

Н. А. Бобко, Я. В. Кудиевский

*Государственное учреждение "Институт медицины труда
НАМН Украины", 01033 Киев*

ВОЗРАСТНАЯ АДАПТАЦИЯ БИОЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ АКТИВНОСТИ ГОЛОВНОГО МОЗГА ОПЕРАТОРОВ УМСТВЕННОГО ТРУДА ПРИ СМЕННОМ РЕЖИМЕ РАБОТЫ

У 44 инженеров-электронщиков 23–60 лет автоматизированных систем управления воздушным движением трех гражданских аэропортов Украины на рабочих местах регистрировали ЭЭГ в начале и конце 12-часовых дневных и ночных смен в условиях покоя с закрытыми глазами. Ведущим частотным диапазоном ЭЭГ в возрастной адаптации биоэлектрической активности головного мозга к труду инженера-электронщика выявлен бета-ритм (13–35 Гц), изменения мощности которого переходили в фазу напряжения общего адаптационного синдрома по Г. Селье при работе в дневных сменах в группе 41–60 лет, а при работе в ночных сменах — в группе 23–40 лет, после которой переходили в фазу истощения ресурсов адаптации. При этом возрастное повышение относительной мощности бета-ритма сопровождалось компенсаторным снижением мощности ритмов ЭЭГ более низкочастотных диапазонов. С развитием утомления в течение 12-часовых рабочих смен отмечались топические изменения ЭЭГ преимущественно правосторонней локализации, ассоциирующиеся с ухудшением интегративно-синтетической деятельности мозга. Изменения левосторонней локализации отмечались только в конце ночных смен. Изменения, выявленные в течение дневных смен, согласуются с классическими коррелятами утомления. Изменения, выявленные в динамике ночных смен, можно связывать с формированием двух разных состояний — утомления (более выраженного в группе 41–69 лет) и утренней биоритмически обусловленной активации организма (более выраженной в группе 23–40 лет). В ночные смены приспособительный механизм к работе инженера-электронщика в возрасте около 40 лет, проявляющийся специфическими изменениями структуры ЭЭГ,

претерпевал переходный процесс, после которого становился наиболее физиологически дорогостоящим.

Ключевые слова: человек-оператор, возраст, суточные биоритмы, биоэлектрическая активность головного мозга, ЭЭГ, сменный труд, утомление.

Профессиональная надежность человека-оператора во многом зависит от его функционального состояния: до 90 % аварий в современных системах "человек-машина" с высокой ролью оператора происходит по вине человека [13], 70 % из которых связывают с его неадекватным текущим функциональным состоянием [11]. При умственном труде мозг является наиболее нагруженным, ведущим работающим органом и материальной основой формирования системообразующего фактора функциональной системы профессиональной деятельности [1]. Биоэлектрическая активность головного мозга объективно отражает функциональное состояние центральной нервной системы и его динамику под влиянием различных факторов, в том числе трудовой деятельности человека, возрастных изменений, позволяя, в частности, исследовать нейрофизиологические механизмы интегративной деятельности мозга [5, 9, 10, 16, 34, 43].

Одной из основных причин ошибок человека-оператора, ведущих к аварийности и травматизму на транспорте, является утомление, развивающееся под влиянием длительной или интенсивной деятельности [44]. Возраст является существенным фактором формирования утомления. Так, с возрастом утомление развивается раньше, с большей скоростью, а наступающие функциональные изменения более глубоки [25, 38]. При этом в дневные смены у лиц старшего возраста может обнаруживаться лишь более быстрое развитие утомления, тогда как в ночные — также и более раннее, и более глубокое [30, 47]. Ночные смены являются наиболее аварийно- и травмоопасными [18, 26, 41] и, в то же время, наименее изученными с позиций физиологического обеспечения профессиональной деятельности.

Цель работы — выявить особенности возрастных изменений биоэлектрической активности головного мозга у операторов умственного труда в дневные и ночные смены.

Обследуемые и методы. На рабочих местах трех гражданских аэропортов Украины с помощью компьютерной электроэнцефалографии (ЭЭГ) обследовано 44 инженера-электронщика 23–60 лет автоматизированных систем управления воздушным движением (АСУВД), которые были подразделены на 2 группы: 1 — в возрасте 23–40 лет, 2 — 41–60 лет. Рабочие смены имели 12-часовую продолжительность. Дневная (8^{00} – 20^{00}) и ночная (20^{00} – 8^{00}) смены последовательно чередовались в четырехсуточном цикле.

Регистрацию ЭЭГ проводили в течение 1 мин в начале и конце рабочих смен с помощью диагностического комплекса "Нейроком" (ХАИ-Медика, Харьков) в состоянии пассивного бодрствования в положении сидя, с закрытыми глазами. ЭЭГ регистрировали монополярно в 16

стандартных отведений (F_p , F , C , T , P , O) симметрично с обоих полушарий, по международной системе "10–20" [29], с объединенным референтным аурикулярным электродом [35]. Визуальный и программный анализ фоновой пробы записи ЭЭГ проводили в диапазоне 1–50 Гц. Для каждого отведения вычисляли среднюю спектральную мощность с использованием метода быстрого преобразования по Фурье. Анализировали значения мощности стандартных физиологических частотных диапазонов ЭЭГ: дельта (1–4 Гц), тета (4–8 Гц), альфа (8–13 Гц), бета (13–35 Гц), гамма (35–50 Гц). Фрагменты записи ЭЭГ с артефактами обрабатывали до полного исчезновения последних за счет "слепого" разделения очагов сигналов (*Blind Source Separation*) согласно технологии *Independent Component Analysis* [22], а при невозможности обработки исключали из дальнейшего анализа.

Данные обрабатывали с использованием стандартных пакетов компьютерных программ статистической обработки данных (*Ms Excel 2003*, *Statistica 6.0*). Абсолютную мощность 5 стандартных частотных диапазонов ЭЭГ пересчитывали в относительные величины, при этом за 100 % принимали суммарную мощность колебаний всех диапазонов. Для исследования динамики связи изучаемых показателей с возрастом обследованных в период рабочих смен и суток использован корреляционный анализ по Пирсону, метод линейной и полиномиальной аппроксимации. Анализ данных проведен на уровне статистической значимости $P < 0,05$ — как достоверной и $0,05 < P < 0,1$ — как тенденции.

