

УДК 57.034+159.91

КАМО ГРЯДЕШЕ, ХРОНОПСИХОЛОГИЯ?

© 2021 г. А. А. Путилов*

ФИЦ фундаментальной и трансляционной медицины, Новосибирск, Россия

*e-mail: putilov@ngs.ru

Поступила в редакцию 22.11.2020 г.

После доработки 22.12.2020 г.

Принята к публикации 22.12.2020 г.

Это первый обзор по хронопсихологии, относительно новой междисциплинарной области исследований, которая быстро развивается на стыке хронобиологии, сомнологии и психологии. Хронопсихология изучает механизмы ритмичности в поведении и психике, опираясь на методы хронобиологии, сомнологии и психометрии. В частности, хронобиология изучает биологические часы, а сомнология — их влияние на регуляторные процессы, непосредственно контролируемые цикл сна и бодрствования, нарушения которого отрицательно влияют на психическую деятельность. Методы психометрии и дифференциальной психологии широко применяются, например, при изучении хронотипа и его взаимосвязи с самыми разными особенностями человека — генетическими, психофизиологическими, поведенческими, когнитивными, личностными и психопатологическими. Особое внимание уделяется сну, сонливости, усталости, продуктивности работы/учебы, здоровому/нездоровому образу жизни людей разного пола и возраста. Прикладные исследования включают разработку — с учетом хронотипа каждого конкретного человека — рекомендаций по сохранению полноценного сна и здоровья в конкретной временной среде, оптимизации режима работы и отдыха, эффективному усвоению новых навыков и предотвращению несчастных случаев при активной деятельности в неподходящее для такой деятельности время суток.

Ключевые слова: хронотипология, сомнология, хронобиология, психология личности, индивидуальные различия, циркадианные ритмы, регуляция сна-бодрствования, сонливость, сменный труд

DOI: 10.31857/S004446772102009X

ВВЕДЕНИЕ

Слово “chronopsychology” (“хронопсихология”) не сложно обнаружить на просторах интернета. Оно на слуху уже не одно десятилетие, а с 1999 г. японская hip hop группа M-Flo исполняет небезызвестную песню с таким названием. Парадокс, однако, состоит в том, что намного сложнее ответить на вопрос о том, что же из себя представляет область научных исследований, обозначенная словом “хронопсихология”. Причем ответ не дает не только прослушивание этой песни, но и более серьезное изучение всех научных источников, содержащих данное слово. Среди них, в частности, нельзя обнаружить обзор по истории и современному состоянию хронопсихологии как на английском, так и на русском

языке. Так что данный обзор, похоже, станет первым.

Будучи относительно молодой областью междисциплинарных исследований, хронопсихология стремительно развивается в последние годы на стыке хронобиологии, сомнологии и психологии. Она изучает механизмы и проявления ритмичности в поведенческих и психологических процессах. Ее теоретическими фундаментами являются две биологические дисциплины — хронобиология и сомнология. В сферу экспериментальных исследований первой входят биологические часы, а в сферу интересов второй — их влияние на те регуляторные процессы, которые непосредственно контролируют цикл сна и бодрствования. Серьезные нарушения этого цикла — а с этим знаком практически каждый человек — отрицательно влияют на психиче-

скую деятельность, самочувствие и настроение. Теория и методология хронопсихологических исследований связаны не только с биологическими науками. Широко используются методы, которые были впервые разработаны в психологии личности (дифференциальной психологии) и которые относят к ведению таких психологических дисциплин как психометрия и психодиагностика. Примером широкого применения этих методов психометрии (научной области, связывающей психологию с математикой и статистикой) является исследование хронотипа (типа суточного ритма) и его взаимосвязи с самыми разными особенностями человека – генетическими, психофизиологическими, когнитивными, личностными, психопатологическими и т.д. Специалисты, работающие в области хронопсихологии, уделяют особое внимание режиму работы/учебы, сну, сонливости, усталости, здоровому/нездоровому образу жизни людей разного пола, возраста, способностей, видов профессиональной деятельности и т.д. Прикладные аспекты таких исследований включают разработку рекомендаций – с учетом хронотипа конкретного человека и его временной среды – по сохранению полноценного сна и здоровья, улучшению работоспособности, более эффективному усвоению новых навыков и учебного материала, снижению уровня сонливости и риска “выгорания” на работе, оптимизации режима работы и отдыха, предотвращению несчастных случаев и рисков для жизни и здоровья, связанных с активной деятельностью в неподходящее для такой деятельности время суток.

В обзоре освещены история и различные аспекты современной хронопсихологии – ее теоретические, математические и методологические основы, методы сбора данных, дискуссионные вопросы, нерешенные проблемы и перспективы дальнейшего развития.

1. История хронобиологии и возникновение хронопсихологического подхода

Хронобиология является одной из теоретических и методологических основ хронопсихологии. Ей не повезло с названием, потому что было бы лучше назвать ее биоритмологией (термин нередко использовался в русскоязычной литературе по биологическим ритмам). Но случилось так, что это направление научных исследований выдели-

лось в отдельную научную дисциплину в те самые годы (начало шестидесятых прошлого века), когда у всех на слуху была лженаучная идея трех “биоритмов” (по-английски “biorhythms”). Дабы серьезных ученых не связали с этой лженаучной идеей, одни из них предпочли использовать термин хронобиология, а другие продолжили называть это научное направление тремя словами: “исследование биологических ритмов” (см. подробнее об истории экспериментальных исследований по хронобиологии в (Путилов, 2016)).

Моментом возникновения хронобиологии как особого раздела научного знания считается симпозиум по биологическим часам, который был организован Колином Питтендрихом (Colin Pittendrigh, 1918–1996) в июне 1960 г. в Колд Спринг Харбор – спальном районе Нью-Йорка, где располагается одноименная научно-исследовательская лаборатория. На симпозиум собрались десятки ученых, включая основоположников (“римских пап”) хронобиологии Колина Питтендриха, Юргена Ашоффа (Jürgen Aschoff, 1913–1998) и Франца Халберга (Franz Halberg, 1919–2013). Важнейшим результатом симпозиума стала публикация в 1961 г. книги “Biological Clock” (Pittendrigh, 1961), в которую были включены зачитанные на нем доклады и их обсуждения (в русскоязычном издании (“Биологические часы”, 1964)).

Идея приставлять приставку “цирка” к названиям биологических ритмов принадлежала одному из основоположников хронобиологии – Францу Халбергу. Приставка “цирка” была добавлена впервые в ныне общеупотребимое в самых разных языках слово “циркадианный” (околосуточный) в статье 1959 г. (Halberg, Stephens, 1959). Этим подчеркивалось, что эндогенный (внутренний или собственный) период ритма организма не обязательно точно равен 24 ч. Халберг же предложил для этой тогда еще очень молодой области слишком уж широкий термин “хронобиология” (Halberg, 1969).

Основная заслуга третьего основоположника хронобиологии – Юрген Ашоффа – состояла в инициации первых масштабных научных экспериментов по изучению биологических ритмов человека в условиях изоляции от внешних сигналов времени (Aschoff et al., 1967). В течение предшествующих 250 лет экспериментальные исследования в этой области проводились только на растениях и других видах животных. Сотни многоднев-

ных экспериментов в бункере позволили прийти к заключению, что, подобно растениям и животным, уже участвовавшим в такого рода изоляционных экспериментах, люди тоже обладают собственными биологическими часами (Aschoff, 1965).

Итог начальному периоду развития хронобиологии – до ее взрослого состояния (20-летнего возраста) – был подведен в одном из пяти томов руководства по нейробиологии поведения, носившего название “Biological Rhythms” (Aschoff, 1981) (в русскоязычном издании (“Биологические ритмы”, 1984)). С момента публикации книги Ашоффа прошло уже почти 40 лет. За это время хронобиология разрослась в обширную научную дисциплину, которая, к тому же, разветвилась на множество более или менее мощных направлений. Как и во многих других дисциплинах, возникло несколько гибридных областей на стыке нескольких дисциплин, включая хронопсихологию.

Например, одно из наиболее перспективных направлений возникло на стыке с генетикой поведения и молекулярной генетикой. В рамках этого направления велось познание механизма биологических часов на клеточном уровне. Первым в череде открытий была работа, выполненная под руководством Сеймура Бензера (Seymour Benzer, 1921–2007) его студентом Роном Конопкой (Ronald Konopka, 1947–2015) (Konopka, Benzer, 1971). Под влиянием мутагена удалось получить плодовых мушек, которые появлялись из яиц аритмично или плодились с очень укороченной (20-часовой) и очень удлиненной (28-часовой) периодичностью. Более того, оказалось, что все эти повреждения локализованы в одном-единственном, ранее никем не описанном гене. Он получил название *PER* (от англ. “period” – период) и стал первым из целого семейства так называемых “часовых” генов – отдельных “шестеренок” этого молекулярно-генетического механизма (Konopka, Benzer, 1971). Правда, перспективы поиска молекулярно-генетических основ биоритмов были по-настоящему осознаны научным сообществом далеко не сразу. Ситуация окончательно изменилась только благодаря присуждению в 2017 г. Нобелевской премии по физиологии и медицине “за открытие молекулярного механизма, контролирующего циркадианные ритмы”. Она ушла к Джефу Холлу, Майку Росбашу и Майку Янгу (Jeffrey Hall, Michael Rosbash и Michael Young), кото-

рые, в частности, опубликовали первые результаты по строению гена *PER* (Zehring et al., 1984; Bargiello et al., 1984) (см. подробнее об истории этого и предшествовавших ему открытий (Путилов, 2018)).

Хронопсихологическое направление возникло в рамках хронопсихологии в 70-х годах прошлого века. Сам Халберг был близок к его инициации. Он употребил термин “educative chronobiology” (“педагогическая хронобиология”) по отношению к юному междисциплинарному научному направлению. В статье, название которой содержало этот термин, Халберг указал на необходимость учитывать важное значение времени суток при обучении студентов и отмечал, что такая необходимость игнорируется большинством экспериментальных психологов (Halberg, 1974). Вероятнее всего, впервые этот термин использовал для обозначения хронопсихологического направления хронобиологических исследований Саймон Фолкард (Simon Folkard). Термин он использовал в заголовке тезисов, опубликованных в журнале *Chronobiologia*, который в те годы выпускал и редактировал Халберг (Folkard, 1977). Два года спустя Карлом Энглундом (Carl Englund) была защищена диссертация с этим термином в названии, но она никогда не была опубликована (Englund, 1979). Еще три года спустя в сборнике статей по ритмическим аспектам поведения появилась глава, написанная коллегой Энглунда, Полом Найто (Paul Naitoh). Со ссылкой на публикации Халберга и Фолкарда он определил целью этой главы представить базовые принципы и главные концепции хронопсихологии и привести примеры их применения для изменения стиля жизни индивидуума/группы индивидуумов таким образом, чтобы часы работы и отдыха оказались для него/их наиболее приемлемыми (Naitoh, 1982).

Таким образом, эти первые хронопсихологические исследования были в основном направлены на попытки оптимизировать работоспособность человека, опираясь на хронобиологические представления и методы изучения циркадианных ритмов организма (например, (Folkard, Monk, 1983)). Соответственно, хронопсихологию в этом смысле чаще всего определяли как “хронопсихологический подход к оптимизации работоспособности человека” (“chronopsychological approach for optimizing human performance” (Naitoh, 1982; Folkard, Monk, 1983)).

2. Методология хронобиологии

Согласно Ашоффу (Aschoff, 1981) исследования биологических ритмов в основном сосредоточены на изучении четырех “циркаритмов”: циркадианного, циркатидального, циркалунарного и циркааннуального. Это те биологические ритмы, возникновение которых связано с появлением собственных (биологических) часов у живых существ, населяющих Землю. С их помощью они смогли приспособиться к космическим и геофизическим колебаниям в окружающем их мире. Соответственно, собственным биоритмам таких существ свойственны периоды примерно, но не точно равные 1) суточному движению Солнца (циркадианный), 2) периодичности приливов, обусловленных лунным притяжением (циркатидальный), 3) сидерическому или синодическому лунному циклу (циркалунарный) и 4) годовому циклу (циркааннуальный) (Aschoff, 1981).

подавляющее число исследований посвящено циркадианным ритмам и эту область называют еще циркадианной биологией. У человека, как и у большинства других живых существ, обнаружены только одни биологические часы – циркадианные. Это не означает, что люди не имеют возможности приспособиться к иным – еще трем – внешним (экзогенным) периодичностям. Циркадианные часы позволяют еще и учитывать годовые колебания многих периодических средовых факторов, включая сезонные изменения фотопериода (длины дня) (Chang et al., 2011). Кроме того, это не означает, что организм человека не способен порождать ритмы с периодами, близкими к этим периодичностям. Пример тому менструальный цикл (подробный обзор исследований по этой периодичности можно найти в книге (Дубров, 1990)).

Биологические (циркадианные) часы млекопитающих были впервые локализованы в 1972 г. двумя независимыми исследовательскими группами, Бобом Муром и Виктором Айхлером (Robert Y. Moore и Victor B. Eichler) и Фридрихом Стефаном и Ирвингом Зукером (Friedrich K. Stephan и Irving Zucker). Часы были обнаружены в билатеральных ядрах гипоталамуса, которые были названы супрахиазматическими из-за их местоположения прямо над перекрестом зрительных нервов – хиазмом (Moore, Eichler, 1972; Stephan, Zucker, 1972). Почти каждая клетка, каждый орган и каждая важная для организма функция об-

ладают своими собственными более или менее сложно организованными часовыми устройствами. Однако достаточно разрушить этот микроскопический участок нервной ткани (примерно 100 тыс. нейронов у человека), и все эти миллиарды самых разнообразных часов начнут идти вразнобой. При потере часов общий циркадианный ритм просто перестанет обнаруживаться из-за наложения друг на друга разных по фазе и периоду колебаний (Moore, Eichler, 1972; Stephan, Zucker, 1972).

Такое явление было сначала только предсказано одним из основоположников хронобиологии, Колином Питтендрихом. В 1958–1960 гг. он развил гипотетическую идею отдельного светочувствительного осциллятора, задающего ритм всему организму (пейсмейкера) (Pittendrigh, 1960–1961). Эти ядра неспроста располагаются близко к перекресту зрительных нервов. Они возникли в процессе эволюции млекопитающих для того, чтобы указать всем функциям их тела то время, которое “показывает” внешний источник точной световой цикличности. Биологические часы с периодом близким, но точно не равным суткам, подстраиваются под строго 24-часовой режим освещения. Питтендрих ввел в словарь хронобиологии такой очень важный для понимания функции биологических часов термин как “entrainment” (подробнее о вкладе основоположников хронобиологии в изучение этого явления можно узнать из лекции (Daan, 2000)). К сожалению, этот термин не имеет общепринятого перевода на русский язык. Его можно перевести как “вовлечение” или “затягивание” в смысле “затянуть/вовлечь в сферу своего влияния”.

