображений, включая текстовые изображения.

Объектами исследования выступают:

- письменные документы, содержащие прямые или косвенные указания на временной период;
- ископаемые органические останки, содержащие генетические материалы для анализа ДНК;
- ископаемые неорганические останки (металлические орудия труда и оружие, керамика и др.);
- произведения искусства, живописи, архитектуры, древние рукописи, ювелирные украшения.

Основные естественно-научные методы исследования в гуманитарных науках

1. Физические и физико-химические методы

1.1. Рентгенофлуоресцентный анализ

Метод рентгеновского флуоресцентного анализа (РФА) является одним из наиболее востребованных аналитических методов химического элементного анализа. Независимо

от типа пробы, измеряются ли жидкости, порошки или твёрдые пробы, РФА сочетает высокую точность с простой и быстрой пробоподготовкой.

Метод основан на зависимости интенсивности рентгеновской флуоресценции от концентрации элемента в образце. При облучении образца мощным потоком рентгеновского излучения возникает характеристическое рентгеновское флуоресцентное излучение атомов, которое пропорционально их концентрации в образце. Флуоресцентное излучение разлагается в спектр при помощи полупроводниковых детекторов, где излучение от пробы регистрируется и переводится в электрические импульсы, формируя спектр в виде зависимости количества импульсов от энергии каждого элемента. Компьютерная обработка спектра позволяет проводить количественный и качественный (полуколичественный) элементный анализ исследуемого образца.

Рентгенофлуоресцентные спектрометры позволяют измерять весь элементный диапазон от бериллия (Be) до урана (U) в концентрациях от единиц ppm до 100% и широко используются во многих областях, включая идентификацию и консервацию произведений искусства, археологию и многие другие области применения.

Отдельно следует выделить **рентгенофлуоресцентный анализ**

с полным внешним отражением (РФА ПВО). Метод используется для быстрого количественного и полуколичественного многоэлементного анализа жидкостей, суспензий, твёрдых проб и загрязняющих веществ и является высокочувствительным аналитическим инструментом для анализа следов элементов благодаря низким пределам обнаружения в ppb- и ppm-диапазоне. Преимущества данного метода очевидны при анализе микроколичеств пробы, жидких проб с высоким содержанием матрицы, а также многократно меняющихся типов проб.

1.2. Рентгенофазовый анализ

Основной задачей рентгенофазового анализа является идентификация различных фаз в смеси кристаллических веществ на основе создаваемой ими дифракционной картины. Наиболее часто применяемый практический метод рентгенофазового анализа — метод порошка (метод Дебая-Шеррера).

К достоинствам рентгенофазового анализа должна быть отнесена высокая достоверность метода, а также то, что метод прямой, то есть даёт сведения непосредственно о структуре вещества, а анализ проводят без разрушения исследуемого образца. Он является одним из основных в физике и химии твёрдого тела в силу его простоты и универсальности.



1.3. Метод рентгеновской спектроскопии поглощения (метод EXAFS-спектроскопии)

Метод EXAFS-спектроскопии основан на обработке протяжённой тонкой структуры (Extended X-ray Absorption Fine Structure, сокращённо EXAFS), наблюдаемой в рентгеновских спектрах поглощения твёрдых тел или молекул и позволяет получать уникальную информацию об исследуемом материале. С его помощью оказывается возможным исследовать материалы, не обладающие дальним порядком (стёкла, жидкости, аморфные вещества).

В методе EXAFS необходимо сканирование по энергии, что возможно с использованием современных синхротронных источников, которые имеют существенно более интенсивные пучки рентгеновского излучения и позволяют реализовывать спектроскопические методы анализа, включая метод EXAFS-спектроскопии.

1.4. Рентгеновская компьютерная микротомография

Компьютерная микротомография, или микро-КТ, — это реконструкция трёхмерных моделей рентгеновских изображений. Изображения получаются тем же методом, что и в медицинской КТ, но исследуемые объекты имеют меньший размер, а для получаемых изображений характерно более высокое разрешение. Метод позволяет проводить неинвазивные исследования

внутренней структуры объектов, при этом не требуя ни пробоподготовки, ни окрашивания образцов, ни изготовления тонких срезов.

Метод нашёл множество применений в геологии, микроэлектронике, нефтяной промышленности, археологии, биологии, медицине и других областях науки и техники.