Результаты и их обсуждение. По среднегрупповым данным младшей и старшей возрастных групп, в дневные и в ночные смены, а также в начале и в конце рабочих смен выявлено преобладание относительной мощности альфа-ритма по сравнению с другими диапазонами ($P < 0,05$) (рис. 1), что соответствует наиболее распространенному типу частотного спектра фоновой ЭЭГ бодрствования [3, 9]. Второе место по мощности занимал бета-ритм. Различия относительной мощности колебаний альфа- и бета-ритмов достоверны ($P < 0,05$). Третье и четвертое места по шкале относительной мощности разделили тета- и гамма-ритмы, относительная мощность которых статистически не различается, но при этом достоверно меньше, чем бета-ритма ($P < 0,05$). Менее других была выражена относительная мощность дельта-ритма ($P < 0,05$ по сравнению с любым другим ритмом). Небольшие стандартные ошибки средних отражают небольшие межиндивидуальные различия операторов по структуре мощности пяти частотных диапазонов ЭЭГ.

В начале и конце дневных 12-часовых смен наблюдалась достоверная положительная корреляция возраста с мощностью бета-ритма (рис. 2). Кроме этого, в конце дневных смен появлялась достоверная отрицательная корреляция возраста с мощностью тета-ритма и тенденция к отрицательной корреляции с мощностью дельта-ритма.

В начале ночных смен статистически значимая возрастзависимая корреляция мощности общего спектра ЭЭГ не выявлена. В конце ночных смен выявлена тенденция увеличения мощности бета-ритма (аналогично дневным сменам) и снижения альфа-ритма (в отличие от дневных смен).

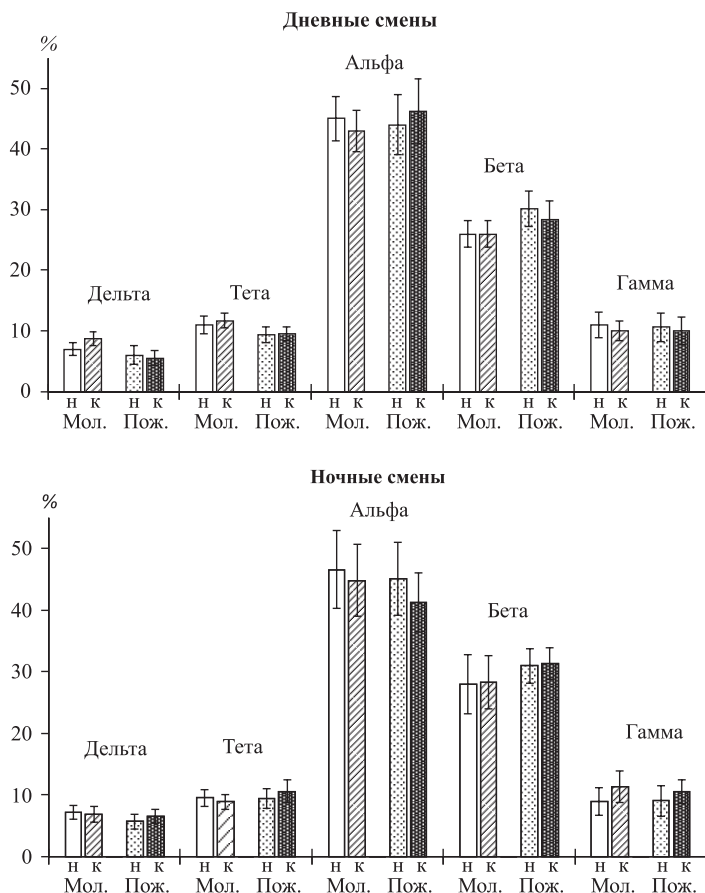


Рис. 1. Распределение мощности пяти основных ритмов ЭЭГ (%) у инженеров-электронщиков АСУВД двух возрастных групп в начале (н) и конце (к) дневных и ночных 12-часовых смен, $M \pm m$.

С увеличением возраста операторов в дневных сменах выявлена тенденция ($P < 0,1$) увеличения роста мощности альфа-ритма от начала к концу смены. В других случаях сдвиг возрастзависимых изменений общей мощности ЭЭГ от начала к концу рабочих смен (как дневных, так и ночных) был статистически недостоверным.

Изменения мощности ЭЭГ от начала к концу смен носили локальный характер, в ряде случаев противоположно направленный в период дневных и ночных смен (увеличение мощности дельта-ритма в дневные смены и ее уменьшение в ночные у лиц младшей группы) или в разных отведениях (увеличение мощности дельта-ритма от начала к концу ночных смен в левом передневисочном отведении и уменьшение ее в правом у лиц старшей группы). Большинство изменений мощности ЭЭГ имели правостороннюю локализацию (рис. 3).

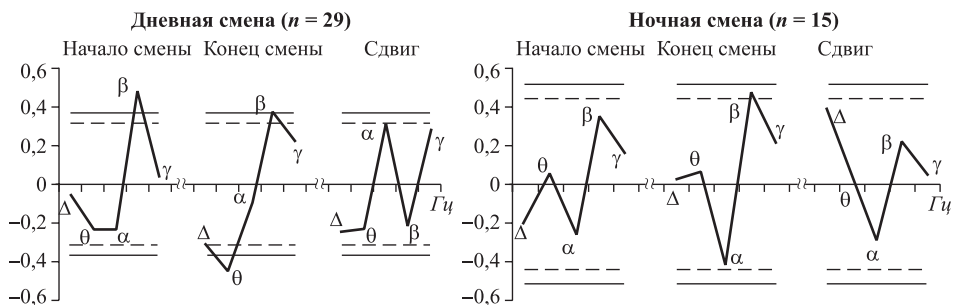


Рис. 2. Корреляция (по Пирсону) мощности пяти основных ритмов ЭЭГ с возрастом у инженеров-электронщиков АСУВД в начале и конце дневных и ночных 12-часовых смен. Уровень достоверных коэффициентов корреляции ($P < 0,05$) указан сплошной линией, уровень тенденции ($0,05 < P < 0,1$) — прерывистой.