Хотя “вовлечение” формально похоже на синхронизацию, это не синхронизация в привычном смысле. Если между двумя колебаниями с разными периодами, например маятниками, существует некоторое, пусть очень слабое физическое взаимодействие, то они довольно быстро синхронизируются, т.е. их периоды становятся равными или кратными друг другу (Блехман, 1981). Формально действие такого внешнего колебания как суточный режим света-темноты на внутренние (циркадианные) часы и действие этих часов на прочие разнообразные колебания, внутри организма приводят к точно такому же результату. Периоды циркадианных ритмов становятся равными или кратными 24 ч (Путилов, 1987). Однако световой режим практиче-

ски не оказывает прямого физического воздействия на часы супрахиазматических ядер, а часы в свою очередь практически не воздействуют в физическом смысле на колебания всех прочих отделов мозга и тем более на колебания самых разных процессов во всем остальном организме (Pittendrigh, Daan, 1976). Режим освещения используется часами лишь как источник информации о времени суток – подобно солнечным и прочим часам, изобретенным самими людьми. Гармония с внешним миром достигается потому, что эти разнообразные колебания внутри организма подстроились под ритм часов, которые в свою очередь подстроились под ритм вращения Земли вокруг своей оси (Roenneberg et al., 2003).

Разработка современной методологии экспериментального изучения “вовлечения” началась с работ Натана Клейтмана (Nathaniel Kleitman, 1895–1999) – американца-иммигранта из России, которого считают основоположником (“римским папой”) сомнологии (науки о сне). Еще в 1939 г. он инициировал эксперименты, которые со временем привели к появлению “золотого стандарта” для современных экспериментальных исследований влияния различных световых режимов на биологические часы человека. (В качестве другого заметного вклада Клейтмана следует назвать его заслуги перед хронопсихологией, поскольку им была предпринята первая попытка сравнить крайние хронотипы – утренний и вечерний – по ритму температуры тела с целью объяснить различия между ними разницей во времени наступления пика этого ритма (Kleitman, 1962)). Дальнейшее развитие инициированного Клейтманом метода исследования биоритмов человека в условиях изоляции получило продолжение в работах, руководимых Эллиотом Вейцманом (Elliot David Weitzman, 1929–1983). Он первым в США создал лабораторию для таких исследований, и в 1978 г. результаты первого из серии экспериментов в этой лаборатории были им опубликованы в соавторстве с Чаком Сайслером и Мартином Мур-Идом (Charles A. Czeisler, Martin Moore-Ede) в виде тезисов (Weitzman, Czeisler, Moore-Ede, 1978). Еще несколько лет спустя Чак Сайслер возглавил исследования, опирающиеся на этот метод, который был назван в первой – тоже тезисной – публикации “протоколом принудительной десинхронизации” (Czeisler et al., 1985).

Основная идея эксперимента по “принуждению к десинхронизации” состоит в использовании способности участника эксперимента довольно долго жить в условиях изоляции от внешних сигналов времени при постоянном тусклом освещении в соответствии с навязанным ему режимом сна-бодрствования. Обычно период такого навязанного режима сна-бодрствования либо длиннее, либо короче суток на 3 ч. Большинство тех ритмических показателей человека, которые наиболее строго контролируются биологическими часами, не способны подстроиться под такой режим, в отличие от цикла сон-бодрствование. Причем, чем “сильнее” внутренний (эндогенный) ритм влияет на измеряемый показатель, тем уже область его “вовлечения”, т.е. интервал периодов, внутри которого можно “заставить” ритм следовать за навязанным ему циклом сна-бодрствования. Самыми изученными и надежными в этом отношении биологическими показателями работы пейсмейкера являются ритм температуры тела и ритм секреции мелатонина. Если период внешнего (экзогенного) цикла находится за пределами области “вовлечения” этих ритмов, то они демонстрируют эндогенный “свободнотекущий” (“free-running”) ритм, т.е. ритм этих показателей в таких условиях “свободно течет”, обычно с периодом лишь немногим длиннее суток. Получается, что фаза “свободнотекущего” ритма (например, момент, когда значение циркадианного колебания температуры тела у участника эксперимента достигает минимума) приходится на разные фазы навязанного ему 21- или 27-часового цикла сон-бодрствование. Это позволяет точно определить параметры эндогенного циркадианного ритма, например, амплитуду, период и фазу околосуточных колебаний температуры тела. Для этого нужно “вычесть” из текущего значения показателя значение, связанное с состоянием сна (вызывает понижение температуры) или значение, связанное с состоянием бодрствования (повышает ее) (Czeisler et al., 1999).

Для обозначения такого не связанного с пейсмейкером влияния было введено специальное понятие “маскирование” (Aschoff, von Goetz, 1988). Оно отражает тот факт, что нельзя судить о фазе и других характеристиках циркадианного пейсмейкера по результатам простого измерения в обычных условиях физиологического или гормонального показателя в течение суток и более. Маскирующее

влияние на эти показатели оказывает множество неучтенных факторов, причем не только состояния сна и бодрствования и не только фаза или стадия сна, но еще и положение тела, уровень активности, наличие в желудке пищи, пребывание в данный момент на свету или в темноте и т.д. Несмотря на предоставленные современному человеку возможности переходить на сугубо ночной образ жизни или работать в разные смены, ежедневное 24-часовое чередование света и темноты не стало менее важным указателем времени суток для биологических часов такого человека. Например, возможности “вовлечения” циркадианных ритмов человек режимом сна-бодрствования существенно ограничены из-за того, что такой режим является куда более слабым указателем времени суток по сравнению с режимом свет-темнота (Danilenko et al., 2003).

Важно подчеркнуть, что “вовлечение” — не просто конкретный механизм, с помощью которого световой режим используется для ежедневной корректировки периода циркадианных ритмов самыми разными видами живых существ, включая современного человека. Это фундаментальное свойство колебательного процесса, которое обнаруживается у самых разных осцилляторов, независимо от их физической природы (Comas et al., 2007). Поскольку формально “вовлечение” циркадианного ритма — это то же самое, что и всевозможные синхронизационные явления, распространенные повсюду как в живой, так в неживой природе, все они могут быть описаны с помощью одной и той же математической теории колебаний (Magnus, 1976). Как следствие, хронобиология уже в самый момент ее выделения в отдельную научную область смогла претендовать на статус точной науки. Иными словами, в ней, как и в такой точной науке как физика, явления и процессы можно описывать и предсказывать на языке математики — с помощью математической модели. А математика, как известно, дает ученым крылья. По этой причине история хронобиологии изобилует примерами математического моделирования основных свойств биологических систем измерения времени. Математическое моделирование ритмической природы биологических явлений никогда не сводилось к решению дифференциальных уравнений и их адаптации с целью добиться более точного соответствия собранным эмпирическим данным (их простая симуляция). Такое

моделирование позволяет 1) критически анализировать существующий набор эмпирических данных, 2) извлекать дополнительную информацию из этих наборов, выходящую за рамки того, что может быть получено с помощью обычного статистического анализа, 3) более эффективно использовать исследовательские ресурсы, 4) оптимизировать разработку экспериментальных протоколов, 5) точно предсказать результаты в еще непроверенных экспериментальных условиях, 6) обозначать гипотетические структуры и процессы, которые могут быть обнаружены в более поздних исследованиях, 7) раскрывать основополагающие механизмы и наиболее важные детали таких механизмов, 8) использовать общий язык исследователями, изучающими различные ритмические явления на примере разных видов, органов, систем, процессов, функций и т.д. (Putilov, 2017b).

Примером особой роли моделей, основанных на математической теории колебаний, в открытии механизма биологических часов может служить модель клеточных часов. Она впервые была предложена в статье Пола Хардина (Paul Hardin) в соавторстве с будущими Нобелевскими лауреатами Росбашем и Холлом (Hardin, Hall, Rosbash, 1990). Было обнаружено, что периодически возникающий избыток белка PER, который производится на основе информации, считываемой РНК с ДНК на участке гена *PER*, отключает собственное производство. В результате возникает ритм с периодом, близким к 24 ч, в основе которого лежит универсальный принцип обратной связи с запаздыванием. Модель, объясняющая данный механизм, получила название транскрипционно-трансляционной модели отрицательной обратной связи (Hardin et al., 1990). Чтобы изложить модель Хардина–Холла–Росбаша на возвышенном языке математики, писать уравнения заново не пришлось. Многие хронобиологи и математики еще на заре возникновения хронобиологии — задолго до экспериментального обнаружения молекулярных часов клетки — попытались объяснить математические принципы работы этих часов. Среди них был Брайан Гудвин (Brian Goodwin, 1931–2009), который в 1965 г. предложил модель гипотетического биохимического осциллятора, работающего по принципу отрицательной обратной связи с запаздыванием (Goodwin, 1965). В модель он включил всего лишь три переменные, что является минимальным

числом, требуемым для возникновения колебаний в петле отрицательной обратной связи с запаздыванием.

Применительно к транскрипционно-трансляционной модели отрицательной обратной связи Хардина—Холла—Росбаша (Hardin et al., 1990) эти переменные обычно интерпретируются как концентрации трех молекул: РНК, соответствующего ей белка и ингибитора процесса транскрипции (синтеза РНК на матрице ДНК). Возникновение околосуточного цикла в данном конкретном приложении модели можно словесно описать следующим образом. Сначала ДНК гена, находящегося внутри клеточного ядра, используется для считывания с нее информации о структуре белка с помощью РНК. Эта информация используется уже за пределами ядра для производства данного белка. Белок постепенно накапливается вне ядра и через некоторое время начинает попадать в ядро клетки. Его появление там приводит к временной остановке процесса считывания информации о нем с ДНК. Эта остановка в свою очередь ведет к постепенному истощению накопленных запасов белка, из-за чего белок не может помешать возобновлению процесса считывания информации о нем с ДНК. В результате весь цикл с периодом, близким к суткам, повторяется заново.

Публикации результатов экспериментальных молекулярно-генетических работ, которые последовали за этой статьей (Hardin et al., 1990), раскрыли детали строения генетической основы клеточных часов, включая факт многократного дублирования некоторых из важнейших элементов. Постепенно сложились детальные представления о строении часов, чья функция генерировать циркадианный ритм и указывать “который час” доброй половине всех остальных генов, экспрессируемых в данной клетке (Takahashi, 2015; Crumbley et al., 2010). На протяжении всего этого периода до сего дня новые открытия только подтверждали транскрипционно-трансляционную модель (Partch et al., 2014) (подробнее модель и ее история описаны в (Путилов, 2016, 2018)).

3. Методология сомнологии

Еще одну модель часового устройства необходимо описать в этом обзоре хотя бы потому, что она позволила “обвенчать” хронобиологию с сомнологией. Ее разработка и последу-

ющее применение наглядно продемонстрировали, что и в области исследования сна математические модели и основанные на них симуляции могут служить мощными инструментами для понимания механизмов, лежащих в основе ежедневного чередования состояний сна и бодрствования. Как уже было упомянуто выше, основоположник сомнологии еще и внес заметный вклад в становление и хронобиологии и хронопсихологии. Однако, несмотря на очевидную принадлежность цикла сон-бодрствование к биологическим ритмам, хронобиология и сомнология на протяжении десятилетий развивались в относительной изоляции друг от друга. В частности, редко кто из экспериментаторов в области хронобиологии человека обременял участников экспериментов полисомнографией, которая, начиная с 30-х годов 20-го столетия, постепенно превратилась для сомнологов в главный источник объективной информации о сне (см. подробнее об истории взаимосвязей между этими науками в (Путилов, 2020)).

Только в начале 80-х годов исследователь сна Александр Борбели (Alexander A. Borbély) стал развивать идеи, которые незадолго до того высказал в дискуссии с ним хронобиолог Серж Дан (Serge Daan, 1940–2018), один из учеников Ашоффа. Для моделирования цикла сон-бодрствование Дан в свою очередь привлек молодого математика Домьена Бирсму (Domien G.M. Beersma), одного из тех немногих, кто уже тогда “дружил” с компьютерами. Дан, Бирсма и Борбели опубликовали математическую версию так называемой модели двух процессов регуляции сна (Daan et al., 1984). По прошествии 45 лет эта модель до сих пор остается одной из наиболее часто цитируемых в литературе хронобиологических и сомнологических теоретических представлений. Сомнологическую часть в этой модели представляет процесс S, от слова “sleep” (“сон”). Этот регуляторный процесс призван обеспечить поддержание баланса между фазами сна и бодрствования 24-часового цикла. Он увеличивает/уменьшает продолжительность и интенсивность сна в зависимости от продолжительности предшествующего сну бодрствования. Поэтому этот процесс часто называют гомеостатическим или сомностатическим. Важно, что Борбели показал: получив полисомнографическую запись сна, можно количественно измерить сомностатический процесс путем оценки мощ-

ности медленно-волновой (частота 1–4 Гц) части спектра электроэнцефалограммы (ЭЭГ) сна (Borbély et al., 1981; Borbély, 1982). Изменения мощности во время обычного сна свидетельствуют о том, что медленно-волновая активность экспоненциально снижается на протяжении ночи от одного цикла чередования фаз медленного и быстрого сна к другому (Aeschbach, Borbély, 1993). Если человек бодрствовал значительно дольше обычного времени, то мощность в первом цикле сна возрастает сильнее обычного, и, как следствие, последующее экспоненциальное снижение происходит стремительнее, а сон продолжается дольше обычного времени (Dijk et al., 1990). Если человек, наоборот, отправится спать намного раньше обычного времени, то мощность медленно-волновой активности в начале сна окажется ниже обычной, а сон – короче (Dijk et al., 1987). Хронобиологическую часть модели представляет процесс С, от слова “circadian” (“циркадианный”). Циркадианный пейсмейкер в этой классической версии модели задает верхний и нижний пороги в форме циркадианного колебания. Между этими порогами происходит нормальный рост процесса S с утра до начала ночи и его нормальный спад с начала ночи до утра (Daan et al., 1984).

В исходной версии модели один процесс взаимодействует с другим только в моменты смены состояний сна и бодрствования. Была предложена версия модели, предполагающая, что пейсмейкер постоянно модулирует параметры сомнотатического процесса, так что сомнотатический процесс превращается в ритмостатический (Putilov, 1995). Были подобраны параметры этой модели по данным нескольких ранее опубликованных экспериментов, так что нехитрые вычисления позволяют оценивать накопленный на определенном интервале бодрствования “долг сна” (или, иначе, его “давление”), и потом проверять верность расчетов путем измерения спектральной мощности ЭЭГ во время последующего сна (Putilov, 1995, 2014a). В отличие от классической двухпроцессной модели модель ритмостатической регуляции сна бодрствования предсказывает, что мощность медленно-волновой активности модулируется циркадианным пейсмейкером. Долгое время было принято считать, что эта активность отражает почти исключительно гомеостатическое влияние (Dijk, Czeisler, 1995). Однако совсем недавно предсказанное рит-

мостатической моделью циркадианное влияние с максимумом в послеобеденное время было впервые доказано в эксперименте по принудительной десинхронизации (Lazar et al., 2015). В частности, модель предсказывает, что снижение “давления” сна днем не может идти так же эффективно, как ночью.