Метод вычислительной рентгеновской томографии (ВРТ) позволяет получать трёхмерные данные о внутренней структуре образца после математической обработки набора двухмерных проекций, получаемых при вращении образца относительно оси, перпендикулярной падающему излучению. Данные в полученных проекциях представляют собой изменение интенсивности падающего излучения вдоль луча вследствие его ослабления из-за поглощения и рассеяния на различных частях объекта исследования.

1.5. Нейтронная радиография

Нейтронная радиография — метод неразрушающего контроля; применяется в основном для исследования минералов, металлов, сплавов, водородсодержащих веществ с целью выявления в них неоднородностей или примесей и их расположения. Нейтронная радиография позволяет обнаруживать в минералах, горных породах и рудах включения, содержащие элементы, сильно поглощающие нейтроны

на фоне породообразующих элементов, которые, как правило, слабо поглощают нейтроны.

Физической основой нейтронной радиографии является зависимость интенсивности излучения от химического состава вещества. В отличие от рентгеновского и гамма-излучений эта зависимость для нейтронов выражена более сильно. Принципиально важное значение нейтронной радиографии состоит в возможности раздельного контроля химических компонентов материала.

1.6. Нейтронно-активационный анализ

Метод нейтронно-активационного анализа относится к основным ядерно-физическим методам обнаружения и определения содержания элементов в различных природных и техногенных материалах окружающей среды и основан на использовании ядерных реакций деления и реакций, приводящих к образованию радиоактивных изотопов и изомеров.

Нейтронно-активационный анализ (НАА) — наиболее чувствительный метод химического анализа многих элементов периодической таблицы. Облучение образцов производится в каналах исследовательского реактора. После облучения и выдержки выполняется измерение спектров рентгеновского и гамма-излучения от образцов. На основании измеренной актив-

ности и известных условий облучения определяется химический состав исследуемого образца.

1.7. Радиоуглеродный анализ (метод радиоизотопной датировки)

Применяется для определения возраста биологических останков, предметов и материалов биологического происхождения путём измерения содержания в материале радиоактивного изотопа ^{14}C по отношению к стабильным изотопам углерода.

Для определения возраста из фрагмента исследуемого образца выделяется углерод (путём сжигания предварительно очищенного фрагмента), для выделенного углерода производится измерение радиоактивности, на основании этого определяется соотношение изотопов, которое и показывает возраст образцов.

Для определения очень малых содержаний ^{14}C и/или очень малых масс образцов (несколько мг) используется ускорительная масс-спектрометрия, позволяющая прямо определять содержание ^{14}C .

Измерение возраста предмета радиоуглеродным методом возможно только тогда, когда соотношение изотопов в образце не было нарушено за время его существования, то есть образец не был загрязнён углеродосодержащими материалами более позднего или более раннего происхождения, радиоактивными веществами и не подвергался



действию сильных источников радиации. Определение возраста таких загрязнённых образцов может дать большие ошибки. За прошедшие с момента разработки метода десятилетия накоплен большой опыт в выявлении загрязнений и в очистке от них образцов. Для датирования из образцов химическими методами выделяют наименее подверженные загрязнению компоненты. При радиоуглеродном анализе растительных остатков используется целлюлоза, а при датировании костей, рогов и других животных остатков выделяется коллаген. Погрешность метода в настоящее время находится в пределах от семи-десяти до трёхсот лет.

1.8. ИК Фурье-спектроскопия

Это широко известная и проверенная технология анализа для идентификации неизвестных химических веществ.

Метод основан на микроскопическом взаимодействии инфракрасного света с химическим веществом посредством процесса поглощения и в результате даёт набор диапазонов, называемый спектром (данный спектр уникален для химического вещества и служит «молекулярным отпечатком»). Помимо того, что Фурье-ИКС — это широко применимый метод, в нём используется анализ присущих свойств химического вещества, благодаря этому Фурье-ИКС очень подходит для сопоставления со спектральной

библиотекой. С помощью обширной базы данных подход сопоставления со спектральной библиотекой даёт возможность быстро идентифицировать тысячи химических веществ на основании их уникального «молекулярного отпечатка».

По своим возможностям метод почти универсален. ИК Фурье-спектроскопия используется для определения содержания различных органических и неорганических веществ и их соединений в твёрдых, жидких и газообразных образцах (продуктах питания, почвах, металлах и их сплавах, полимерах)

1.9. Рамановская спектроскопия

Комбинационное рассеяние света (эффект Рамана) — неупругое рассеяние оптического излучения на молекулах вещества (твёрдого, жидкого или газообразного), сопровождающееся заметным изменением частоты излучения. В отличие от рэлеевского рассеяния, в случае комбинационного рассеяния света в спектре рассеянного излучения появляются спектральные линии, которых нет в спектре первичного (возбуждающего) света. Число и расположение появившихся линий определяется молекулярным строением вещества.