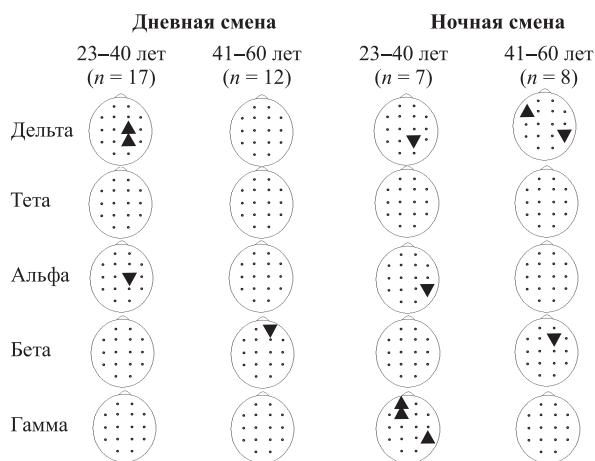


Рис. 3. Изменения мощности пяти основных ритмов ЭЭГ у инженеров-электронщиков АСУВД двух возрастных групп от начала к концу дневных и ночных 12-часовых смен. Треугольник, направленный вверх, — повышение мощности, вниз — снижение.

Наиболее выраженные возрастные изменения выявлены в начале дневных смен для бета-ритма (возрастное увеличение мощности в 13–14 отведениях) и тета-ритма (возрастное снижение мощности в 8–10 отведениях) у операторов старшей группы, а в начале ночных смен — для бета-ритма (возрастное увеличение мощности в 11–14 отведениях) и альфа-ритма (возрастное снижение мощности в 13–14 отведениях) у операторов младшей группы. Кроме того, у операторов старшей группы от начала к концу ночных смен отмечены изменения сдвига мощности бета-ритма (увеличение мощности в 7 отведениях), альфа- и дельта-ритмов (снижение мощности в 5 и 2 отведениях, соответственно) (рис. 4). В конце

ночных смен выявлено также возрастное увеличение мощности наиболее высокочастотного гамма-ритма в одном отведении у операторов младшей группы, и в трех отведениях у операторов старшей группы. В целом, число достоверных возрастных топических изменений колебательной структуры мощности ЭЭГ от начала к концу смен было наибольшим в старшей группе при работе в ночных сменах ($P < 0,005$ по сравнению с дневными сменами или с младшей возрастной группой в дневные или ночные смены).

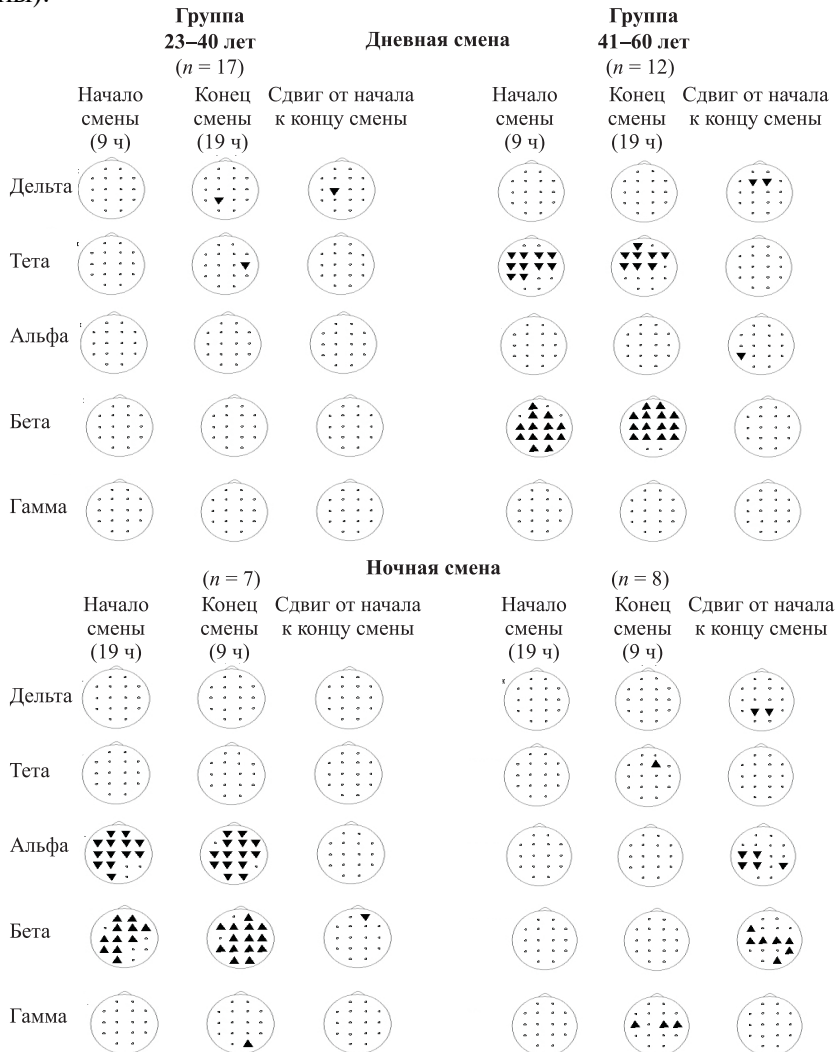


Рис. 4. Корреляция мощности пяти основных ритмов ЭЭГ с возрастом у инженеров-электронщиков АСУВД в течение дневных и ночных 12-часовых смен. Треугольники обозначают достоверную корреляцию ($P < 0,05$): направленные вверх — положительную, вниз — отрицательную.

Общим для представленных связей является возрастное увеличение мощности бета-ритма (в дневных сменах у операторов старшей группы, в ночных — у операторов младшей группы), а также ее возрастное увеличение от начала к концу ночных смен (у операторов старшей группы). Выявленные изменения мощности бета-ритма, вероятно, следует рассматривать как ведущий показатель возрастной адаптации биоэлектрической активности головного мозга при выполнении профессиональных обязанностей инженера-электронщика АСУВД.

На основании данных достоверного увеличения мощности бета-ритма в отведениях ЭЭГ в младшей или старшей возрастных группах (см. рис. 4) были построены полиномиальные аппроксимации возрастных изменений относительной мощности бета-ритма в дневные и ночные смены (рис. 5), которые фактически представляют собой разные фазы адаптационного процесса по Г. Селье (зависимости Йеркса — Додсона), когда по оси X отложен возраст работающих как сила стрессора (исходя из известного факта снижения общей работоспособности с возрастом и, как следствие, относительного увеличения физиологической цены выполнения одной и той же работы), а по оси Y — сила физиологического ответа организма (изменения относительной мощности бета-ритма). На рис. 5 представлены закономерности, регистрируемые в начале рабочих смен, поскольку они в наиболее чистом виде отражают результат многолетней адаптации операторов к выполнению профессиональной деятельности; в конце смен этот результат маскируется утомлением и возросшей чувствительностью уставшего организма к любым привходящим влияниям.