Другая модификация классической модели двух регуляторных процессов, которая, правда, исходно не была математически сформулирована, рассматривает процесс С в качестве оппонента процесса S. Она впервые была предложена в 90-х годах прошлого века основоположником медицины сна Биллом Дементом в соавторстве с Дэйлом Эдгаром и Чарли Фуллером (Dale M. Edgar, William C. Dement, Charles A. Fuller) для объяснения результатов экспериментов по сну бодрствованию и колебаниям температуры тела белых обезьян (Edgar et al., 1993). Оказалось, что доля сна при удалении супрахиазматических ядер возрастает, т.е. процесс S поднимается выше обычного уровня – драйв сна усиливается в отсутствие ядер. Модель объясняет это снижение уровня оппонированного сну драйва бодрствования отсутствием влияния циркадианного пейсмейкера, играющего в ней роль процесса С (Edgar et al., 1993). Дерк-Ян Дайк (Derk-Jan Dijk) и Чак Сайслер применили эту идею двух оппонированных процессов для объяснения результатов экспериментов по принудительной десинхронизации биоритмов человека. Пользуясь описанным выше методом, они разложили циркадианные колебания физиологических показателей на две составляющие. Одна связана с циркадианным пейсмейкером, а другая – с сомнотатом, т.е. с процессами С и S соответственно (Dijk, Czeisler, 1995). Модель предсказала, что сон человека ночью должен быть непрерывным, поскольку интервал ночного спада процесса S (фаза сна цикла со-бодрствование) совпадает с интервалом снижения процесса С во второй половине суток (ночью этот процесс достигает своего минимума) (Dijk, Czeisler, 1995).

Модель двух оппонированных процессов представляется особо привлекательной для попыток наведения новых мостов между хронобиологией и сомнологией. В частности, она позволяет связать хронобиологию с современными нейробиологическими представлениями о регуляции состояний и субсостояний сна и бодрствования (Ковальзон, 2013; Saper, 2013). В частности, эти представления включают концепцию взаимодействия

промоторов-ингибиторов сна-бодрствования (Saper et al., 2001). Оппонирующие друг другу группы нейронов могут контролировать процесс смены состояний сна-бодрствования, а также чередование фаз медленного и быстрого сна (Boutrel, Koob, 2004).

Кроме того, предпринимались попытки связать результаты анализа динамики спектральных характеристик ЭЭГ, записанной во время сна, с оппонирующим взаимодействием двух процессов. Так, обратная зависимость между мощностями медленно-волновой и бета-активностью (быстрее 12 герц) была объяснена антагонистическим взаимодействием процесса S с процессом W (от слова “бодрствование” – “wake” или “wakefulness”). Возрастание первого – гомеостатического регулятора сна – происходит во время продолжительного бодрствования, а второго – гомеостатического регулятора бодрствования – во время последующего сна (Perlis et al., 2001). В частности, такие представления выдвигались с целью объяснить бессонницу как аномальное преобладание процесса W над процессом S (Perlis et al., 2001; Staner et al., 2003).

Не только спектральная мощность в отдельных частотных диапазонах, но и значения двух главных компонент спектра ЭЭГ обнаруживают оппонирующее взаимодействие двух процессов во время сна (Putilov, 2011). Эти две компоненты можно связать с процессами-промоторами и процессами-ингибиторами состояний сна-бодрствования, а также конкретных субсостояний сна (Putilov 2014a, b). Различные эксперименты по манипуляции длительностью сна и бодрствования (Putilov, 2011, 2014a, 2015) позволили связать динамику значения первой компоненты с промоторами сна, а динамику значения второй – с промоторами бодрствования (Putilov et al., 2014, 2019).

Для хронопсихологов, занимающихся проблемой повышения работоспособности, представляет интерес не только моделирование цикла сон-бодрствование, но и моделирование суточных колебаний уровня сонливости. Динамика уровня сонливости очень тесно связана с суточными колебаниями работоспособности и, к тому же, суточная кривая сонливости практически повторяет один в один суточную кривую частоты аварий на дорогах и опасных производствах (Mitler et al., 1988; Samkoff, Jacques, 1991; Leger, 1994, Dingess, 1995; Van Dongen, 2006).

Хотя здравый смысл подсказывает, что колебания уровня бодрости-сонливости являются простым отражением цикла сон-бодрствование, они, тем не менее, демонстрируют свойства сильных циркадианных ритмов, находящихся под строгим контролем со стороны циркадианного пейсмейкера (как и ритм температуры тела или ритм секреции мелатонина). Например, эксперимент Фолкарда и соавт. обнаружил, что для ритма бодрости-сонливости характерна еще более узкая, чем для температурного ритма область “вовлечения” (Folkard et al., 1985). Поэтому не удивительно, что во время принудительной десинхронизации колебания бодрости-сонливости сохраняют ритм, свойственный температуре и мелатонину, а не следуют за 21- или 27-часовым циклом сна-бодрствования (Johnson et al., 1992; Dijk, Duffy, Czeisler, 1992; Wyatt et al., 1999). Целый ряд моделей колебаний сонливости и работоспособности может рассматриваться как модификация все той же классической модели двух процессов (Achermann, Borbély, 1994; Åkerstedt, Folkard, 1997; Jewett, Kronauer, 1999; Fulcher et al., 2010; Putilov, 2014b, 2015; Putilov, Donskaya, Verevkin, 2015, 2019). Так, была предположена модель, объясняющая суточную динамику работоспособности суперпозицией трех процессов: гомеостатического процесса S, циркадианного процесса C и инерционного процесса, обуславливающего плавность перехода от сна к бодрствованию (Folkard, Åkerstedt, 1992). В ритмостатическую модель также потребовалось добавить новый процесс, чтобы от симуляции сна-бодрствования перейти к симуляции бодрости-сонливости. Предполагается, что этот процесс зависит от драйва бодрствования W, оппонирует процессу, связанному с драйвом сна S, и параметры обоих этих процессов модулируются циркадианным пейсмейкером C. Это лишь минимально усложняет исходную модель ритмостата: ведь одна и та же формула использована для описания и предсказания динамики каждого из двух антагонистических процессов, в результате наложения которых получаются более сложные колебания уровня бодрости-сонливости как в нормальном 24-часовом цикле, так и в процессе длительного – суточного или двухсуточного – бодрствования (Putilov, 2014b; Putilov et al., 2014, 2015, 2019). Колебания уровня бодрости-сонливости, представленные как результирующая двух оппонирующих друг другу процессов, оказалось возмож-

ным связать с их маркерами, выявляемыми в спектре ЭЭГ, т.е. с первой и второй компонентами этого спектра. Оказалось, что динамикой первой компоненты управляет драйв сна, а динамикой второй – противоборствующий ему драйв бодрствования, и дополнительно кривые этих компонент во время сна и во время бодрствования испытывают модулирующее воздействие циркадианных часов (Putilov et al., 2015, 2019).

Такая модель дополнительно позволила достаточно точно воспроизводить и предсказывать непосредственные измерения уровня бодрости-сонливости при различных манипуляциях с режимом сна-бодрствования. Причем оказалось возможным смоделировать динамику сонливости не только по данным субъективных самоотчетов об изменениях текущего уровня сонливости, но и по объективным показателям (Putilov et al., 2015; Putilov, 2014b, 2016). Как известно, спектральные характеристики ЭЭГ обладают стабильными индивидуальными свойствами (например: (Базанова, 2011; Лебедева, Каримова, 2020)). В то же время многие предыдущие исследования трансформаций спектра ЭЭГ во время депривации сна у людей разного пола и возраста обнаружили связь таких трансформаций с изменениями текущего уровня субъективной сонливости (Matousek, Petersen, 1983; Oken, Salinsky, 1992; Lorenzo et al., 1995; Finelli et al., 2000; Leproult et al., 2003; Strijkstra et al., 2003; Putilov, Donskaya, 2013, 2014). Был предложен метод, который позволяет по спектральным ЭЭГ-маркерам, полученным путем анализа ЭЭГ, записанной в течение всего лишь одной минуты (ЭЭГ-подписи сонливости), объективно оценить уровень и динамику сонливости. Полученный в эксперименте по лишению сна коэффициент корреляции между двухсуточными кривыми субъективной и объективной сонливости достигает 0.98 (Putilov et al., 2019).

4. Методология психометрии и хронопсихометрии

Параметры колебаний уровня бодрости-сонливости и работоспособности варьируют от индивидуума к индивидууму. Разница между пиками двух человек нередко составляет более полусуток. Люди могут быть классифицированы по хронотипу исходя из анкетных самооценок таких колебаний уровней бодрости-сонливости или исходя из самооценок суточной динамики работоспособно-

сти (Horne, Ostberg, 1977; Kerkhof et al., 1985; Adan et al., 2013; Levandovski et al., 2013). Кроме того, индивидуально вариабельна и чувствительность к потере и нарушению сна. Было обнаружено, что различия между людьми в реакции их ритмов бодрости-сонливости и работоспособности на потерю сна весьма значительны (различается на порядок) и такие различия с течением времени остаются неизменными (Van Dongen, 2006; Chua et al., 2014; Sletten et al., 2015; Dennis et al., 2017; Tkachenko, Dinges, 2018).

Было также обнаружено, что хронотип входит в число индивидуальных особенностей человека, связанных с его толерантностью к сменному и/или ночному труду (Breithaupt et al., 1978; Åkerstedt, Torsvall, 1981; Härmä et al., 1988; Costa et al., 1989, Moog, Hildebrandt, 1989; Saksvik et al., 2011; Bhatti et al., 2014; Leung et al., 2017). Поэтому одной из важнейших целей хронопсихологических исследований является выявление нейрофизиологических основ индивидуальных различий в ритмах бодрости-сонливости и уязвимости/устойчивости к потере сна. Результаты таких исследований могут быть использованы практически мотивированными учеными для разработки личностно-ориентированных подходов к предотвращению несчастных случаев и рисков для здоровья, связанных с активной деятельностью в неподходящее для этого время суток (Арсеньев и др., 2014; Дорохов, 2013).

Однако одно дело – оценивать параметры циркадианных ритмов в экспериментальных условиях у довольно небольшой группы участников эксперимента, и совсем другое дело – изучать индивидуальную изменчивость этих параметров. Такое изучение требует заметно большего количества участников эксперимента. В связи с тем, что точное определение параметров циркадианной ритмичности, таких как ее период, фаза и амплитуда, требует проведения дорогостоящих экспериментов, значительное число работ в настоящее время ориентируется не на эксперименты (например, по “принудительной десинхронизации”), а на опросники, предназначенные для самооценки хронотипа. Анкетные данные могут быть легко получены от большого количества людей без привлечения значительных денежных средств, обустройства специального помещения, покупки дорогостоящего оборудования, трат на расходные материалы и анализы содержания гормонов в

биологических образцах, привлечения большого количества обученных сотрудников в “круглосуточным бдениям” и т.д. Поэтому дифференциальная психология (психология личности) и разрабатываемые в исследованиях индивидуальных психологических различий методы психометрии (Furr, Bacharach, 2017) служат еще одним методологическим основанием хронопсихологии, особенно тех из исследований, которые используют в анкеты для самооценки хронотипа. Отсутствие точности оценки хронобиологических характеристик восполняется возможностью получать количественные показатели для довольно больших выборок (подробно с историей и современным состоянием методологии хронопсихологического анкетирования можно ознакомиться в обзорах, опубликованных на английском (Putilov, 2017a) и русском языках (Путилов, 2018).

Конструирование, адаптация и валидизация анкет требуют специальных знаний и опыта, с которыми хорошо знакомы психологи и мало были знакомы хронобиологи и сомнологи, инициировавшие анкетные хронопсихологические исследования в 70-х годах прошлого века. Первые анкеты были изготовлены, как говорится, “на коленке”, без применения методов психометрии. Тем не менее до сих пор наиболее часто используется самая первая из таких, не очень удачных и сложных для заполнения и обработки анкет (Horne, Östberg, 1976). Возможно, так происходит потому, что многочисленные недостатки анкеты компенсируются возможностью получать новые данные, которые легко сравнить с огромной и разнообразной массой уже опубликованных за почти 45 лет данных. Вопросы анкеты Хорна—Эстберга (Horne, Östberg, 1976) в основном касаются утренне-вечерних предпочтений. Например, наиболее подходящих часов работы, отхода ко сну, пробуждения, физических нагрузок и т.д. Путем суммирования ответов, обозначенных в опроснике цифрами, вычислялся общий балл по вечерне-утренней шкале. В зависимости от балла человека относят к одному из типов: крайнему вечернему или крайнему утреннему, умеренному вечернему или умеренному утреннему, или к промежуточному (иначе никакому).

После выхода в свет публикации с текстом и ключом первой анкеты для оценки утренне-вечернего предпочтения было предпринято еще несколько попыток либо модифи-

цировать, либо укоротить ее, а также попыток сконструировать анкету во многом сходного содержания (Bohle et al., 2001; Smith et al., 1989; Smith et al., 2002; Torsvall, Åkerstedt, 1980). Все эти анкеты предполагают одномерное шкалирование, т.е. возможность расположить анкетированных людей вдоль одной линии, от крайних “сов” до крайних “жаворонков”. Когда процедуры психометрического анализа структуры анкет стали применять в области хронопсихологии, обнаружилось серьезные изъяны. Например, при факторном анализе взаимосвязей между ответами на вопросы такой анкеты обнаружилось, что практически невозможно связать все вопросы лишь с одним первым фактором, как предполагает идея одной шкалы (Wendt, 1977; Larsen, 1985; Monk, Kupfer, 2007; Neubauer, 1992). Чаще всего в структуре такой анкеты выделяются три группы вопросов (факторов): связанных с утреннем временем, связанных с вечерне-ночным временем и касающихся выбора между разным временем суток (Di Milia et al., 2013). Соответственно, вопросы анкеты группируются в субшкалы, каждая из которых отражает отдельную индивидуальную особенность.