Спектроскопия комбинационного рассеяния света (или Рамановская спектроскопия) — эффективный метод химического анализа, изучения состава и строения веществ. По сравнению с другими методами

спектроскопии, такими, как ИК-Фурье, комбинационное рассеяние имеет несколько основных преимуществ. Эти преимущества связаны с тем, что эффект Рамана проявляется в рассеянном, а не в поглощённом образце света. В результате спектроскопия комбинационного рассеяния практически не требует подготовки образцов и нечувствительна к полосе поглощения воды. Это свойство комбинационного рассеяния света облегчает измерение твёрдых тел, жидкостей и газов не только напрямую, но и через прозрачные контейнеры, такие как стекло, кварц и пластик.

1.10. Хроматография

Хроматография — это способ разделения веществ, основанный на перемещении дискретной зоны вещества в потоке подвижной фазы вдоль слоя неподвижного сорбента и связанный с многократным повторением сорбционных и десорбционных процессов.

С помощью хроматографии возможно:

- разделение сложных смесей органических и неорганических веществ на отдельные компоненты;
- разделение и выделение растительных и животных пигментов, изотопов, редкоземельных элементов и других веществ;
- очистка веществ от примесей;
- концентрирование веществ из сильно разбавленных растворов;

- определение молекулярной структуры некоторых соединений путём установления связи между сорбируемостью и строением данного вещества;
- качественный и количественный анализ исследуемых веществ.

1.11. Сканирующая электронная микроскопия с энергодисперсионным микроанализом

Сканирующая электронная микроскопия (СЭМ) позволяет одновременно исследовать размеры и форму зёрен, распределение зёрен и фаз по размерам, определить состав фазы и распределение химических элементов по её площади и по площади исследуемого образца, химическую неоднородность по площади шлифа, а также получить изображение объекта в широком диапазоне увеличений во вторичных и отражённых электронах. Объектами исследования в СЭМ являются порошки различной дисперсности, плёнки, покрытия.

Энергодисперсионный спектрометр, входящий в состав СЭМ, позволяет выполнять количественный рентгеновский микроанализ с выбором анализируемой области: в точке, по площади, по линии (с заданным шагом получения спектров), получать карты распределения элементов по площади и профили вдоль заданной линии.

Какова микро- и наноструктура материала? Каково содержание химических элементов в анализируемом



образце? Какое значение коэффициентов диффузии контактирующих материалов? Каков концентрационный градиент химических элементов диффундирующих материалов? Каково распределение структурных элементов по размерам? На эти или подобные вопросы ответы могут быть найдены с помощью сканирующей электронной микроскопии с энергодисперсионным микроанализом.

1.12. Магнитно-резонансная томография (МРТ)/ Функциональная магнитно-резонансная томография (фМРТ)

Метод МРТ связан с использованием физического явления ядерного магнитного резонанса и основан на измерении электромагнитного отклика ядер атомов водорода на возбуждение их определённой комбинацией электромагнитных волн в постоянном магнитном поле высокой напряжённости.

МРТ позволила увидеть без оперативного вмешательства, как выглядит живой человек внутри и какие процессы происходят в его организме. Постепенно совершенствуясь, методы МРТ привели в начале 90-х годов прошлого века к созданию функциональной магнитно-резонансной томографии (фМРТ), основанной на оценке интенсивности метаболизма кислорода в различных анатомических регионах. Несмотря на относительно низкую временную разрешающую способ-

ность этого метода, он до известной степени позволил наблюдать физиологические процессы в организме, исследовать их интенсивность и обогащённость кислородом.

Наряду с развитием нейрофизиологии это, в частности, дало возможность детально изучить реакции мозга на внешние раздражители. Оказалось, что мозг реагирует вполне функционально: та зона мозга, которая интенсивно работает в данный момент, получает более активное кровоснабжение. Поэтому с начала 90-х годов психология, в известном смысле, перестала быть исключительно гуманитарной наукой. Получив мощный исследовательский инструментарий, психологи стали проводить эксперименты нового типа, ориентированные на объективные (не зависящие от исследователя) результаты. Это привело к бурному развитию экспериментальной психологии и всего комплекса когнитивных исследований, прежде всего комплекса когнитивных нейронаук. Особенно значительную роль в этом развитии до сих пор имеет использование метода фМРТ. Другой важной разновидностью МРТ стал метод диффузной тензорной визуализации (ДТИ), или трактологии, позволяющий определить анатомические связи отдельных участков мозга между собой. В самое последнее время предпринимаются успешные попытки разработки функциональной версии этого метода (фДТИ).