Аналогично были построены линейные аппроксимации возрастных изменений сдвига мощности бета-ритма от начала к концу смен (рис. 6), которые иллюстрируют переходный процесс при адаптации к работе в ночные смены в возрасте около 40 лет: резкий переход на противоположно направленный сдвиг (от роста на 7% до снижения на 7%), после которого повторялось возрастное увеличение сдвига (как и в группе 23–40 лет) до такого же уровня (рост на 7%), однако с достоверно большей выраженностью: коэффициент корреляции внутрисменного сдвига бета-ритма в старшей возрастной группе ($r = 0,82$, $P < 0,0001$) достоверно выше, чем в младшей ($r = 0,47$, $P < 0,002$), различия — $P < 0,011$. В дневные смены возрастные изменения внутрисменного сдвига бета-ритма статистически недостоверны.

Таким образом, возрастная адаптация мощности ЭЭГ к работе инженера-электронщика наиболее выражена в старшей возрастной группе в ночные смены.

Согласно данным литературы, мощность бета-диапазона колебаний ЭЭГ возрастает при напряжении внимания, выполнении умственной деятельности, эмоциональном возбуждении [14, 27]. Напряженность труда обследованного контингента соответствует классу 3.2 Гигиенической классификации условий труда [8]. Наибольшая напряженность труда инженеров-электронщиков АСУВД выявляется по сенсорным и эмоциональным нагрузкам [17], что и может обуславливать повышенное

внимание и нервно-эмоциональное напряжение при выполнении производственных обязанностей и объяснять ведущую роль относительной мощности колебаний бета-ритма в возрастной адаптации при выполнении профессиональных обязанностей инженера-электронщика.

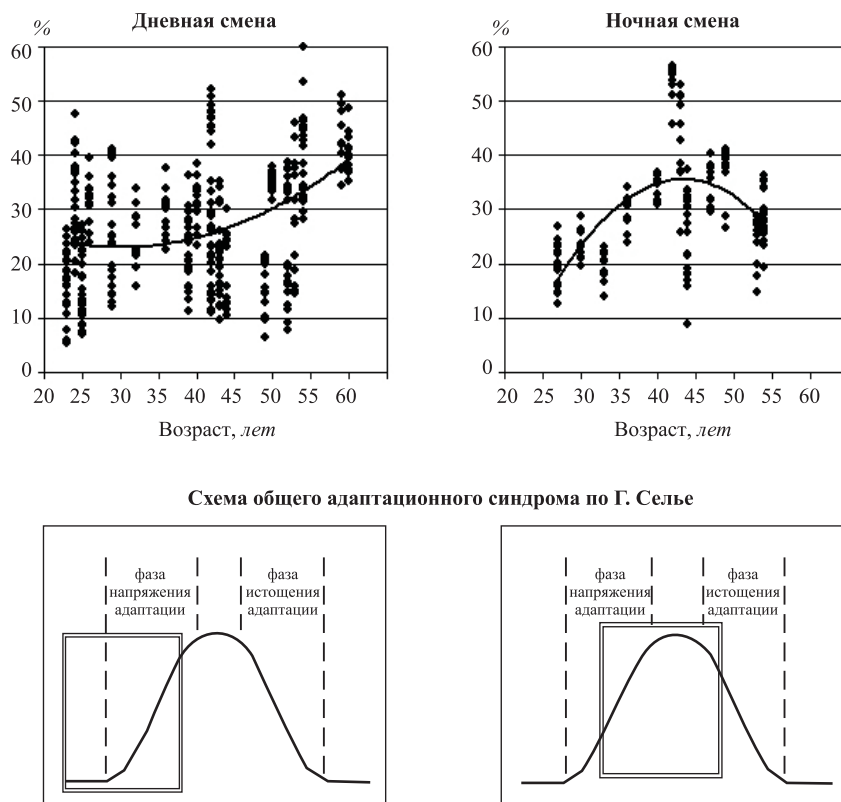


Рис. 5. Мощность бета-ритма у инженеров-электронщиков АСУВД разного возраста в начале дневных и ночных 12-часовых рабочих смен и ее местоположение на схеме общего адаптационного синдрома по Г. Селье.

При работе в дневные смены у операторов в возрасте от 23 до 40 лет частотная структура мощности ЭЭГ от возраста операторов не зависела, что отражает ненапряженный этап адаптации биоэлектрической активности головного мозга к выполняемой деятельности (см. рис. 4, 5). В старшей возрастной группе выявлено достоверное увеличение мощности бета-ритма (и компенсаторное снижение мощности тета-ритма), что отражает определенные энергозатраты на перестройку частотной структуры биоэлектрической активности головного мозга для обеспечения требуемого вида профессиональной деятельности, и соответствует фазе напряжения адаптации (по Г. Селье). Выявленное повышение физиологической цены адаптации в возрасте после 40 лет со-

гласуется с предложением оценивать напряженность труда операторов старше 40 лет на 1 ступень выше, чем операторов младше 40 лет [6].

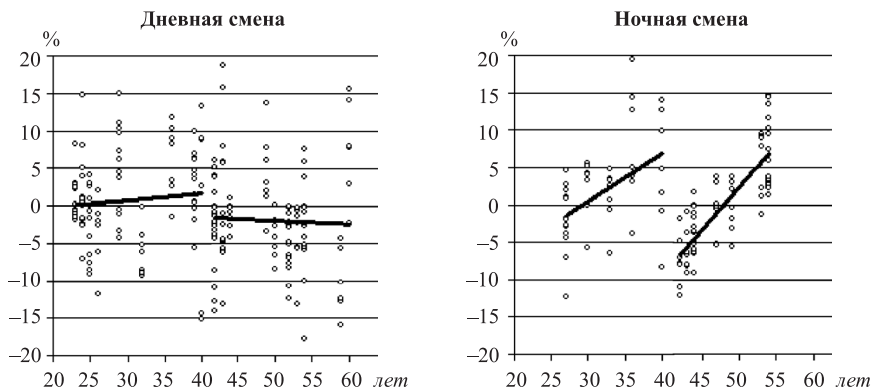


Рис. 6. Сдвиги мощности бета-ритма у инженеров-электронщиков АСУВД разного возраста в течение дневных и ночных 12-часовых рабочих смен.