Сравнительно недавно, в 2003 г., ассортимент методов такого ранжирования людей вдоль одной шкалы фазовых различий суточного ритма был расширен Тилем Роннебергом, Аной Вирц-Джастис и Мартой Мерроу (Till Roenneberg, Ana Wirz-Justice, Martha Merrow). Если другие шкалы обычно содержат минимум пять вопросов для получения суммарной оценки утренне-вечернего предпочтения, вопросы этой анкеты нацелены на определение конкретного часа на суточной шкале (Roenneberg et al., 2003). С помощью простой арифметической операции над ответами на вопросы о времени начала или окончания сна в рабочие/учебные и свободные от работы/учебы дни определяется момент времени, соответствующий середине интервала ночного сна в свободные дни, иногда с учетом того, что в свободные дни люди спят дольше (как многие обыватели, авторы анкеты полагают, что это попытка компенсировать накопленный в рабочие дни “недосып”). Также по мнению авторов анкеты такое анкетное измерение хронотипа дает представление о фазе циркадианного ритма, “вовлеченного” биологическими часами в сферу своего влияния (Roenneberg et al., 2004). Главное отличие этого шкалирования от

классического состоит в том, что оно оценивает конкретный результат приспособления цикла сон-бодрствование человека к конкретным условиям временной среды, тогда как все предшествующие анкеты оценивают предрасположенность спать-бодрствовать и достигать максимума активности и работоспособности в определенное время суток при возможности свободного выбора режима дня. В психологии одно противопоставляется другому как состояние и индивидуальная черта.

В психологии также принято различать не только состояние от индивидуальной черты, но еще и проводить различие между такой чертой и способностью. Именно на оценку способности направлена анкета, впервые предложенная в 1979 г. Симоном Фолкардом, Тимоти Монком и Мэри Лоббан (Simon Folkard, Timothy Monk, Mary Lobban, 1979). Ее авторы постулировали несколько измерений хронобиологических различий между людьми, и предположили, что их самооценка позволит определить, имеются ли у человека внутренние – биологические – возможности для приспособления организма к сменному и/или ночному труду (Folkard et al., 1979). Соответственно, такие адаптивные способности циркадианных ритмов человека можно количественно оценить по нескольким шкалам. Факторный анализ структуры анкеты, включавшей 20 вопросов, выявил, что помимо такой общеизвестной индивидуальной характеристики, как утренне-вечернее предпочтение, существуют еще две другие характеристики. Шкалы с вопросами, касающимися этих характеристик, получили названия “жесткость-эластичность” (привычек, связанных со сном) и “вялость-энергичность” (или, иначе, “способность бороться с сонливостью”) (Folkard et al., 1979).

Упоминания о жестко-эластичных и вяло-энергичных типах в последние годы практически не встречаются в литературе, включая работы самого Фолкарда. Однако все еще появляются публикации анкет со шкалами, оценивающими другие, нежели утренне-вечерние различия в характеристиках суточных ритмов. Чаще всего это попытка оценить амплитуду или стабильность этих ритмов (Di Milia et al., 2011; Ogińska, 2011; Randler et al., 2016). Хотя подобного рода анкеты, нацеленные на хронотипирование по нескольким шкалам, уже изначально ориентировались на применение методов психометрии для ана-

лиза их структуры и состава, попытки создать хотя бы одну шкалу для оценки иной, не фазовой индивидуальной характеристики суточного ритма пока не привели к консенсусу относительно ее содержания.

Разработка русскоязычной анкеты для оценки адаптивных возможностей цикла сна-бодрствования включала отбор из гораздо большего списка исходных высказываний (200) (Путилов, 1990). Результаты разработки были использованы для создания модели структуры индивидуальной изменчивости таких возможностей, которая оказалась трехмерной и, с формальной точки зрения, аналогичной структуре личностных черт (Putilov, 2007, 2010, 2016, 2018a). Выявление этой структуры, в частности, позволило предсказать отсутствие в первоначальных вариантах анкеты (Путилов, 1990; Putilov, 2000) одной шкалы, которая была добавлена в окончательный вариант анкеты и затем валидизирована в эксперименте по депривации сна (Putilov, 2007, 2010; Putilov et al., 2017; Verevkin et al., 2008).

Интересная анкета была разработана под руководством Оливера Мэра (Olivier Mairesse). Она содержит 19 вопросов об уровне сонливости в 19 моментов времени, расположенных в интервале непрерывного бодрствования с 8 ч утра до середины следующего дня (Marcoen et al., 2015). Факторный анализ структуры этой анкеты подтвердил предсказание модели структуры индивидуальной изменчивости адаптивных возможностей цикла сна-бодрствования (Putilov, 2016) о возможности выделения на протяжении обычного интервала бодрствования (с утра до ночи) трех сравнительно независимых друг от друга интервалов – утреннего, дневного и вечерно-ночного. На каждом интервале уровень у любого человека может меняться от низкого до высокого. Соответственно, потребовалось расширить классификацию хронотипов до шести, вместо общепринятого деления на утренний и вечерний хронотипы. Было показано, что 95% опрошенных людей способны отнести себя к одному из таких шести типов, объединенных в три оппонирующие друг другу пары: “утренний” и “вечерний” типы (падение или нарастание активности к вечеру), “высокоактивный” и “умеренно активный” типы (стабильно высокий или стабильно низкий уровень активности), “дневной” и “сонливый днем” типы (пик или спад активности в послеобеденное время). Оказалось,

что частота любого из таких типов в популяции превышает 0.05 (Putilov et al., 2021).

Хотя все последние годы число публикаций по хронопсихологической изменчивости стремительно возрастало, в самое ближайшее время следует ожидать еще более стремительного взлета количества таких публикаций, который к тому же будет сопровождаться ростом качества. Это связано с появлением новых и прогрессом появившихся немного ранее перспективных методических подходов, основанных на новых технологиях. Во-первых, появилась возможность легко организовывать крупномасштабные онлайн-опросы с помощью таких платформ, как Google. Информацию о хронотипологических особенностях можно извлекать из данных, поступающих от большого количества людей, просто изучая трафик в таких соцсетях, как Facebook. Во-вторых, появилась возможность получать большое количество данных об индивидуальных хронопсихологических особенностях путем измерения объективных показателей в бытовых условиях. Связано это с тем, что в огромных количествах на рынке появляются приборы для полисомнографии “на дому”, часы (Smartwatch) с функцией мониторинга сна, актиграфы (для мониторинга цикла активность-покой), акселерометры (для мониторинга перемещений человека) и большое количество других устройств (например (Schoedel et al., 2020)). Они позволяют объективно, а не со слов самого человека оценивать его суточную ритмичность (например (Martinez-Nicolas et al., 2019)). Соответственно, такая информация может быть собрана от очень большого количества людей, иногда даже не подозревающих о своем участии в научном исследовании.

5. Примеры интригующих тем хронопсихологических исследований

5.1. Корреляты хронотипа

Как это не парадоксально звучит, заметный рост числа публикаций по хронопсихологической изменчивости в последние годы вовсе не сопровождался столь же заметным ростом числа экспериментальных исследований по этой изменчивости. Подавляющее большинство новых публикаций содержит результаты так называемых кросс-секционных (перекрестных) анкетных исследований и нацелено на поиск связи хронотипа с чем-нибудь еще. Такие исследования не требуют

двух- или многократного, многодневного в них участия одного и того же человека, при таком однократном участии нет нужды находиться в специально оборудованных для изучения сна и биоритмов помещениях и не требуется измерять объективные показатели с помощью дорогостоящих методов и оборудования. Просто несколько сотен человек (часто студентов или пациентов авторов исследования) заполняют пару или более анкет, включая одну из известных анкет для выявления утренних и вечерних (ранних и поздних) типов. По результатам публикуется очередная статья, если не сразу несколько, о половых или возрастных различиях хронотипа и/или о его связи с чем-то еще, что, как правило, оценили с помощью другой (других) анкет.

Даже лапидарно обозреть обнаруженные подобным образом связи в этом обзоре не представляется возможным. Например, между людьми утреннего (раннего) и вечернего (позднего) типов были выявлены и половые, и возрастные различия, была обнаружена связь хронотипа с некоторыми личностными чертами, когнитивными способностями, пищевым поведением, избыточным весом, показателями здоровья, сна и сонливости, сезонностью самочувствия и настроения, депрессией и другими психопатологиями, дурными привычками и аддикциями, сексуальностью, выбором партнера, количеством потомства и т.д. и т.п. Почти всегда обнаруженная связь позволяла утверждать, что “совы”, в который раз, проявили себя не с лучшей стороны, они не заслуживают такой же похвалы, как “жаворонки”.

В качестве примера можно привести работу, удостоенную шнобелевской (иг-нобелевской) премии 2014 г. (она выдается в нескольких номинациях за достижения, которые “заставляют людей сначала расхохотаться, но потом — задуматься”). Премия в номинации “Психология” ушла к Питу Джонасону, Эми Джонс и Минне Лайонс (Peter Jonason, Amy Jones and Minna Lyons) “за накопление доказательств того, что люди, которые поздно ложатся спать, более подвержены самолюбованию, психозам и более склонны к манипулированию, чем те, кто рано встают”. Эти черты характера, которые обнаружили у “сов” чаще, чем у “жаворонков”, именуется в психологической литературе “темной триадой” и включают нарциссизм, психопатию и макиавеллизм (Jonason et al., 2014).

Не будет лишним заметить, что и данное, и большинство других подобного рода “доказательств” связи хронотипа с чем-нибудь еще означают всего лишь корреляцию, а вовсе не причинно-следственную связь. Еще важно заметить, что все эти многочисленные исследования базируются на анкетных оценках, полученных с помощью нескольких известных шкал, дифференцирующих людей на утренний (ранний) и вечерний (поздний) типы (краткий обзор таких результатов можно найти в (Adan et al., 2013; Levandovski et al., 2013)). В силу отсутствия общепризнанного анкетного метода для категоризации людей вдоль других измерений хронобиологической изменчивости, связь этих других измерений с возрастом, полом и множеством самых разных индивидуальных особенностей человека остается малоизученной. Есть основания полагать, что, если бы такие связи исследовались так же интенсивно, как и связи с утренне-вечерними (ранне-поздними) различиями, то число достоверных связей, достойных публикации, оказалось бы не меньшим. По крайней мере, такой вывод можно сделать из попытки оценить степень связи между трехмерными структурами индивидуальной изменчивости в психологии личности (структура личностных черт) и хронопсихологии (структура адаптивных возможностей цикла сон-бодрствование). Оказалось, что оценки индивидуальной вариации в одной области предсказывают до 10% индивидуальной вариации в другой области (Putilov et al., 2013). Наконец, важно заметить, что результаты анкетных исследований могут не полностью воспроизводиться или даже противоречить друг другу из-за того, что разные анкеты оценивают несколько разные утренне-вечерние черты или способности или состояния. В частности, связь хронотипа с какой-либо иной индивидуальной характеристикой оказывается слабой или не выявляется вовсе из-за того, что она свойственна только для одного, например, вечернего компонента утренне-вечернего предпочтения или, наоборот, для его другого, утреннего компонента (Booker et al., 1991; Плюснин, Путилов, 1990; Dorokhov et al., 2018; Putilov, 2018b).

5.2. Эволюционная психология и генетика хронотипологических различий

Заслуживают особого внимания вопросы о том, насколько важны наследственные (гене-

тические) основы индивидуальной хронобиологической изменчивости и о ее эволюционном происхождении. В том, что такая изменчивость была изначально свойственна людям и проявлялась всякий раз в подходящих для этого условиях, можно убедиться из биографий Юлия Цезаря и первых 11 цезарей, составленных Светонием (Путилов, 1997). Поскольку 99% от всего временного промежутка эволюционной истории нашего вида люди оставались охотниками-собираателями и большую часть от этого времени они не покидали Африки, резонно задать вопрос о селективных преимуществах, которые могли иметь “совы” перед “жаворонками” в тех условиях, т.е. неподалеку от экватора, когда, например, темное время суток начинается в 6 ч вечера и заканчивается в 6 ч утра (при том, что, оказавшись в темноте, человек, как известно, становится абсолютно беспомощным). Было выдвинуто несколько объяснений, предполагающих определенные селективные преимущества “сов” (Kanazawa, Perina, 2009; Piffer, 2010; Randler et al., 2012; Jonason et al., 2013; Putilov, 2014b; Samson et al., 2017), эмпирически поддержать которые, как и другие объяснения, развиваемые в рамках эволюционно-психологического подхода к пониманию психологических явлений, представляется сложной задачей.

Некоторые из таких объяснений предполагают связь между вечерним предпочтением и гипотетическим “временным токовищем”, по аналогии с пространственным токовищем, которые известны многим на примере некоторых видов птиц, таких как тетерев (Piffer, 2010; Gunawardane et al., 2011; Putilov, 2014b). В частности, причину возникновения “временного токовища” можно связать с половым разделением труда, до сих пор существующим в любом человеческом обществе (может достигать 100%). Из-за разделения трудовой деятельности в пространстве представители одного пола вряд ли имели возможность оценивать достоинства представителей другого пола (“хорошие гены” в терминологии эволюционных психологов). Например, представители женского пола не могли наблюдать искусство, проявленное представителями мужского пола при охоте на крупную и не очень крупную дичь. “Жаворонкам” такая “профессиональная” деятельность должна была даваться легче, поскольку они осуществляли ее, находясь на пике своей работоспособности (в Африке охота и другие подобные виды

наиболее активной деятельности мужчин традиционных обществ до сих пор чаще всего приурочены к утренним часам и полностью заканчиваются с наступлением полуденного зноя). Существует только один интервал на протяжении суток, когда все работы уже завершены, поскольку солнце уже зашло, но при этом температура воздуха еще близка к пиковой, так что все еще слишком жарко, чтобы можно было быстро уснуть. В этот интервал времени все взрослые, независимо от пола, обычно собираются вместе вокруг костра. Видимо, если бы не появилось такое “временное токовище” у предков современного человека в процессе эволюции, то он вряд ли выработал бы в процессе эволюции целый ряд форм своего видо-специфического поведения, т.е. поведения, свойственного только нашему виду и не свойственного другим видам млекопитающих. Несмотря на накопленную за день усталость, “совам” должна была даваться легче, чем “жаворонкам” демонстрация таких форм видо-специфического поведения, как танцы, игра на музыкальных инструментах, пение, сочинение и декламация стихов, рассказ историй с демонстрацией умения острить, смешить, пародировать и т.д. Половой отбор должен был способствовать возникновению и развитию таких форм поведения, потому что для противоположного пола они могли бы сигнализировать “хорошие гены”, т.е. гены, которые через такое видо-специфическое поведение обнаруживают способность к развитию хороших речевых, когнитивных, двигательных, сенсорных, имитационных и прочих навыков, важных для выживания и репродукции любого человеческого общества. Половой отбор в большей мере мог благоприятствовать тем, кто продемонстрировал такое поведение на пике работоспособности, уже после захода солнца, т.е. “совам”, а не “жаворонкам” (Putilov, 2014b). Впрочем, в наши дни “токовище” не сильно изменилась, поскольку люди по большей части продолжают социализироваться во время отдыха после рабочего/учебного дня, т.е. в основном в вечерние и ранне-ночные часы.