1.13. Электроэнцефалография (ЭЭГ) / Магнитоэнцефалография (МЭГ)

Один из первых методов функциональной нейровизуализации, позволивший неинвазивно, т.е. не нарушая целостность организма, отслеживать состояния мозга во время сна и различных форм психической деятельности человека. ЭЭГ регистрирует суммарную электрическую активность значительных групп нейронов в коре головного мозга с помощью электродов, накладываемых на поверхность кожи головы. В современных системах ЭЭГ число таких электродов может достигать нескольких сотен. Даже при высокой плотности электродов пространственное разрешение этого метода остаётся низким, значительно уступающим методу фМРТ. Главным достоинством ЭЭГ является её высокая временная разрешающая способность. В нейрокогнитивных исследованиях поэтому часто используется параллельная регистрация ЭЭГ и фМРТ. Первый из этих методов отражает временную динамику изучаемых процессов, а второй обеспечивает их точную пространственную локализацию.

Электроэнцефалография даёт возможность качественного и количественного анализа функционального состояния головного мозга и его реакций при действии раздражителей. Запись ЭЭГ широко применяется в диагностической и

лечебной работе (особенно часто при эпилепсии), в анестезиологии, а также при изучении деятельности мозга, связанной с реализацией таких когнитивных функций, как восприятие, память, мышление, речь, адаптация. На электроэнцефалограммах заметна ритмичность электрической активности мозга. Различают целый ряд ритмов, называемых буквами греческого алфавита. Ритмы ЭЭГ различаются частотой, общей мозговой локализацией и условиями возникновения. Так, α -ритм (с колебаниями частотой примерно 10 Гц) регистрируется в задних отделах коры бодрствующего человека при закрытых глазах.

Электрические процессы в популяциях нейронов головного мозга сопровождаются магнитными эффектами. На этот источник информации о работе мозга человека впервые обратил внимание академик И.К. Кикоин, построивший в «Курчатовском институте» для её регистрации специальное, экранированное от внешних помех помещение («немагнитный домик»). Интенсивность этих эффектов чрезвычайно мала (несколько фемтотесла), она в десятки тысяч раз меньше естественного магнитного поля Земли. Это предъявляет необычайные требования к методу магнитоэнцефалографии (МЭГ), делая его, особенно по сравнению с ЭЭГ, довольно дорогостоящим и громоздким. Тем не менее метод нашёл широкое



применение в научных исследованиях когнитивных процессов и их патологии у человека. Сегодня регистрация магнитоэнцефалограммы осуществляется многоканальными установками, дополняя информацию, получаемую с помощью других средств нейровизуализации.

1.14. Регистрация движений глаз — Айтрекинг

На базе новейших достижений физической оптики и электроники в последние два-три десятилетия создана серия приборов, играющих исключительно важную роль в изучении естественной деятельности человека, его сознательных и бессознательных предпочтений и интересов. Речь идёт о методе регистрации движений глаз, или айтрекинге (от англ. *eye* — глаз, *tracking* — слежение). Впервые значение данных о движениях глаз для психологии и физиологии человека было продемонстрировано в получивших мировую известность работах советского физика А.Л. Ярбуса (1965). Для регистрации движений глаз он использовал оптико-механическое устройство, крепившееся непосредственно на склере глаза испытуемого («присоска Ярбуса»).

Современные айтрекеры располагаются в окружающем человека пространстве и не накладывают существенных ограничений на движения его головы. Обработка данных осуществляется специализированными программными комплек-

сами практически в реальном масштабе времени, что позволяет менять параметры предъявления зрительной информации в процессе её рассматривания.

Среди разнообразнейших применений этого метода, наряду с медициной, эргономикой, лингвистикой и экспериментальной психологией, следует отметить и сугубо гуманитарные, например восстановление и сопоставление субъективного восприятия произведений изобразительного искусства экспертами-искусствоведами и обычными посетителями музеев. Высока роль этого метода в работах по маркетингу и оценке эффективности электронных средств массовой коммуникации.

2. Математическое моделирование и IT-технологии

2.1. 3D лазерное сканирование и цифровое моделирование исторических и архитектурных памятников

Данный метод позволяет создать цифровую модель всего окружающего пространства, представив его набором точек с пространственными координатами. Основное отличие 3D лазерных сканирующих систем от существующих технологий — большая скорость и высокая точность измерений, что позволяет экономить до 80% рабочего времени и трудозатрат.