При работе в ночные смены у операторов в возрасте 23–40 лет отмечался напряженный этап адаптации частотной структуры ЭЭГ к требованиям профессиональной деятельности (достоверно увеличивалась мощность бета-ритма при компенсаторном снижении мощности альфа-ритма). После 40–45-летнего возраста отмечался переход к фазе истощения адаптационных ресурсов биоэлектрической активности головного мозга (см. рис. 5). При этом в возрасте около 40 лет выявлен скачкообразный переход в динамике внутрисменного сдвига (роста) относительной мощности бета-ритма на более низкий исходный уровень (снижение), после которого возрастное увеличение бета-активности повторялось с большей выраженностью (см. рис. 6). Вероятно, внутрисменное увеличение бета-активности сопровождается физиологически дорогостоящими процессами, которые при некотором количественном накоплении (в данном случае до 7%) переходят в качественное изменение — на иной уровень функционирования и энергетического обеспечения деятельности (биоэлектрической активности головного мозга). Более интенсивный внутрисменный рост бета-ритма с возрастом (в диапазоне 40–60 лет по сравнению с диапазоном 23–40 лет), возможно, в какой-то мере компенсирует отсутствие ее предсменного роста (выявляемого в группе 23–40 лет и не выявляемого в группе 41–60 лет см. рис. 5). При этом, вероятно, существует некоторая критическая величина внутрисменного роста бета-РИТМА (в данном случае 7%), которая не может быть превышена. Таким образом, в возрасте именно около 40 лет по групповым данным выявляется переломный этап в адаптации инженеров-электронщиков АСУВД при работе в ночные смены. Следует подчеркнуть, что при работе в дневные смены возрастные изменения сдвига мощности бета-ритма у операторов

практически не выражены во всем изучаемом возрастном диапазоне (23–60 лет).

Выявленное таким образом повышение физиологической цены выполнения профессиональной деятельности операторов при работе в ночные смены согласуется с многочисленными данными литературы о сложности ночных смен [25, 26, 41, 44, 47], что отражено в законодательстве разных стран доплатой за работу в ночные часы (в частности, в Украине работа в период 22⁰⁰–6⁰⁰ оплачивается на 40 % выше, чем такая же работа в остальные часы суток).

В целом, полученные данные отражают влияние времени суток на возрастные изменения мощности бета-ритма мозга операторов сменного труда и демонстрируют большую сложность возрастной адаптации к работе в ночные смены, чем в дневные.

Возрастное снижение мощности альфа-ритма, выявленное у операторов младшей группы в ночные смены, в литературе ассоциируется с повышением активации, усилением симпатических влияний, проявлением внимания, умственной активностью [3, 5, 19]. Возрастное снижение мощности тета-ритма, выявленное у операторов 41–60 лет в дневные смены, согласно данным литературы, можно связывать с угнетением негативных эмоций [2], ослаблением волевой регуляции эмоций [24], со снижением когнитивного контроля, например, при появлении конкурирующих задач, нагружающих память [46]. Этот результат согласуется с данными литературы о более легком подавлении негативных эмоций лицами старшего возраста [21, 40], об их "уходе" от восприятия эмоционально негативно окрашенных явлений [21, 23, 32].

В обеих возрастных группах возрастное снижение мощности ритмов ЭЭГ отмечалось в относительно более низкочастотных диапазонах по отношению к бета-ритму, что может рассматриваться как компенсаторное следствие повышения мощности ведущего в возрастной адаптации инженера-электронщика бета-ритма. Выявленные изменения в разные возрастные периоды отражают возрастные особенности адаптации инженеров-электронщиков: у лиц младшего возраста адаптация (повышение мощности бета-ритма) сопровождалась повышением активации к концу ночных смен, а у лиц старшего возраста — снижением волевого контроля ситуации при "уходе" от негативно окрашенных событий в дневные смены.

Согласно данным литературы, коррелятами утомления, развивающегося в течение рабочей смены, и снижения работоспособности могут служить снижение мощности бета-ритма (общей — у водителей грузовых автомобилей [33], локальной в срединной теменной области — у добровольцев [42]), повышение мощности дельта-ритма (общей — у пилотов, водителей, добровольцев [20, 36], локальной в височных отведениях — у машинистов электропоездов [28]). В разных исследованиях описаны разнонаправленные изменения мощности альфа-ритма после выполнения работы преимущественно умственного или операторского типа: снижение общей (у водителей [31]) или локальной (у добровольцев [42]) мощности альфа-ритма ЭЭГ или, напротив, ее

повышение (общей — у пилотов, водителей [20, 45], добровольцев [36], студентов [19], локальной — у операторов блока управления АЭС [12], машинистов электропоездов [28]). Различия направленности и топографии изменений мощности альфа-ритма могут быть связаны с разным родом занятий и другими факторами. В частности, наши исследования показывают, что такими факторами могут быть время суток и возраст.

Классическим коррелятом повышения активации является депрессия альфа-ритма [3, 9, 19]. При более сильной активации наряду с депрессией альфа-ритма отмечается усиление высокочастотных составляющих ЭЭГ — бета- и гамма-ритмов, которое связывается с напряжением зрительного внимания [9, 39]. При этом гамма-ритм особенно усиливается в стрессовых состояниях, при ощущении невозможности корректно выполнить задание [7] или, напротив, при внезапном осознании способа решения проблемы [37]. В связи с этим важно отметить, что повышение относительной мощности гамма-ритма в наших исследованиях отмечалось только в связи с окончанием ночных смен (см. рис. 2, 4), что может отражать их известную стрессогенность.

Выявленные топические изменения мощности ЭЭГ в период дневных смен у инженеров обеих возрастных групп (см. рис. 2), согласно данным литературы, можно связывать с развитием утомления и снижением работоспособности головного мозга (снижение мощности бета-ритма в правом переднелобном отведении у операторов старшей группы, повышение мощности дельта-ритма в правых центральном и теменном отведениях у операторов младшей группы). Выявленные топические изменения в период ночных смен отражали формирование двух разных видов функционального состояния оператора: утомления (которое было более выражено у операторов 41–60 лет и проявлялось в локальном снижении бета-ритма в правом лобном отведении и повышении дельта-ритма в левом передневисочном отведении) и утренней биоритмически обусловленной активации организма (которая была более выражена у операторов младшей группы и проявлялась в локальном повышении гамма-ритма в левых лобном, переднелобном, в правом задневисочном отведениях и снижении дельта-ритма в правом теменном отведении). У операторов старшей группы к концу ночных смен в двух отведениях (F_7 , T_6) выявлены противоположно направленные изменения мощности дельта-ритма, что отражает одновременное формирование разнонаправленных изменений биоэлектрической активности мозга одного частотного диапазона в разных областях коры и может свидетельствовать о развитии пограничного состояния.