Не исключено, что после исхода из Африки, в ходе дальнейшего расселения человека по территории Евразии в регионах с существенными сезонными изменениями длины дня (фотопериода) отбор стал еще больше благоприятствовать “совам”. Во всяком случае, частота “сов” возрастает, а частота “жа-

воронков” снижается в направлении от экватора к полюсу, как в северном (Randler, Rahafar, 2017), так и в южном полушарии (Leocadio-Miguel et al., 2017). По данным анкетирования, чаще “совами” оказываются жители США, чьи предки переселились из Европы, а не те, чьих предков переселили из экваториальной Африки (Eastman et al., 2016; Malone et al., 2017)). Период циркадианного ритма у первых оказывается длиннее, чем у вторых в различных экспериментальных условиях (Eastman et al., 2012; Eastman et al., 2016, 2017; Paech et al., 2017). Мы проанализировали географическую вариацию в частоте аллелей из 26 наборов генов (в общей сложности 23 тыс. полиморфных вариантов). Генетические подписи широтно-зависимой адаптации были обнаружены в тех полиморфизмах, которые ранее обнаружили связь с хронотипом (Putilov et al., 2018; Putilov et al., 2019). Интересно, что вскоре после “исхода” из Африки один из таких вариантов (аллель С в маркере под названием rs75804782, вблизи гена *ASB1*) был позаимствован от обитавшего тогда севернее родственника человека современного вида – неандертальца. В результате скрещивания между двумя подвидами *Homo sapiens*, у “понабежавших” обнаружена интрогрессия участка генома, принадлежавшего некогда коренному жителю Евразии (Dannemann, Kelso, 2017). Местоположение интрогрессии вблизи одного из трех генов *PER* позволяет предположить, что, вероятнее всего, какой-нибудь фрагмент этого участка вовлечен в регуляцию экспрессии этого гена (Dannemann, Kelso, 2017; Putilov et al., 2019).

Исследования в области генетики поведения свидетельствуют о связи предрасположенности к ночному образу жизни с генетическим компонентом хронобиологических различий (Hur et al., 1998; Hur, 2007; Koskenvuo et al., 2007; Watson et al., 2013). Однако все попытки обнаружить полиморфизмы-маркеры хронотипа привели к тому же результату, что и аналогичные попытки найти генетические маркеры других комплексных количественных черт. Такие черты зависят от огромного числа генетических вариантов. Их формирует полигенный отбор и ключевым свойством адаптации, управляемой таким отбором, являются весьма незначительные сдвиги в частоте аллелей, распределенных по огромному количеству генов и межгенных интервалов (Pritchard, Di Rienzo, 2010)). Поэтому обнаружить такие сдвиги – задача не из

легких (Daub et al., 2013). Практически все гены, экспрессируемые в клетке, могут влиять на функции генов, связанных с основным признаком. Следовательно, большая часть наследственности может быть объяснена воздействием на гены вне основных путей формирования генетической основы этого признака (Boyle et al., 2017).

Исследование генетического базиса хронотипа пока еще заметно отстает от исследований по выявлению генов, ответственных за некоторые другие сложные количественные признаки, и потому оно последовательно, шаг за шагом повторяет все этапы, пройденные наиболее “продвинутыми” молекулярно-генетическими исследованиями. Сначала появились работы, связывающие хронотип с редкой мутацией (например, в одном из “часовых” генов (Toh et al., 2001)). Эффект такой мутации очень сильный, но поскольку она встречается крайне редко, то лишь такой мутацией нельзя объяснить, почему вокруг нас так много других людей оказывается либо “совами”, либо “жаворонками”, не являясь носителями этой редкой мутации или других столь же редких мутаций в “часовых” или каких-либо иных генах. (Не исключено, однако, существование многих и разных, пока неизвестных редких мутаций, рассыпанных по всему геному (Wainshtein et al., 2019)).

Затем начали появляться публикации по какому-то одному из полиморфизмов одного из “часовых” генов. Например, в английской популяции различия по хронотипу обнаружены у людей с короткой или длинной tandemно повторяющейся нуклеотидной последовательностью (VNTR) в одном из генов *PER* (маркер rs57875989) (Archer et al., 2003). Когда в течение нескольких последующих лет набралось большое количество публикаций результатов проверочных исследований, то выяснилось, что радость была преждевременной. Хотя связь иногда была статистически достоверной, но она в том числе могла оказаться противоположной ранее открытой. В подавляющем же большинстве проверочных исследований никакой связи не обнаружилось (Putilov et al., 2019). Примерно такие же результаты были получены и по всем другим хорошо изученным отдельным полиморфизмам в разных “часовых” генах (Dorokhov et al., 2018). Затем, в 2016–2019 гг., были опубликованы четыре статьи по полногеномному поиску ассоциаций (GWAS) хронотипа (последняя, основанная на самой большой выбор-

ке: (Jones et al., 2019)). Все они использовали данные из биобанка, собираемого в Великобритании от коренных жителей королевства. Целый ряд генетических вариантов, ассоциированных с хронотипом, был назван либо в двух, либо в большей части этих четырех публикаций. Однако по результатам недавно опубликованной работы по GWAS хронотипа, выполненной в финской популяции (Maukonen et al., 2020), ни один из вариантов, найденных в последней из британских работ, не был обнаружен (несмотря на то, что был проверен в общей сложности 7741 ранее ассоциированный генетический вариант).

Поэтому еще не скоро наступит то благодатное время, когда конкретный человек сможет получить оценку своего хронотипа не заполняя анкету, а по результатам подсчета суммы прочитанных в его геноме генетических вариантов.

5.3. Социальный десинхронизм и короткий сон по будням

Ежедневно световой режим слегка корректирует период циркадианного пейсмейкера, и вслед за пейсмейкером все прочие циркадианные ритмы организма “вовлекаются” 24-часовым режимом свет-темнота в сферу его влияния. Освещение перед сном сдвигает фазу пейсмейкера на несколько более позднее время, но затем на следующее утро световое воздействие в конце или после сна компенсирует этот сдвиг. В результате в условиях естественного чередования дня и ночи у подавляющего числа людей циркадианные ритмы практически постоянно остаются 24-часовыми, а не “свободнотекущими” (Roenneberg et al., 2003). Когда человек днем проводит много времени вне помещений, где уровень освещения превышает 2.5–100 тыс. люкс, а потом вечером пользуется слабым искусственным освещением перед сном (примерно 100 люкс), это практически не нарушает 24-часовую периодичность его физиологических и гормональных функций. Однако многие проводят весь день в помещениях при освещении, редко превышающем 500 люкс. Они вечером пользуются перед сном все тем же искусственным освещением слабой интенсивности, а утром долго спят в затемненном помещении (если глаза закрыты, то, естественно, и света через них поступает меньше). Хронобиология позволяет предсказать, что их биологические часы будут показывать иное время, не-

жели часы того человека, который не изолирует себя на весь день в помещении. По сути дела, их режим освещения аномален, а потому нередко вызывает запаздывающий сдвиг фазы пейсмейкера вечером из-за слабого контраста между тусклым дневным и тусклым же вечерним освещением, но затем полноценной компенсации утренним опережающим сдвигом уже не происходит из-за слабого и запоздалого утреннего освещения. В лучшем случае, как показывают опросы, результатом жизни при таком по сути дела неестественном освещении оказывается запаздывание фазы сна, очевидное у обитателей крупных городов (Roenneberg et al., 2007). Причем, чем меньше дневное освещение за счет длительного пребывания в помещении, тем сильнее такое запаздывание.

В худшем же случае фаза и период циркадианных ритмов будут демонстрировать “свободное течение”. Поскольку у большинства людей собственный период циркадианных часов несколько длиннее 24 ч, то, как правило, фаза этих “детей подземелья” и “каменных джунглей” дрейфует изо дня в день в сторону запаздывания. Подобного рода явления, когда фазы одних циркадианных ритмов организма сдвигаются относительно фаз других ритмов, получило в англоязычной литературе название “jet lag” (“реактивное отставание”). По предложению Бориса Сергеевича Алякринского (1911–1990), термин переводится на русский словом “десинхроноз” (Алякринский, 1973, 1983). Понятие “jet lag” появилось в англоязычной литературе на заре реактивной авиации в связи с попыткой объяснить неприятные для жизнедеятельности человека последствия перелетов через несколько часовых поясов. Хотя пейсмейкер способен сразу же сдвинуть свою фазу и правильно показывать время нового часового пояса, многие прочие часы организма не в силах поспеть за таким стремительным сдвигом. В результате того, что разные периодические процессы с разной скоростью подстраиваются под новое время (одни быстро, а другим требуется более месяца), часы на периферии все это время “тикают” вразнобой. Так что, по крайней мере, одну неделю после перелета, особенно в восточном направлении, человек испытывает проблемы с подстройкой работы организма под местное время (Baron, Reid, 2014). Это состояние ныне диагностируется как заболевание (Cingi et al., 2018), и были разработаны рекомендации по

смягчению его симптомов и ускорению подстройки под новый световой режим (Матюхин и др., 1983; Bin et al., 2019).

В случае перелета в другой часовой пояс десинхроноз возникает как временное явление, а вот посменная работа, а часто и ночная работа связаны с постоянным, регулярно обостряющимся десинхронозом. Ведь внешний световой режим и некоторые социальные указатели времени (жизнь домашних, шум в многоквартирном доме и на улице) остаются прежними, а время работы вступает во временный или постоянный конфликт с ними на протяжении рабочей недели (Saksvik et al., 2011; Voivin, Boudreau, 2014). Именно практическая задача предотвращения такого рода хронических нарушений циркадианных ритмов организма, которые, также как и классический десинхроноз, считаются заболеванием (Drake et al., 2004), была одним из лейтмотивов упомянутых выше первых исследований и рекомендаций в области оптимизации работоспособности. Поскольку диагноз был поставлен, современные исследования десинхронозов можно теперь отнести уже к сфере хрономедицинского направления хронобиологических исследований.

Сравнительно недавно, в 2006 г., Wittmann и соавт. ввели в научный обиход новый термин, “социальный десинхроноз” (social jet-lag). В литературе последних лет он упоминается гораздо чаще, чем десинхроноз в его изначальном значении. Этим термином был определен конфликт между социальными и биологическими часами, возникающий из-за общей практики сдвига времени начала рабочего или учебного дня в ранние утренние часы (Wittmann et al., 2006). Постулируется стабильность в течение недели фазы пейсмейкера, подчиненного естественному световому режиму на протяжении всей недели, и сдвиг относительно его фазы сна, которая – если измерять ее по середине времени сна – смещается взад-вперед в выходные-будние дни (Wittmann et al., 2006; Roenneberg et al., 2007). Начиная с момента ее появления, концепция социального десинхроноза, в отличие от классической концепции десинхроноза, остается довольно спекулятивной идеей. Даже авторы концепции были вынуждены недавно признать ее серьезные недостатки, но только частично и в весьма туманных выражениях (Roenneberg et al., 2019). Более того, авторы этой статьи (Roenneberg et al., 2019) сами упомянули несколько публикаций (в

частности, (Burgess, Eastman, 2006)), в которых было показано, что во время выходных фаза циркадианного пейсмейкера остается синфазной фазе сна. Эти факты никак не согласуются с постулируемой авторами концепции идеей стабильности циркадианной фазы на протяжении всей недели и еженедельных сдвигов фазы сна взад-вперед в выходные-будние дни. Более того, в диссертации одного из авторов статьи задержка фазы пейсмейкера в выходные была обнаружена у молодых людей с поздним временем сна, тогда как у молодых людей с ранней фазой сна фаза пейсмейкера оставалась неизменной (Zerbini, 2017), т.е. у них наблюдался “обычный”, а не социальный десинхроноз. Наконец, ни один из симптомов “обычного” десинхроноза не наблюдается при социальном десинхронозе (Tavares et al., 2020) и негативные эффекты социального десинхроноза на организм остаются недостаточно документированными (Beauvalet et al., 2017; Vetter, 2018).

Поскольку в огромном числе публикаций можно найти данные о времени суток, когда участники исследования ложились спать и вставали в будни и на выходных, данные по сотням выборок были симулированы с помощью упомянутой выше модели ритмостата. Симуляция не обнаружила никаких признаков ни обычного, ни социального десинхроноза в подавляющем большинстве выборок (Putilov, Verevkin, 2018; Putilov et al., 2020b). Оказалось, что то, что было названо социальным десинхронозом — это просто потеря сна в будние дни, которую можно, используя модель, рассчитать для каждой из таких выборок и в перспективе для каждого отдельного человека (Putilov et al., 2020a; Putilov et al., 2020b). Хотя в будний день время отхода ко сну сдвигается на более раннее время из-за раннего пробуждения в такой день, модель предсказывает, что из-за модулирующего влияния циркадианного пейсмейкера на процесс снижения “давления” сна сон в такой будний день, если его не прерывать на следующий день, спонтанно закончится в то же самое время, что и на выходных. Получается, что потеря сна в будни очень велика из-за его ожидаемой большей продолжительности, чем в выходные дни. Более того, в эти выходные люди вовсе не отсыпаются, а просто спят именно столько часов, сколько им “велит” спать в это время суток их собственный ритмостат (Putilov et al., 2020b).

Симуляции подтвердили, что особенно велики потери сна у старших школьников. Им приходится начинать занятия в то же самое время, что и остальным школьникам, а фаза их сна в этом возрасте значительно смещается на поздние часы как по отношению к фазе у младших школьников, так и по отношению к фазе у людей старшего возраста (Putilov, Verevkin, 2018). Например, при расчетах по данным о времени сна школьников, проживавших на Русском Севере в десятые годы нашего века, опубликованных Михаилом Фёдоровичем Борисенковым и соавт. (Borisenkov et al., 2016), обнаружилось, что потери сна составляют до трети от той его продолжительности, которая наблюдалась бы в случае их самостоятельного пробуждения в будний день (Putilov et al., 2020a). Так что не десинхроноз, а потеря сна является причиной того явления, которое было названо американскими исследователями этой хронопсихологической проблемы “эпидемией депривации сна среди подростков” (Carskadon, 2011; Crowley et al., 2014).

6. Заключение: нерешенные и дискуссионные проблемы

Хотя в последние десятилетия количество исследований хронопсихологической направленности из года в год возрастает, многие проблемы остаются нерешенными десятилетиями. Есть также проблемы, которые лишь ожидают их четкой формулировки, т.е. для подавляющего большинства исследователей, работающих в этом направлении, они остаются неосознанными. Наконец, некоторые проблемы, хоть и были кем-то когда-то сформулированы, попросту игнорируются этим большинством. Несколько примеров нерешенных и дискуссионных проблем приведено ниже, без ссылок на литературные источники, исключительно для того, чтобы обозначить их и дать некоторое общее представление об их характере, остроте и актуальности.