Метод 3D лазерного сканирования может быть использован для

решения широкого круга задач, среди которых:

- в архитектуре: съёмка фасадов зданий с построением 3D-моделей;
- в реставрационных работах: сохранение электронной модели памятника архитектуры с целью дальнейшей реконструкции (реставрации).

2.2. Методы статистической физики и компьютерного моделирования социальных явлений

Целью компьютерного или математического моделирования социальной динамики является изучение общих закономерностей явлений и процессов, протекающих в социальных системах, в частности, механизмов формирования общественного мнения, перехода от беспорядка к упорядоченности и формированию социальных связей и структур.

Исследование количественных закономерностей изменения (эволюции) коллективных свойств больших групп людей (динамика рождений и смертей, криминальная статистика, социальные конфликты) дают богатый материал для использования методов статистической физики равновесных и неравновесных процессов. Однако переход от теоретического рассмотрения изменений общества в терминах статистической физики к практическим попыткам исследований был совершён лишь в последние годы.

Этому переходу немало способствовали:

- развитие новых информационных технологий, связанных в первую очередь с Интернетом;
- многократное увеличение производительности, мощности и информационной ёмкости вычислительных систем;
- понимание современной наукой фундаментальной и прикладной значимости проблем социальной физики, а также
- востребованность таких разработок в реальной жизни (политика, экономика, социология, военное дело).

2.3. Виртуальная реальность / Расширенная реальность

На базе достижений физической оптики, акустики, материаловедения и электроники в 90-е годы прошлого века была создана новая группа методов и технологий, а сегодня уже и процветающая отрасль промышленности, связанная с созданием компьютерных моделей реальности (англ. virtual reality, VR), передаваемых человеку через его ощущения различных модальностей: зрение, слух, обоняние, осязание. Виртуальная реальность имитирует как сенсорные воздействия на человека, так и моторные реакции человека на эти воздействия. Для создания убедительного комплекса ощущений реальности компьютерный синтез свойств и реакций виртуальной реальности



производится в реальном масштабе времени.

Объекты виртуальной реальности обычно ведут себя близко к поведению аналогичных объектов материальной реальности. Пользователь может воздействовать на эти объекты в согласии с реальными законами физики (гравитация, свойства воды, столкновение с предметами, отражение). Однако часто в познавательных или развлекательных целях пользователям виртуальных миров позволяет больше, чем возможно в реальной жизни (например, летать над любыми участками нашей планеты, создавать любые предметы, видеть сквозь непрозрачные среды).

От виртуальной реальности следует отличать расширенную (или дополненную) реальность. Их различие состоит в том, что виртуальная реальность конструирует новый искусственный мир, а дополненная реальность лишь вносит отдельные искусственные элементы в восприятие мира реального. Существует целый спектр таких переходных форм реальности и виртуальности. Важную роль играет также создание виртуальных форм жизни, в частности антропоморфных агентов (аватаров), с помощью которых исследуются процессы взаимодействия человека с этими новыми, гибридными (естественно-научными и гуманитарными) технологиями. Спектр применений новых технологий этого типа, в том числе

в сугубо гуманитарных областях, например музейном деле и образовании, чрезвычайно широк. Речь идёт о базовой гибридной технологии следующих десятилетий.

3. Молекулярно-биологические методы

3.1. Метод ДНК-анализа

ДНК-дактилоскопия, или генетическая дактилоскопия, — метод, используемый для идентификации лиц на основе уникальности последовательностей ДНК индивидуума.

ДНК разных людей имеют уникальные последовательности нуклеотидов. Последовательности ДНК конкретного человека составляют его ДНК-профиль, или генетический паспорт, который можно использовать для идентификации личности. Составление ДНК-профиля человека (ДНК-профилирование) не следует путать с полной расшифровкой его генома.

Сегодня ДНК-дактилоскопию можно проводить везде, даже в портативных лабораториях, и десятки предприятий в мире выпускают оборудование для геномной идентификации личности.

3.2. Секвенирование генома

Высокопроизводительное геномное секвенирование (*Next-Generation Sequencing* (NGS)) позволяет решать целый ряд таких масштабных задач, как ресеквенирование геномов (для организмов с уже известным геномом), секвенирование *de novo*

(расшифровка генома нового вида организма), секвенирование экзона, транскриптома, метилома, анализ однонуклеотидных полиморфизмов (SNP), таргетное секвенирование, анализ малых РНК.