Преимущественно правосторонняя локализация изменений от начала к концу рабочих смен (см. рис. 2), согласно данным литературы, может отражать преобладание изменений в интегративно-синтетической, конкретно-образной и эмоционально-оценочной сферах деятельности мозга [4, 16], сопровождающихся ухудшением реализации высших психических функций и активацией вегетативных реакций [15]. Важно отметить, что достоверные изменения топической мощности ЭЭГ в левом полушарии регистрировались только в ходе ночных смен,

что в литературе ассоциируется с улучшением реализации высших психических функций [15] и может быть следствием утренней биоритмической активации организма, к которой более восприимчивым оказывались инженеры младшей возрастной группы (см. рис. 2).

Возрастное увеличение сдвига мощности бета-ритма (в 7 отведениях: F_7 , T_3 , C_3 , C_4 , T_4 , T_6 , O_2) от начала к концу ночных смен и компенсаторное уменьшение сдвига мощности более медленноритмических (альфа- и дельта-ритмов) в 5 (F_7 , F_3 , T_3 , C_3 , T_6) и 2 (P_3 , P_4) отведениях, соответственно, выявленное в группе инженеров-электронщиков старшей группы, может отражать утреннюю биоритмическую активацию организма (см. рис. 4) как возрастной приспособительный механизм выполнения производственной деятельности в ночные смены на фоне естественного возрастного снижения функциональных возможностей организма. На утреннюю биоритмическую активацию организма может указывать также локальное возрастное увеличение мощности гамма-ритма в конце рабочих смен у операторов 23–40 лет в одном отведении (O_2) и 41–60 лет — в 3 отведениях (T_3 , C_4 , T_4). В обоих случаях (и по внутрисменной динамике структуры ЭЭГ, и по изменениям гамма-ритма в конце ночных смен) возрастной приспособительный механизм специфических изменений структуры ЭЭГ в динамике ночных смен был более выражен в старшей группе.

Заключение. Проведенный анализ данных биоэлектрической активности головного мозга показал наиболее осложнена адаптация инженеров-электронщиков автоматизированных систем управления воздушным движением к работе в ночные смены (особенно в возрасте старше 40 лет). При этом, ведущим частотным диапазоном возрастной адаптации биоэлектрической активности головного мозга инженера-электронщика выявлен бета-диапазон (13–35 Гц), изменения мощности которого переходили в фазу напряжения общего адаптационного синдрома по Г. Селье при работе в дневных сменах — после 40–45 лет, при работе в ночных сменах — в возрасте 23–40 лет, после которого переходили в фазу истощения ресурсов адаптации. При этом, возрастное повышение относительной мощности бета-ритма сопровождалось компенсаторным понижением мощности более низкочастотных ритмов: у инженеров 23–40 лет — альфа-ритма (8–13 Гц), а 41–60 лет — тета-ритма (4–8 Гц). Данные литературы позволяют трактовать выявленные особенности как возрастное приспособление к труду: в группе 23–40 лет за счет повышения активности, а в возрасте 41–60 лет за счет снижения волевого контроля ситуации и "ухода" от негативных эмоций. С позиций теории функциональных систем П. К. Анохина, бета-ритм может рассматриваться как системообразующий фактор в формировании функциональной (под)системы биоэлектрической активности головного мозга инженера-электронщика в многолетнем диапазоне адаптационных изменений.

С развитием утомления в период 12-часовых рабочих смен отмечались топические изменения ЭЭГ преимущественно правосторонней ло-

кализации, ассоциирующиеся с ухудшением интегративно-синтетической, конкретно-образной и эмоционально-оценочной деятельности мозга. Топические изменения левосторонней локализации отмечались только в динамике ночных смен. Изменения, выявленные в ходе дневных смен, согласуются с классическими коррелятами утомления. Изменения, выявленные в ходе ночных смен, можно связывать с формированием двух разных состояний — утомления (более выраженного в группе инженеров старшей группы) и утренней биоритмически обусловленной активации организма (более выраженной в группе инженеров младшей группы).

Возрастной приспособительный механизм для выполнения профессиональных обязанностей инженера-электронщика АСУВД, проявляющийся в специфических изменениях структуры ЭЭГ, при работе в ночные смены в возрасте около 40 лет претерпевал переходный процесс, после которого становился наиболее физиологически дорогостоящим.

Список использованной литературы

1. *Анохин П. К.* Узловые вопросы теории функциональной системы. — М.: Наука, 1980. — 196 с.
2. *Анохин П. К.* Эмоции. Психология эмоций. Тексты. — М.: МГУ, 1984. — 173 с.
3. *Базанова О. М.* Современная интерпретация альфа-активности ЭЭГ // *Международ. невролог. журн.* — 2011. — № 8. — С. 96–104.
4. *Балонов Л. Я., Деглин В. Л., Николаенко Н. Н.* О роли доминантного и недоминантного полушарий в регуляции эмоциональных состояний и эмоциональной экспрессии // *Функциональная асимметрия и адаптация человека.* — М.: Московский НИИ психиатрии. МЗ РСФСР, 1976. — Т. 78. — С. 143–146.
5. *Бехтерева Н. П.* Нейрофизиологические аспекты психической деятельности человека. — М.: Медицина, 1974. — 152 с.
6. *Бузунов В. А.* Условия труда и возрастная работоспособность рабочих тепловых электростанций и предприятий электрических сетей: Автореф. дис. ... д-ра мед. наук. — К., 1983. — 45 с.
7. *Ведерко О. В., Данилова Н. Н., Онуфриев М. В.* и др. Системные изменения биохимических и электроэнцефалографических параметров под влиянием информационной нагрузки // *Нейрохимия.* — 2007. — 24, № 2. — С. 172–179.
8. *Гігієнічна класифікація праці за показниками шкідливості та небезпечності факторів виробничого середовища, важкості та напруженості трудового процесу: Наказ М-ва охорони здоров'я України від 27.12.2001, № 528.* — К., 2001. — 47 с.
9. *Данилова Н. Н., Крылова А. Л.* Физиология высшей нервной деятельности. — Ростов н/Д: "Феникс", 2002. — 408 с.
10. *Зенков Л. Р.* Клиническая электроэнцефалография (с элементами эпилептологии): руководство для врачей. — М.: МЕДпрессинформ, 2004. — 368 с.
11. *Карпенко А. В.* Индивидуальный психофизиологический контроль и прогнозирование текущей работоспособности операторов как современная гигиеническая проблема: Автореф. дис. ... д-ра мед. наук. — К., 1989. — 46 с.
12. *Ласкова Н. А., Третьякова Е. Е.* Особенности неврологического статуса и электроэнцефалограммы у операторов блока управления атомной электро-