До сих пор остается лишь надеяться на то, что хронопсихология когда-нибудь достигнет того порога, за которым откроются перспективы достижения консенсуса относительно методики измерения индивидуальных хронопсихологических различий. В частности, на данный момент в области анкетных исследований нет общепризнанного представления о том, какими опросниками лучше всего оце-

нивать утренне-вечерние (ранне-поздние) различия, с использованием какого количества — одной или нескольких (например, утренней и вечерней) — шкал, и т.д. Тем более, нет пока больших надежд на достижение консенсуса по поводу того, сколько существует измерений хронобиологической изменчивости, как их интерпретировать и какие шкалы нужно выбрать из уже предложенных или сколько новых шкал нужно сконструировать для получения надежных анкетных оценок по каждому из измерений.

Вряд ли кто-нибудь усомнится в том, что именно психофизиологические и генетические особенности людей составляют биологические основы оцениваемых с помощью анкет различий между ними в приспособительных возможностях, поведении и привычках, связанных с цикличностью сна-бодрствования. Тем не менее главной нерешенной проблемой хронопсихологического тестирования остается отсутствие общепризнанных объективных (психофизиологических и генетических) маркеров хронопсихологической изменчивости. Иными словами, не удалось доказать, что выявляемые с помощью анкет различия можно напрямую связать с какими-либо различиями в объективных показателях, которые измеряются на молекулярном уровне или в хронобиологических и сомнологических экспериментах. Например, фазы физиологических и гормональных ритмов, фаза объективно оцененной склонности погрузиться в сон, полисомнографически оцененное время начала или окончания сна и т.д. обычно указывают на всего лишь 2–3-часовую разницу между людьми утреннего и вечернего типов, тогда как разница в их пиках работоспособности или в пиках субъективной оценки суточной динамики сонливости составляет не менее 9 ч. Поэтому такие значительные различия между пиками у этих двух хронотипов не соответствуют сравнительно небольшому, хоть и достоверному, различию пиков на кривых перечисленных объективных показателей. Хотя возможность выявить примерно такую же значительную (9–12-часовую) разницу была продемонстрирована на примере объективных (ЭЭГ) показателей вариации текущего уровня сонливости, такие показатели пока широко не применяются в хронотипологических исследованиях.

В настоящее время практически никто из исследователей не озабочен проблемой объ-

яснения механизмов, ответственных за иногда весьма разительное несоответствие между субъективными и объективными оценками хронобиологических и сомнологических различий. Даже в тех случаях, когда такое несоответствие было замечено и объяснено на уровне гипотезы, называются самые разные его причины, часто взаимоисключающие, от чисто психологических до исключительно биологических. В частности, пока нет общепринятого подхода к объяснению половых и возрастных различий в субъективных и объективных оценках качества сна и уровня сонливости. Не вызывает сомнений тот факт, что объективные (полисомнографические) характеристики сна, который люди среднего возраста оценивают как прекрасный, соответствует тем же самым характеристикам, что наблюдаются при его расстройствах в молодом возрасте. Если объективные характеристики сна женщин свидетельствуют о том, что их сон явно качественнее мужского, их субъективные оценки своего сна свидетельствуют об обратном.

Технические новинки, входящие в настоящее время в обиход хронопсихологических исследований, открыли возможность проводить менее дорогостоящие и трудоемкие (так называемые полевые) исследования в больших количествах и с привлечением большого числа людей. Они гарантируют качественное ускорение развития хронопсихологии в ближайшем десятилетии. Оно позволит быстрее и масштабнее решать практические задачи, например по разработке и внедрению теоретически обоснованных, персонализированных подходов к предотвращению и коррекции нарушений биоритмов и сна и к улучшению режима дня и уровня работоспособности.

В заключение автор выражает свою глубокую признательность двум коллегам из группы математического моделирования биомедицинских систем ФИЦ ФТМ (Новосибирск), соавторам целого ряда упомянутых в этом очерке публикаций, Ольге Георгиевне Донской и к.б.н. Евгению Георгиевичу Веревкину.

Работа над этим обзором получила поддержку РФФИ: грант № 20-113-50005 (“Камо грядеши, хронопсихология?”) по конкурсу “Экспансия”.

Acknowledgments: The reported study was funded by RFBR, project number 20-113-50005 (Quō vādīs, chronopsychology?).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Алякринский Б.С.* Десинхроноз компонент общего адаптационного синдрома. В кн.: Стресс и его патогенетические механизмы. Б.С. Алякринский (ред.). Кишинёв: Штиинца, 1973. С. 9–11.
- Алякринский Б.С.* Биологические ритмы и организация жизни человека в космосе. Проблемы космической биологии. Т. 46. М.: Наука, 1983. 248 с.
- Арсеньев Г.Н., Ткаченко О.Н., Украинцева Ю.В., Дорохов В.Б.* Прогнозирование моментов критического снижения уровня бодрствования по показателям зрительно-моторной координации. Журнал высшей нервной деятельности им. И.П. Павлова. 2014. 64 (1): 64–76.
- Базанова О.М.* Вариабельность и воспроизводимость индивидуальной частоты альфа-ритма ЭЭГ в зависимости от экспериментальных условий. Журнал высшей нервной деятельности им. И.П. Павлова. 2011. 61 (1): 102–111.
- Биологические ритмы. Ю. Ашофф (ред.). М.: Мир, 1984.
- Биологические часы. С.Э. Шноль (Пер. с англ., ред.). М.: Мир, 1964.
- Блехман И.И.* Синхронизация в природе и технике. М.: Наука, 1981.
- Дорохов В.Б.* Сомнология и безопасность профессиональной деятельности. Журнал высшей нервной деятельности им. И.П. Павлова. 2013. 63 (1): 33–33.
- Дубров А.П.* Лунные ритмы у человека (Краткий очерк по селеномедицине). М.: Медицина, 1990. 60 с.
- Ковальзон В.М.* Мозг и сон: от нейронов – к молекулам. Журнал высшей нервной деятельности им. И.П. Павлова. 2013. 63 (1): 48–60.
- Лебедева Н.Н., Каримова Е.Д.* Устойчивость паттернов ЭЭГ человека в различных задачах: проблема аутентификации личности. Журнал высшей нервной деятельности им. И.П. Павлова. 2020. 70 (1): 40–49.
- Матюхин В.А., Путилов А.А., Ежов С.Н.* Рекомендации по прогнозированию и профилактике десинхронозов (хронофизиологические аспекты географических перемещений). Новосибирск, 1983. 51 с.
- Плюснин Ю.М., Путилов А.А.* Биоритмологические корреляты личностных черт. Психологич. ж. 1990. 11 (6): 47–50.
- Путилов А.А.* Системообразующая функция синхронизации в живой природе. Новосибирск: Наука, 1987. 145 с.
- Путилов А.А.* Текст анкеты для самооценки индивидуальных особенностей цикла сон-бодрствование. Бюлл. Сиб. от-ния АМН СССР. 1990, 1: 22–25.
- Путилов А.А.* Совы, жаворонки и другие: о наших внутренних часах и о том, как они влияют на здоровье и характер. Новосибирск: Изд-во Новосибир. ун-та; М.: Совершенство, 1997. 264 с.
- Путилов А.А.* Очерк истории и современного состояния экспериментальных исследований биоритмов: от наблюдений за движением листьев до экспериментов по принуждению к десинхронизации. В: Сборник научно-популярных статей и фотоматериалов, РФФИ, 2016, с. 187–219.
http://www.rfbr.ru/rffi/ru/popular_science_articles/o_1959340#1
- Путилов А.А.* По физиологии и медицине – Дж. Холл, М. Росбаш и М. Янг (лауреаты Нобелевской премии 2017 г.). Природа. 2018. 1 (1229): 81–88.
- Путилов А.А.* Методы самооценки хронобиологических различий. В кн.: Хронобиология и хрономедицина. С.М. Чибисов, С.И. Рапопорт, М.Л. Благоднаров (ред.). М.: РУДН, 2018, с. 369–400.
- Путилов А.А.* Хронобиология и сон. В кн.: Сомнология и медицина сна: Национальное руководство памяти А.М. Вейна и Я.И. Левина. М.Г. Полуэктов (ред.), 2-е изд. М.: ООО “Медконгресс”, 2020, с. 235–265.
- Achermann P., Borbély A.A.* Simulation of daytime vigilance by the additive interaction of a homeostatic and a circadian process. Biol Cybern. 1994. 71 (2): 115–21.
- Adan A., Archer S.N., Hidalgo M.P., Di Milia L., Natale V., Randler C.* Circadian typology: a comprehensive review. Chronobiol. Int. 2012. 299: 1153–1175.
- Aeschbach D., Borbély A.A.* All-night dynamics of the human sleep EEG. J. Sleep Res. 1993. 2: 70–81.
- Akerstedt T., Folkard S.* The three-process model of alertness and its extension to performance, sleep latency, and sleep length. Chronobiol. Int. 1997. 14: 115–123.
- Åkerstedt T., Torsvall L.* Shift work: shift-dependent well-being and individual differences. Ergonomics 1981. 24 (4): 265–273.
- Aschoff J.* (Ed.). Biological Rhythms (Handbook of Behavioral Neurobiology, Vol. 4). Plenum: New York, 1981.
- Aschoff J.* Circadian rhythms in man. Science. 1965. 148 (3676): 1427–32.
- Aschoff J., Gerecke U., Wever R.* Desynchronization of human circadian rhythms. Jpn. J. Physiol. 1967. 17 (4): 450–457.
- Aschoff J., von Goetz C.* Masking of circadian activity rhythms in hamsters by darkness. J. Comp. Physiol A. 1988. 162 (4): 559–562.
- Bargiello T.A., Jackson F.R., Young M.W.* Restoration of circadian behavioural rhythms by gene transfer in Drosophila. Nature 1984. 312: 752–754.
- Baron K.G., Reid K.J.* Circadian misalignment and health. Int. Rev. Psychiatry 2014. 26: 139–154.
- Bhatti P., Mirick D.K., Davis S.* The impact of chronotype on melatonin levels among shift workers. Occup. Environ. Med. 2014. 71 (3): 195–200.

- Beauvalet J.C., Quiles C.L., de Oliveira M.A.B., Ilgenfritz C.A., Hidalgo M.P., Tonon A.C.* Social jetlag in health and behavioral research: a systematic review. *Chrono Physiol. Ther.* 2017. 7: 19–31.
- Bin Y.S., Postnova S., Cistulli P.A.* What works for jetlag? A systematic review of non-pharmacological interventions. *Sleep Med. Rev.* 2019. 43: 47–59.
- Bohle P., Tilley A.J., Brown S.* Psychometric evaluation of the Early/Late Preference Scale. *Ergonomics* 2001. 44: 887–900.
- Boivin D.B., Boudreau P.* Impacts of shift work on sleep and circadian rhythms. *Pathol. Biol. (Paris)* 2014. 62 (5): 292–301.
- Booker J.M., Hellekson C.J., Putilov A.A., Danilenko K.V.* Seasonal depression and sleep disturbances in Alaska and Siberia: a pilot study. *Arctic Med. Res.* 1991. 50 (Suppl. 5): 281–284.
- Borbély A.A.* A two process model of sleep regulation. *Human Neurobiol.* 1982. 1: 195–204.
- Borbély A.A., Baumann F., Brandeis D., Strauch I., Lehmann D.* Sleep deprivation: effect on sleep stages and EEG power density in man. *Electroenceph. Clin. Neurophysiol.* 1981. 51: 483–493.
- Borisenkov M.F., Tserne T.A., Panev A.S., Petrova N.B., Timonin V.D., Kolomeichuk S.N., Vinogradova I.A., Kovyazina M.S., Kosova A.L., Kasyanova O.N.* Seven-year survey of sleep timing in Russian children and adolescents: chronic 1-h forward transition of social clock is associated with increased social jetlag and winter pattern of mood seasonality. *Biol. Rhythm Res.* 2016. 48: 3–12.
- Boutrel B., Koob G.F.* What keeps us awake: the neuropharmacology of stimulants and wake-promoting medications. *Sleep* 2004. 27: 1181–1194.
- Breithaupt H., Hildebrandt G., Dohre D., Josch R., Sieber U., Werner M.* Tolerance to shift of sleep, as related to the individual's circadian phase position. *Ergonomics* 1978. 21: 767–774.
- Burgess H.J., Eastman C.I.* A late wake time phase delays the human dimlight melatonin rhythm. *Neurosci. Lett.* 2006. 395, 191–195.
- Chang A.M., Scheer F.A., Czeisler C.A.* The human circadian system adapts to prior photic history. *J. Physiol.* 2011. 589 (Pt 5): 1095–102.
- Carskadon M.A.* Sleep in adolescents: the perfect storm. *Pediatr. Clin. N. Am.* 2011. 58: 637–647.
- Chua E.C., Yeo S.C., Lee I.T., Tan L.C., Lau P., Tan S.S., Ho Mien I., Gooley J.J.* Individual differences in physiologic measures are stable across repeated exposures to total sleep deprivation. *Physiol. Rep.* 2014. 2 (9): e12129.
- Cingi C., Emre I.E., Muluk N.B.* Jetlag related sleep problems and their management: a review. *Travel. Med. Infect. Dis.* 2018. 24: 59–64.
- Comas M., Beersma D.G., Spoelstra K., Daan S.* Circadian response reduction in light and response restoration in darkness: a “skeleton” light pulse PRC study in mice (*Mus musculus*). *J. Biol. Rhythms* 2007. 22 (5): 432–444.
- Costa G., Lievore F., Casaletti G., Gaffuri E., Folkard S.* Circadian characteristics influencing interindividual differences in tolerance and adjustment to shiftwork. *Ergonomics* 1989. 32: 373–385.
- Crowley S.J., Van Reen E., LeBourgeois M.K., Acebo C., Tarokh L., Seifer R., Barker D.H., Carskadon M.A.* A longitudinal assessment of sleep timing, circadian phase, and phase angle of entrainment across human adolescence. *PLoS One* 2014. 9 (11): e112199.
- Crumbley C., Wang Y., Kojetin D.J., Burris T.P.* Characterization of the core mammalian clock component, NPAS2, as a REV-ERBalpha/RORalpha target gene. *J. Biol. Chem.* 2010. 285 (46): 35386–35392.
- Czeisler C.A., Brown E.N., Ronda J.M., Kronauer R.E., Richardson G.S., Freitag W.O.* A clinical method to assess the endogenous circadian phase (ECP) of the deep circadian oscillator in man. *Sleep Res.* 1985. 14: 295.
- Czeisler C.A., Duffy J.F., Shanahan T.L., Brown E.N., Mitchell J.F., Rimmer D.W., Ronda J.M., Silva E.J., Allan J.S., Emens J.S., Dijk D.J., Kronauer R.E.* Stability, precision, and near-24-hour period of the human circadian pacemaker. *Science* 1999. 284 (5423): 2177–2181.
- Daan S.* The Colin S. Pittendrigh Lecture. Colin Pittendrigh, Jürgen Aschoff, and the natural entrainment of circadian systems. *J. Biol. Rhythms.* 2000. 15 (3): 195–207.
- Daan S., Beersma D.G.M., Borbély A.A.* Timing of human sleep: Recovery process gated by a circadian pacemaker. *Am. J. Physiol. Regulatory Integrative Comp. Physiol.* 1984; 246: R161–R178.
- Danilenko K.V., Cajochen C., Wirz-Justice A.* Is sleep per se a zeitgeber in humans? *J. Biol. Rhythms.* 2003. 18 (2): 170–178.
- Dannemann M., Kelso J.* The contribution of Neanderthals to phenotypic variation in modern humans. *Am. J. Hum. Genet.* 2017. 101: 578–589.
- Daub J.T., Hofer T., Cutivet E., Dupanloup I., Quintana-Murci L., Robinson-Rechavi M., Excoffier L.* Evidence for polygenic adaptation to pathogens in the human genome. *Mol. Biol. Evol.* 2013. 30 (7): 1544–1558.
- Dennis L.E., Wohl R.J., Selame L.A., Goel N.* Healthy adults display long-term trait-like neurobehavioral resilience and vulnerability to sleep loss. *Sci. Rep.* 2017. 7 (1): 14889.
- Dijk D.J., Beersma D.G.M., Daan S.* EEG power density during nap sleep: reflection of an hourglass measuring the duration of prior wakefulness. *J. Biol. Rhythms* 1987. 2: 207–219.
- Dijk D.J., Brunner D.P., Borbély A.A.* Time course of EEG power density during long sleep in humans. *Am. J. Physiol. Regulatory Integrative Comp. Physiol.* 1990. 258: R650–R661.
- Dijk D.J., Czeisler C.A.* Contribution of the circadian pacemaker and the sleep homeostat to sleep propensity, sleep structure, electroencephalographic