До недавнего времени основными коммерческими технологиями для осуществления NGS секвенирования были следующие платформы: 454 Sequencing (Roche), Solexa/Illumina (Illumina) и SOLiD (Applied Biosystems). Каждая технология имеет свои плюсы и минусы, однако в последние годы конкурентная борьба между этими платформами привела к победе Solexa/Illumina как наиболее оптимальной технологии, особенно для решения научных задач.

Для осуществления NGS секвенирования для имеющихся образцов ДНК необходимо приготовить геномные библиотеки, которые представляют собой смесь фрагментов ДНК определённой длины. Максимальная длина чтений по технологии Solexa/Illumina составляет 150 п.н., имеется возможность мультиплексирования образцов, что позволяет исследователю разместить до 96 образцов на одной проточной ячейке. При парном чтении по 150 производительность составляет 85–95 млрд п.н. за 14 дней. Меньшая длина чтения (по 100, 75 или 50) сократит время запуска до 5 дней, а при непарном чтении — до 2 дней. Данная технология отличается

высокой производительностью и позволяет реализовывать проекты как в медико-биологической области, так и в сфере социогуманитарных наук. Так, передовые методы современной молекулярной биологии, в том числе методы секвенирования генома могут использоваться и для решения многих проблем антропологии и археологии.

Первая российская работа по полногеномному секвенированию человека была выполнена в 2009 г. в Лаборатории геномных и постгеномных исследований Курчатовского НБИКС-Центра. Полученный в НИЦ КИ полный генетический портрет стал восьмой такой работой в мире. Совсем недавно в той же лаборатории были проведены новые эксперименты, направленные на исследования в области палео- и археологической геномики.

Современные методы геномного секвенирования использовались для уточнения гипотез о происхождении археологических культур Северного Кавказа. При этом в процессе пробоподготовки образцов из фрагментов костей и зубов захоронений была выделена древняя ДНК (возраст около 5000 лет) и проведено создание баркодированных ДНК-библиотек. Последующее секвенирование и биоинформатический анализ последовательностей ДНК позволили осуществить сборку митохондриального генома представителя новосвободненской культуры. Полученные результаты



согласуются с гипотезой о происхождении новосвободненской культуры от ранних европейских культур Северной и Центральной Европы и выделением её в качестве самостоятельной археологической культуры.

Литература

1. Roco M., Bainbridge W. (eds). *Converging Technologies for Improving Human Performance: Nanotechnology, Biotechnology, Information Technology and Cognitive Science*. Arlington, 2004.
2. Аронов Р.А., Баксанский О.Е. Когнитивная стратегия А.Эйнштейна // *Вопросы философии*. — 2005. — № 4. — С. 66–75.
3. Баксанский О.Е. Когнитивные науки: от познания к действию. — М., 2005.
4. Баксанский О.Е. Когнитивные репрезентации: обыденные, социальные, научные. — М., 2009.
5. Баксанский О.Е. Наука и философия образования в XXI веке // *Педагогика и просвещение*. — 2013. — № 1. — С. 7–18.
6. Баксанский О.Е. Физики и математики: анализ основания взаимоотношения. — М., 2009.
7. Баксанский О.Е., Гнатик Е.Н., Кучер Е.Н. *Естествознание: современные когнитивные концепции*. — М., 2008.
8. Баксанский О.Е., Гнатик Е.Н., Кучер Е.Н. *Нанотехнологии. Биомедицина. Философия образования. В зеркале междисциплинарного контекста*. — М., 2010.
9. Баксанский О.Е., Кучер Е.Н. Когнитивно-синергетическая парадигма НЛП: от познания к действию. — М., 2005.
10. Баксанский О.Е., Кучер Е.Н. Когнитивный образ мира: пролегомены к философии образования. — М., 2010.
11. Кобаяси Н. Введение в нанотехнологию. — М., 2005.
12. Ковальчук М.В. Идеология нанотехнологий. — М., 2010.
13. Ковальчук М.В. Наука и жизнь: моя конвергенция. — Т. 1. — М., 2011.
14. Кузнецов Н.А., Баксанский О.Е., Гречишкина Н.А. Фундаментальное значение информатики в современной научной картине мира // *Информационные процессы*. — 2006. — Т. 6. № 2. — С. 81–109.
15. Огурцов А.П., Платонов В.В. *Образы образования. Западная философия образования. XX век*. — СПб., 2004.
16. Хартманн У. Очарование нанотехнологии. — М., 2008.