- станции // Журн. неврол. психиатр. им. С. С. Корсакова. — 2008. — **108**, № 12. — С. 39–43.
13. *Макаренко М. В.* Основы професійного відбору військових спеціалістів та методи вивчення індивідуальних психофізіологічних відмінностей між людьми. — К.: Ін-т фізіології ім. О. О. Богомольця НАН України, Наук.-досл. центр гуманітарних пробл. збройних сил України, 2006. — 395 с.
 14. *Разумникова О. М.* Мышление и функциональная асимметрия мозга. — Новосибирск: Изд-во СО РАМН, 2004. — 272 с.
 15. *Фокин В. Ф.* Динамические свойства функциональной межполушарной асимметрии // Тез. доп. II Всеросс. научн. конф. "Актуальные вопросы функциональной межполушарной асимметрии" (Москва, 26–27 мая 2003 г.). — М., 2003. — С. 322–323.
 16. *Хомская Е. Д.* Системные изменения биоэлектрической активности мозга как нейрофизиологическая основа психических процессов // Естественно-научные основы психологии / Под ред. А. А. Смирнова, Л. Л. Лурия, В. Д. Небылицина. — М.: Педагогика, 1978. — С. 234–253.
 17. *Чернюк В. И., Назаренко В. И., Апыхтин К. А.* и др. Физиолого-гигиеническая оценка физических факторов и напряженности труда на рабочих местах авиадиспетчеров и инженерно-технического персонала по обеспечению управления гражданским воздушным движением в Украине // Укр. журн. пробл. медицини праці. — 2012. — № 1. — С. 26–33.
 18. *Akerstedt T., Kecklund G., Horte L. G.* Night driving, season, and the risk of highway accidents // *Sleep*. — 2001. — **24**, № 4. — P. 401–406.
 19. *Barry R. J., Clark A. R., Johnston S. J.* et al. EEG differences between eyes-closed and eyes-open resting conditions // *Clin. Neurophysiol.* — 2007. — **118**. — P. 2765–2773.
 20. *Borghini G., Astolfi L., Vecchiato G.* et al. Measuring neurophysiological signals in aircraft pilots and car drivers for the assessment of mental workload, fatigue and drowsiness // *Neurosci. Biobehav. Rev.* — 2014. — **44**. — P. 58–75.
 21. *Charles S. T., Carstensen L. L.* Unpleasant situations elicit different emotional responses in younger and older adults // *Psychol. Aging*. — 2008. — **23**, № 3. — P. 495–504.
 22. *Comon P.* Independent component analysis, a new concept? // *Signal Processing*. — 1994. — **36**, № 3. — P. 287–314.
 23. *Ebner N. C., Johnson M. K.* Young and older emotional faces: are there age-group differences in expression identification and memory? // *Emotion*. — 2009. — **9**, № 3. — P. 329–339.
 24. *Ertl M., Hildebrandt M., Ourina K.* et al. Emotion regulation by cognitive reappraisal — the role of frontal theta oscillations // *Neuroimage*. — 2013. — **81**. — P. 412–421.
 25. *Folkard S.* Shift work, safety, and aging // *Chronobiol. Int.* — 2008. — **25**, № 2. — P. 183–198.
 26. *Folkard S., Tucker P. T.* Shift work, safety and productivity // *Occup. Med. (Lond)*. — 2003. — **53**, № 2. — P. 95–101.
 27. *Güntekin B., Emek-Savaş D. D., Kurt P.* et al. Beta oscillatory responses in healthy subjects and subjects with mild cognitive impairment // *Neuroimage Clin.* — 2013. — **3**. — P. 39–46.
 28. *Jap B., Lal S., Fischer P.* Comparing combinations of EEG activity in train drivers during monotonous driving // *Expert Systems With Applications*. — 2011. — **38**, № 1. — P. 996–1003.
 29. *Jasper H. A.* The ten-twenty system of the International Federation // *Electroencephalogr. Clin. Neurophysiol.* — 1958. — **10**. — P. 371–375.