- slow waves, and sleep spindle activity in humans. *J. Neurosci.* 1995. 15: 3526–3538.
- Dijk D.J., Duffy J.F., Czeisler C.A.* Circadian and sleep/wake dependent aspects of subjective alertness and cognitive performance. *J. Sleep Res.* 1992. 1: 112–7.
- Di Milia L., Folkard S., Hill J., Walker C. Jr.* A psychometric assessment of the Circadian Amplitude and Phase Scale. *Chronobiol. Int.* 2011. 28: 81–87.
- Di Milia L., Adan A., Natale V., Randler C.* Reviewing the psychometric properties of contemporary circadian typology measures. *Chronobiol. Int.* 2013. 30: 1261–1271.
- Dinges D.F.* An overview of sleepiness and accidents. *J. Sleep Res.* 1995. 4 (Suppl. 2): 4–14.
- Dorokhov V.B., Puchkova A.N., Taranov A.O., Slominsky P.A., Tupitsina A.V., Vavilin V.A., Ivanov I.D., Nechunaev V.V., Kolomeichuk S.N., Morozov A.V., Budkevich E.V., Budkevich R.O., Dementrienko V.V., Sveshnikov D.S., Donskaya O.G., Putilov A.A.* An hour in the morning is worth two in the evening: association of morning component of morningness-eveningness with single nucleotide polymorphisms in circadian clock genes. *Biol. Rhythm Res.*, 2018. 49 (4): 622–642.
- Drake C.L., Roehrs T., Richardson G., Walsh J.K., Roth T.* Shift work sleep disorder: prevalence and consequences beyond that of symptomatic day workers. *Sleep* 2004. 27 (8): 1453–1462.
- Eastman C.I., Molina T.A., Dziejak M.E., Smith M.R.* Blacks (African Americans) have shorter free-running circadian periods than whites (Caucasian Americans). *Chronobiol. Int.* 2012. 29: 1072–1077.
- Eastman C.I., Tomaka V.A., Crowley S.J.* Circadian rhythms of European and African-Americans after a large delay of sleep as in jet lag and night work. *Sci. Rep.* 2016. 6: 36716.
- Eastman C.I., Tomaka V.A., Crowley S.J.* Sex and ancestry determine the free-running circadian period. *J. Sleep Res.* 2017. 26 (5): 547–550.
- Edgar D.M., Dement W.C., Fuller C.A.* Effect of SCN lesions on sleep in squirrel monkeys: evidence for opponent processes in sleep-wake regulation. *J. Neurosci.* 1993. 13: 1065–1079.
- Englund C.E.* Human chronopsychology: an autorhythmometric study of circadian periodicity in learning, mood and task performance. Dissertation, U.S. International University, San Diego (Calif), 1979.
- Finelli L.A., Baumann H., Borbely A.A., Achermann P.* Dual electroencephalogram markers of human sleep homeostasis: correlation between theta activity in waking and slow-wave activity in sleep. *Neurosci.* 2000; 101: 523–529.
- Folkard S.* Chronopsychology: implications for education. *Chronobiologia* 1977. 4: III.
- Folkard S., Hume K.I., Minors D.S., Waterhouse J.M., Watson F.L.* Independence of the circadian rhythm in alertness from the sleep/wake cycle. *Nature* 1985. 313 (6004): 678–679.
- Folkard S., Monk T.H.* Chronopsychology: circadian rhythms and human performance. In: Attention and performance. *Gale A, Edwards JA* (eds). Academic, New York, 1983, pp. 57–78.
- Fulcher B.D., Phillips A.J., Postnova S., Robinson P.A.* A physiologically based model of orexinergic stabilization of sleep and wake. *PLoS One.* 2014. 9 (3): e91982.
- Furr R.M., Bacharach V.* Psychometrics: an introduction. 3rd ed. New York: SAGE Publication, 2017.
- Goodwin B.* Oscillatory behavior in enzymatic control processes. *Adv. Enzym. Regul.* 1965. 3: 425–428.
- Gunawardane K.G.C., Custance D.M., Piffer D.* Evidence of sexual selection for evening orientation in human males: a cross cultural study in Italy and Sri Lanka, *IBC* 2011. 3 (13): 1–8.
- Halberg F.* Chronobiology. *Ann. Rev. Physiol.* 1969. 31: 675–725.
- Halberg F.* More on educative chronobiology, health and the computer. *Int. J. Chronobiol.* 1974; 2 (1): 87–105.
- Halberg F., Stephens A.N.* Susceptibility to ouabain and physiologic circadian periodicity. *Proc. Minnesota Acad. Sci.* 1959. 27: 139–143.
- Hardin P.E., Hall J.C., Rosbash M.* Feedback of the *Drosophila* period gene product on circadian cycling of its messenger RNA levels. *Nature* 1990. 343 (6258): 536–540.
- Härmä M., Ilmarinen J., Knauth P.* Physical fitness and other individual factors relating to the shift-work tolerance of women. *Chronobiol. Int.* 1988. 54: 417–424.
- Horne J.A., Östberg O.* A self-assessment questionnaire to determine morningness-eveningness in human circadian rhythms. *Int. J. Chronobiol.* 1976. 4: 97–110.
- Horne J., Östberg O.* Individual differences in human circadian rhythms. *Biol. Psychol.* 1977. 5 (3): 179–190.
- Hur Y.-M.* Stability of genetic influence on morningness-eveningness: a cross-sectional examination of South Korean twins from preadolescence to young adulthood. *J. Sleep Res.* 2007. 16: 17–23.
- Hur Y.M., Bouchard T.J., Jr, Lykken D.T.* Genetic and environmental influence on morningness-eveningness. *Pers. Individ. Diff.* 1998. 25: 917–925.
- Jewett M.E., Kronauer R.E.* Interactive mathematical models of subjective alertness and cognitive throughput in humans. *J. Biol. Rhythms* 1999. 14 (6): 588–597.
- Johnson M.P., Duffy J.F., Dijk D.J., Ronda J.M., Dyal C.M., Czeisler C.A.* Short-term memory, alertness and performance: a reappraisal of their relationship to body temperature. *J. Sleep Res.* 1992. 1: 24–29.
- Jonason P.K., Jones A., Lyons M.* Creatures of the night: Chronotypes and the Dark Triad traits. *Person. Individ. Diff.* 2013. 55: 538–541.

- Kanazawa S., Perina K.* Why night owls are more intelligent. *Person. Individ. Diff.* 2009. 47: 685–690.
- Kerkhof G.A.* Inter-individual differences in the human circadian system: A review. *Biol. Psychology* 1985. 20: 83–112.
- Kleitman N.* Sleep and wakefulness (2nd edition, 1939 – 1st edition). Chicago: The University of Chicago Press, 1962.
- Konopka R.J., Benzer S.* Clock Mutants of *Drosophila melanogaster*. *Proc. Nat. Acad. Sci.* 1971. 68 (9): 2112–2116.
- Koskenvuo M., Hublin C., Partinen M., Heikkilä K., Kaprio J.* Heritability of diurnal type: a nationwide study of 8753 adult twin pairs. *J. Sleep Res.* 2007. 16: 156–162.
- Larsen R.L.* Individual differences in circadian activity rhythm and personality. *Person. Individ. Diff.* 1985. 6: 305–311.
- Lazar A.S., Lazar Z.I., Dijk D.J.* Circadian regulation of slow waves in human sleep: Topographical aspects. *Neuroimage* 2015. 116: 123–134.
- Leger D.* The cost of sleep-related accidents: a report for the National Commission of Sleep Disorders Research. *Sleep* 1994. 17: 84–93.
- Leocadio-Miguel M.A., Louzada F.M., Duarte L.L., Areas R.P., Alam M., Freire M.V., Fontenele-Araujo J., Menna-Barreto L., Pedrazzoli M.* Latitudinal cline of chronotype. *Sci. Rep.* 2017. 7 (1): 5437.
- Leproult R., Colecchia E.F., Berardi A.M., Stickgold R., Kosslyn S.M., Van Cauter E.* Individual differences in subjective and objective alertness during sleep deprivation are stable and unrelated. *Am. J. Physiol. Regulat. Integrat. Comp. Physiol.* 2003. 284: R280–R290.
- Leung L., Grundy A., Siemiatycki J., Arseneau J., Gilbert L., Gotlieb W.H., Provencher D.M., Aronson K.J., Koushik A.* Shift work patterns, chronotype, and epithelial ovarian cancer risk. *Cancer Epidemiol. Biomarkers Prev.* 2019/ 28 (5): 987–995.
- Levandovski R., Sasso E., Hidalgo M.P.* Chronotype: a review of the advances, limits and applicability of the main instruments used in the literature to assess human phenotype. *Trends Psychiat. Psychoth.* 2013. 35: 3–11.
- Lorenzo I., Ramos J., Arce C., Guevara M.A., Corsi-Cabrera M.* Effect of total sleep deprivation on reaction time and waking EEG activity in man. *Sleep* 1995. 18: 346–354.
- Magnus K.* Schwingungen: Eine Einführung in die theoretische Behandlung von Schwingungsproblemen. BG Teubner Verlagsgesellschaft: Stuttgart, 1976.
- Malone S.K., Patterson F., Lozano A., Hanlon A.* Differences in morning-evening type and sleep duration between Black and White adults: results from a propensity-matched UK Biobank sample. *Chronobiol. Int.* 2017. 34: 740–752.
- Marcoen N., Vandekerckhove M., Neu D., Pattyn N., Mairesse O.* Individual differences in subjective circadian flexibility. *Chronobiol. Int.* 2015. 32: 1246–1253.
- Martinez-Nicolas A., Martinez-Madrid M.J., Almada-Pagan P.F., Bonmati-Carrion M.-A., Madrid J.A., Rol M.A.* Assessing chronotypes by ambulatory circadian monitoring. *Front. Physiol.* 2019. 10: 1396.
- Matousek M., Petersen I.A.* A method for assessing alertness fluctuations in vigilance and the EEG spectrum. *Electroencephalogr. Clin. Neurophysiol.* 1983. 55: 108–113.
- Maukonen M., Havulinna A.S., Männistö S., Kanerva N., Salomaa V., Partonen T.* Genetic associations of chronotype in the Finnish general population. *J. Biol. Rhythms* 2020. 35 (5): 501–511.
- Mitler M.M., Carskadon M.A., Czeisler C.A., Dement W.C., Dinges D.F., Graeber R.C.* Catastrophes, sleep, and public policy: consensus report. *Sleep* 1988. 11: 100–109.
- Monk T.H., Kupfer, D.J.* Which aspects of morningness-eveningness change with age? *J. Biol. Rhythm* 2007. 22: 278–280.
- Moog R., Hildebrandt G.* Adaptation to shift work – experimental approaches with reduced masking effects. *Chronobiol. Int.* 1989. 6: 65–75.
- Moore R.Y., Eichler V.B.* Loss of a circadian adrenal corticosterone rhythm following suprachiasmatic lesions in the rat. *Brain Res.* 1972. 42 (1): 201–206.
- Naitoh P.* Chronopsychological approach for optimizing human performance. In: F.M. Brown, R.C. Graeber (Eds.), *Rhythmic Aspects of Behavior*. Hillsdale, NJ: Erlbaum, 1982, pp. 41–104.
- Neubauer A.C.* Psychometric comparison of two circadian rhythm questionnaires and their relationship with personality. *Person. Individ. Diff.* 1992. 13: 125–131.
- Ogińska H.* Can you feel the rhythm? A short questionnaire to describe two dimensions of chronotype. *Person. Individ. Diff.* 2011. 50: 1039–1043.
- Oken B.S., Salinsky M.* Alertness and attention: basic science and electrophysiologic correlates. *J. Clin Neurophysiol.* 1992. 9: 480–494.
- Paech G.M., Crowley S.J., Fogg L.F., Eastman C.I.* Advancing the sleep/wake schedule impacts the sleep of African-Americans more than European-Americans. *PLoS One* 2017. 12 (10): e0186887.
- Partch C.L., Green C.B., Takahashi J.S.* Molecular architecture of the mammalian circadian clock. *Trends Cell. Biol.* 2014. 24: 90–99.
- Perlis M.L., Kehr E.L., Smith M.T., Andrews P.J., Orff H., Giles D.E.* Temporal and stagewise distribution of high frequency activity in patients with primary and secondary insomnia and in good sleeper control. *J. Sleep Res.* 2001. 10: 93–104.
- Piffer D.* Sleep patterns and sexual selection: an evolutionary approach. *Mankind Q.* 2010. 50 (4): 361–375.
- Pittendrigh C.S.* On temporal organization in living systems. *Harvey Lect.* 1960-1961. 56: 93–125.

- Pittendrigh C.S.* (Ed.). *Biological Clocks*: Cold Spring Harbor Symposium on Quantitative Biology. Biological Lab., Long Island Biological Ass., 1961.
- Pittendrigh C., Daan S.* The entrainment of circadian pacemakers in nocturnal rodents. IV. Entrainment: pacemaker as clock. *Am. J. Physiol. Regulatory Integrative Comp. Physiol.* 1976. 106: R291–R331.
- Pritchard J.K., Di Rienzo A.* Adaptation – not by sweeps alone. *Nat. Rev. Genet.* 2010. 11: 665–667.
- Putilov A.A.* The timing of sleep modelling: circadian modulation of the homeostatic process. *Biol. Rhythm Res.* 1995. 26: 1–19.
- Putilov A.A.* Association of the circadian phase with two morningness-eveningness scales of an enlarged version of the sleep-wake pattern assessment questionnaire. *Arbeitswissbetriebl. Praxis* 2000. 17: 317–322.
- Putilov A.A.* Introduction of the tetra-circumplex criterion for comparison of the actual and theoretical structures of the sleep-wake adaptability. *Biol. Rhythm Res.* 2007. 38: 65–84.
- Putilov A.A.* *Geometry of Individual Variation in Personality and Sleep-Wake Adaptability*. New York: Nova Science Pub. Inc. 2010. 262 p.
- Putilov A.A.* Simulation of an ultradian sleep homeostasis through fitting time courses of its EEG indicators obtained during baseline recordings of night sleep. *Biol. Rhythm Res.* 2014a. 45: 345–368.
- Putilov A.A.* What were “owls” doing in our ancestral photoperiodic environment? Chronobiological account for the evolutionary advantage of nocturnal lifestyle. *Biol. Rhythm Res.* 2014b. 45: 759–787.
- Putilov A.A.* Three-dimensional structural representation of the sleep-wake adaptability. *Chronobiol. Int.* 2016. 33 (2): 169–180.
- Putilov A.A.* Owls, larks, swifts, woodcocks and they are not alone: a historical review of methodology for multidimensional self-assessment of individual differences in sleep-wake pattern. *Chronobiol. Int.* 2017a. 34 (3): 426–437.
- Putilov A.A.* Sleep, sleepiness, and the models. In: *Proc. 9th Int. Workshop “Sleep – a window to the world of wakefulness”* 16–18 March 2017, Moscow. 2017b, p. 55–56.
- Putilov A.A.* A 3-D look at the Russian personality traits structure. *Cur. Psychol.* 2018a, 37 (3): 528–542.
- Putilov A.A.* Associations of depression and seasonality with morning-evening preference: comparison of contributions of its morning and evening components. *Psychiatry Res.* 2018b. 262: 609–617.
- Putilov A.A., Donskaya O.G.* Construction and validation of the EEG analogues of the Karolinska sleepiness scale based on the Karolinska drowsiness test. *Clin. Neurophysiol.* 2013. 124 (7): 1346–1352.
- Putilov A.A., Donskaya O.G.* Alpha attenuation soon after closing the eyes as an objective indicator of sleepiness. *Clin. Exp. Pharmacol. Physiol.* 2014. 41: 956–64.
- Putilov A.A., Donskaya O.G., Budkevich E.V., Budkevich R.O.* Reliability and external validity of the six scales of 72-item Sleep-Wake Pattern Assessment Questionnaire (SWPAQ). *Biol. Rhythm Res.* 2017. 48 (2): 275–285.
- Putilov A.A., Dorokhov V.B., Poluektov M.G.* How have our clocks evolved? Adaptive and demographic history of the out-of-African dispersal told by polymorphic loci in circadian genes. *Chronobiol. Int.* 2018. 35 (4): 511–532.
- Putilov A.A., Dorokhov V.B., Poluektov M.G.* Evening chronotype, late weekend sleep times and social jetlag as possible causes of sleep curtailment after maintaining perennial DST: ain’t they as black as they are painted? *Chronobiol. Int.* 2020a. 37: 82–100.
- Putilov A.A., Donskaya O.G., Verevkin E.G.* Phase difference between chronotypes in self-reported maximum of alertness rhythm: an EEG predictor and a model-based explanation. *J. Psychophysiol.* 2014. 28: 242–256.
- Putilov A.A., Donskaya O.G., Verevkin E.G.* How many diurnal types are there? A search for two further “bird species”. *Pers. Individ. Dif.* 2015. 72: 12–15.
- Putilov A.A., Donskaya O.G., Verevkin E.G.* Can we feel like being neither alert nor sleepy? The electroencephalographic signature of this subjective sub-state of wake state yields an accurate measure of objective sleepiness level. *Int. J. Psychophysiol.* 2019. 135: 33–43.
- Putilov A.A., Dorokhov V.B., Puchkova A.N., Arsenyev G.N., Sveshnikov D.S.* Genetic-based signatures of the latitudinal differences in chronotype. *Biol. Rhythm Res.* 2019. 50 (2): 255–271.
- Putilov A.A., Sveshnikov D.S., Puchkova A.N., Dorokhov V.B., Bakaeva Z.B., Yakunina E.B., Starshinov Y.P., Torshin V.I., Alipov N.N., Sergeeva O.V., Trutneva E.A., Lapkin M.M., Lopatskaya Z.N., Budkevich R.O., Budkevich E.V., Dyakovich M.P., Donskaya O.G., Plusnin J.M., Delwiche B., Colomb C., Neu D., Mairesse O.* Single-Item Chrono-typing (SIC), a method to self-assess diurnal types by using 6 simple charts. *Pers. Individ. Dif.* 2021. 168: Article 110353.
- Putilov A.A., Verevkin E.G.* Simulation of the ontogeny of social jet lag: a shift in just one of the parameters of a model of sleep-wake regulating process accounts for the delay of sleep phase across adolescence. *Front. Physiol.* 2018. 9: 1529.
- Putilov A.A., Verevkin E.G., Donskaya O.G.* Overall and specific relationships between inter-individual variations in personality and sleep-wake adaptability. *Biol. Rhythm Res.* 2013. 44: 287–311.
- Putilov A.A., Verevkin E.G., Donskaya O.G., Tkachenko O.N., Dorokhov V.B.* Model-based simulations of weekday and weekend sleep times self-reported by larks and owls. *Biol. Rhythm Res.* 2020b. 51 (5): 709–726.

- Randler C., Díaz-Morales J. F., Rahafar A., Vollmer C. Morningness–Eveningness and amplitude – development and validation of an improved composite scale to measure circadian preference and stability (MESSi). *Chronobiol. Int.* 2016. 33: 832–848.
- Randler C., Ebenhoh N., Fischer A., Hochel S., Schroff C., Stoll J.C., Vollmer C., Piffer D. Eveningness is related to men’s mating success. *Person. Individ. Diff.* 2012. 53 (3): 263–267.
- Randler C., Rahafar A. Latitude affects Morningness–Eveningness: evidence for the environment hypothesis based on a systematic review. *Sci. Rep.* 2017. 7: 39976.
- Roenneberg T., Daan S., Mellow M. The art of entrainment. *J. Biol. Rhythms.* 2003. 18 (3): 183–194.
- Roenneberg T., Kuehnle T., Juda M., Kantermann T., Allebrandt K., Gordijn M., Mellow M. Epidemiology of the human circadian clock. *Sleep Med. Rev.* 2007. 11 (6): 429–38.
- Roenneberg T., Kuehnle T., Pramstaller P.P., Ricken J., Havel M., Guth A., Mellow M. A marker for the end of adolescence. *Cur. Biol.* 2004. 14: R1038–R1039.
- Roenneberg T., Pilz L.K., Zerbini G., Winnebeck E.C. Chronotype and social jetlag: a (self-) critical review. *Biology (Basel)* 2019. 8 (3): 54.
- Roenneberg T., Wirz-Justice A., Mellow M. Life between clocks: daily temporal patterns of human chronotypes. *J. Biol. Rhythms* 2003. 18: 80–90.
- Saksvik I.B., Bjorvatn B., Hetland H., Sandal G.M., Pallesen S. Individual differences in tolerance to shift work – a systematic review. *Sleep Med. Rev.* 2011. 15 (4): 221–235.
- Samkoff J.S., Jacques C.H. A review of studies concerning effects of sleep deprivation and fatigue on residents' performance. *Acad. Med.* 1991. 66 (11): 687–693.
- Samson D.R., Crittenden A.N., Mabulla I.A., Mabulla A.Z., Nunn C.L. Hadza sleep biology: Evidence for flexible sleep-wake patterns in hunter-gatherers. *Am. J. Phys. Anthropol.* 2017. 162 (3): 573–582.
- Saper C.B. The neurobiology of sleep. *Continuum (Minneapolis, Minn.)*. 2013. 19 (1 Sleep Disorders): 19–31.
- Saper C.B., Chou T.C., Scammell T.E. The sleep switch: hypothalamic control of sleep and wakefulness. *Trends Neurosci.* 2001. 24: 726–731.
- Schoedel R., Pargent F., Au Q., Völkel S.T., Schuwerk T., Bühner M., Stachl C. To challenge the morning lark and the night owl: using smartphone sensing data to investigate day–night behaviour patterns. *Eur. J. Pers.* 2020. 34: 733–752.
- Sletten T.L., Segal A.Y., Flynn-Evans E.E., Lockley S.W., Rajaratnam S.M. Inter-individual differences in neurobehavioural impairment following sleep restriction are associated with circadian rhythm phase. *PLoS One* 2015. 10 (6): e0128273.
- Smith C.S., Folkard S., Schmieder R.A., Parra L.F., Spelten E., Almirall H., Sahu S., Periz L., Tisak J. Investigation of morning-evening orientation in six countries using the Preferences Scale. *Person. Individ. Diff.* 2002. 32: 949–968.
- Smith C.S., Reilly C., Midkiff K. Evaluation of three circadian rhythm questionnaires with suggestion for an improved measure of morningness. *J. Appl. Psychology* 1989. 75: 728–738.
- Staner L., Cornette F., Maurice D., Viardot G., Le Bon O., Haba J., Staner C., Luthringer R., Muzet A., Machner J.P. Sleep microstructure around sleep onset differentiates major depressive insomnia from primary insomnia. *J. Sleep Res.* 2003. 12: 319–330.
- Stephan F.K., Zucker I. Circadian rhythms in drinking behavior and locomotor activity of rats are eliminated by hypothalamic lesions. *Proc. Nat. Acad. Sci. USA* 1972. 69 (6): 1583–1586.
- Strijkstra A.M., Beersma D.G., Drayer B., Halbesma N., Daan S. Subjective sleepiness correlates negatively with global alpha (8–12 Hz) and positively with central frontal theta (4–8 Hz) frequencies in the human resting awake electroencephalogram. *Neurosci. Lett.* 2003. 340: 17–20.
- Takahashi J.S. Molecular components of the circadian clock in mammals. *Diabetes Obes. Metab.* 2015. 17 (Suppl 1): 6–11.
- Tavares P.S., Carpena M.X., Carone C.M.M., Del-Ponte B., Santos I.S., Tovo-Rodrigues L. Is social jetlag similar to travel-induced jetlag? Results of a validation study. *Chronobiol. Int.* 2020. 37 (4): 542–551.
- Tkachenko O., Dinges D.F. Interindividual variability in neurobehavioral response to sleep loss: a comprehensive review. *Neurosci. Biobehav. Rev.* 2018. 89: 29–48.
- Toh K.L., Jones C.R., He Y., Eide E.J., Hinze W.A., Virshup D.M., Ptáček L.J., Fu Y.H. An hPer2 phosphorylation site mutation in familial advanced sleep phase syndrome. *Science* 2001. 291 (5506): 1040–1043.
- Torsvall L., Åkerstedt T. A diurnal type scale: construction, consistency and validation in shift work. *Scand. J. Work Environ. Health* 1980. 6: 283–290.
- Van Dongen H.P.A. Shift work and inter-individual differences in sleep and sleepiness. *Chronobiol. Int.* 2006. 23 (6): 1139–1147.
- Verevkin E., Putilov D., Donskaya O., Putilov A. A new SWPAQ’s scale predicts the effects of sleep deprivation on segmental structure of alpha waves. *Biol. Rhythm Res.* 2008. 39 (1): 21–37.
- Vetter C. Circadian disruption: what do we actually mean? *Eur. J. Neurosci.* 2018. 1–20.
- Watson N.F., Buchwald D., Harden K.P. A twin study of genetic influences on diurnal preference and risk for alcohol use outcomes. *J. Clin. Sleep Med.* 2013. 9: 1333–1339.
- Wainschtein P., Jain D.P., Yengo L., and other 39. Recovery of trait heritability from whole genome sequence data. Preprint bioRxiv, 2019.
- Weitzman E.D., Czeisler C.A., Moore-Ede M.C. Sleep-wake neuroendocrine and body temperature cir-

- cadian rhythms under entrained and non-entrained (free running) conditions in man. *Acta Endocrinol.* 1978. 89 (Suppl.220), p. 25.
- Wendt H.W. Population, sex and constitution in typologies based on individual circadian rhythms. *J. Int. Cycle Res.* 1977. 8: 286–290.
- Wittmann M., Dinich J., Mellow M., Roenneberg T. Social jetlag: misalignment of biological and social time. *Chronobiol. Int.* 2006. 23 (1-2): 497–509.
- Wyatt J.K., Ritz-De Cecco A., Czeisler C.A., Dijk D.J. Circadian temperature and melatonin rhythms, sleep, and neurobehavioral function in humans living on a 20-h day. *Am. J. Physiol. Regul. Integr. Comp. Physiol.* 1999. 277: R1152–63.
- Zehring W.A., Wheeler D.A., Reddy P., Konopka R.J., Kyriacou C.P., Rosbash M., Hall J.C. P-element transformation with period locus DNA restores rhythmicity to mutant, arrhythmic *Drosophila melanogaster*. *Cell* 1984. 39: 369–376.
- Zerbini G. Conflicted clocks: social jetlag, entrainment and the role of chronotype: From physiology to academic performance; from students to working adults. University of Groningen; Chapter 8. Melatonin expression: winter and summer, week in and week out. (Zerbini, Roenneberg and Mellow). 2017.

QUŌ VĀDIS, CHRONOPSYCHOLOGY?

A. A. Putilov[#]

Federal Research Center for Fundamental and Translational Medicine, Novosibirsk, Russia

[#]*e-mail: putilov@ngs.ru*

This is the first review on chronopsychology, a relatively new interdisciplinary research field that is rapidly developing at the crossroads of chronobiology, sleep science, and psychology. By applying the methods of chronobiology, sleep science, and psychometry, it explores the mechanisms of rhythmicity of behavior and psychic activity. In particular, chronobiology studies the biological clocks, and sleep science explores their influence on the regulatory processes governing the sleep-wake cycle which disturbance negatively affects mental and physical activity. Chronopsychology also relies on the methods developed by personality psychologists in the framework of psychometrics, for example, in the study of chronotype and its relationship with a variety of other human characteristics – genetics, psychophysiological, behavioral, cognitive, personality and psychopathological. Special attention is devoted to sleep, sleepiness, fatigue, productivity of work/study, healthy/unhealthy lifestyles of people of different sex and age. Applied research includes the development – with taking into account the chronotype of a particular person – recommendations for getting adequate sleep and maintaining good health in a specific temporal environment, optimizing work and rest schedules, effective learning new skills, preventing accidents associated with activity at inappropriate time of the day.

Keywords: chronotypology, chronobiology, sleep science, personality, individual differences, circadian rhythms, sleep-wake regulation, drowsiness, shift work