30. *Kandelaars K. J., Bauk S. D., Fletcher A.* et al. Observations of age-related differences in sleep, performance and alertness at an Australian lead smelter // *Shiftwork Int. Newsletter.* — 2005. — **22**. — P. 84.
31. *Lal S., Bekiaris E.* The reliability of sensing fatigue from neurophysiology: International conference on Wireless broadband and ultra wideband communication (Sydney, Australia, March 2006). — Sydney: UTS, 2007. — P. 1–4.
32. *Mickley K. R., Kensinger E. A.* Phenomenological characteristics of emotional memories in younger and older adults // *Memory.* — 2009. — **17**, № 5. — P. 528–543.
33. *Miller J. C.* Quantitative analysis of truck driver EEG during highway operations // *Biomed. Sci. Instrum.* — 1997. — **34**. — P. 93–98.
34. *Neuroscience of rule-guided behavior* / Eds: S. A. Bunge, J. D. Wallis. — New York: Oxford Univ. Press, 2008. — 475 p.
35. *Nuwer M. R., Comi G., Emerson R.* et al. IFCN standards for digital recording of clinical EEG // *Electroencephalogr. Clin. Neurophysiol.* — 1998. — **106**, № 3. — P. 259–261.
36. *Phipps-Nelson J., Redman J. R., Rajaratnam S. M.* Temporal profile of prolonged, night-time driving performance: breaks from driving temporarily reduce time-on-task fatigue but not sleepiness // *J. Sleep Res.* — 2011. — **20**, № 3. — P. 404–415.
37. *Rieder M. K., Rahm B., Williams J. D., Kaiser J.* Human γ -band activity and behavior // *Int. J. Psychophysiol.* — 2011. — **79**, № 1. — P. 39–48.
38. *Ritvanen T., Louhevaara V., Helin P.* et al. Responses of the autonomic nervous system during periods of perceived high and low work stress in younger and older female teachers // *Appl. Ergon.* — 2006. — **37**, № 3. — P. 311–318.
39. *Rouhinen S., Panula J., Palva J. M., Palva S.* Load dependence of ν and γ oscillations predicts individual capacity of visual attention // *J. Neurosci.* — 2013. — **33**, № 48. — P. 19023–19033.
40. *Scheibe S., Blanchard-Fields F.* Effects of regulating emotions on cognitive performance: what is costly for young adults is not so costly for older adults // *Psychol. Aging.* — 2009. — **24**, № 1. — P. 217–223.
41. *Smith L., Folkard S., Poole C. J.* Increased injuries on night shift // *Lancet.* — 1994. — **344**, № 8930. — P. 1137–1139.
42. *Tanaka M., Shigihara Y., Ishii A.* Effect of mental fatigue on the central nervous system: an electroencephalography study // *Behav. Brain Funct.* — 2012. — **8**. — doi: 10.1186/1744-9081-8-48.
43. *The Cognitive electrophysiology of mind and brain* / Eds: A. Zani, A. M. Proverbio. — New York: Acad. Press, 2002. — 436 p.
44. *Tucker P., Folkard S.* Working time, health, and safety: a research synthesis paper // *Conditions of Work and Employment Series No. 31.* — Geneva: ILO, 2012. — 60 p.
45. *Zhang J. L., Li J., Meng G.* et al. Study on fatigue of pilots during simulated flight training based on electroencephalogram // *Zhongguo Ying Yong Sheng Li Xue Za Zhi.* — 2013. — **29**, № 3. — P. 267–270.
46. *Zhao Y., Tang D., Hu L.* et al. Concurrent working memory task decreases the Stroop interference effect as indexed by the decreased theta oscillations // *Neuroscience.* — 2014. — **262**. — P. 92–106.
47. *Zuzewicz K., Kwarecki K.* Effect of shiftwork on health rate, fatigue and sleep of air traffic controllers. — *Shiftwork 2000. Implications for science, practice and business* / Eds.: T. Marek, H. Oginska, J. Pokorski et al. — Krakow: Jagiellonian Univ., 2000. — P. 229–251.

Поступила 20.08.2014

ВІКОВА АДАПТАЦІЯ БІОЕЛЕКТРИЧНОЇ АКТИВНОСТІ ГОЛОВНОГО МОЗКУ ОПЕРАТОРІВ РОЗУМОВОЇ ПРАЦІ ПРИ ЗМІННОМУ РЕЖИМІ РОБОТИ

Н. А. Бобко, Я. В. Кудієвський

Державна установа "Інститут медицини праці НАМН
України", 01033 Київ

У 44 інженерів-електронщиків 23–60 років автоматизованих систем керування повітряним рухом трьох цивільних аеропортів України на робочих місцях реєстрували ЕЕГ на початку і наприкінці 12-годинних денних і нічних змін в умовах спокою із закритими очима. Провідним частотним діапазоном ЕЕГ у віковій адаптації біоелектричної активності головного мозку до праці інженера-електронщика виявлено бета-ритм (13–35 Гц), зміни потужності якого переходили у фазу напруги загального адаптаційного синдрому за Г. Сельє при роботі в денних змінах у групі 41–60 років, а при роботі в нічних змінах — у групі 23–40 років, після якої переходили у фазу виснаження ресурсів адаптації. При цьому вікове підвищення відносної потужності бета-ритму супроводжувалося компенсаторним зниженням потужності більш низькочастотних діапазонів. З розвитком втоми в динаміці 12-годинних робочих змін відзначалися топічні зміни ЕЕГ переважно правосторонньої локалізації, що асоціюються з погіршенням інтегративно-синтетичної діяльності мозку. Зміни лівосторонньої локалізації відзначалися лише наприкінці нічних змін. Зміни, що виявлені у динаміці денних змін, узгоджуються з класичними корелятами втоми. Зміни, що виявлені у динаміці нічних змін, можна пов'язувати з формуванням двох різних станів — втоми (більш вираженої в групі 41–60 років) і ранкової біоритмічно зумовленої активації організму (більш вираженої в групі 23–40 років). У нічні зміни пристосувальний механізм до роботи інженера-електронщика у віці близько 40 років, що проявлявся специфічними змінами структури ЕЕГ, зазнавав перехідного процесу, після якого ставав найбільш фізіологічно вартісним.

AGE-RELATED ADAPTATION OF BIOELECTRIC ACTIVITY OF THE BRAIN OF INTELLECTUAL LABOR OPERATORS WORKING IN SHIFTS

N. A. Bobko, Ya. V. Kudievsky

State Institution "Institute of Occupational Medicine NAMS
Ukraine", 01033 Kyiv

EEG had been registered in 44 electronics engineers aged 23–60 working for air traffic control systems at three civil airports of Ukraine at their working places at the beginning and the end of 12-hour day and night shifts in eyes-closed resting position. Beta

band (EEG oscillations with a frequency of 13–35 Hz) was found to be a leading EEG frequency band of age adaptation of brain bioelectric activity to labor of electronics engineers. Its power passed to the strain phase of general adaptation syndrome by H. Selye during day shifts work in the group aged 41–60, during night shifts work – in engineers aged 23–40, after which it passed to the exhaustion phase of adaptation resources. Also, the age-related increase in relative power of EEG beta oscillations was accompanied by a compensatory decrease in EEG power fluctuations of more slow-waved bands. Mainly right-sided topical EEG changes were registered with the development of fatigue during 12-hour work shifts. These ones have been associated with the worsening in the integrative-synthetic brain activity. Left-sided changes were registered only at the end of night shifts. Changes revealed during day shifts are consistent with the classic correlates of fatigue. Changes revealed in the dynamics of night shifts could be connected with the forming-up of two different body states – fatigue (more pronounced in the group of engineers aged 41–69) and biorhythmically caused morning body activation (more pronounced in engineers aged 23–40). During night shifts an adaptive mechanism to the work of engineer aged about 40, manifested in specific changes in the EEG patterns, underwent transition process after which it became most costly physiologically.

Сведения об авторах

Лаборатория гигиены и физиологии сменного труда

Н. А. Бобко — с.н.с., д.б.н. (nbobko@bigmir.net)

Я. В. Кудиевский — м.н.с.