

ЗАЧЕМ НУЖЕН ЭЛЕКТРОЭНЦЕФАЛОГРАФ В ПОЛЯРНЫХ ЭКСПЕДИЦИЯХ? ОПЫТ НЕЙРОФИЗИОЛОГИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ В 67-Й РАЭ

Нейропластичность, то есть способность нервной системы перестраиваться, формировать новые связи в ответ на воздействие окружающей среды, — важнейшее условие адаптации. Особые требования к успешности адаптации возникают у участников длительных полярных и морских экспедиций, которые испытывают на себе действие экстремальной климатогеографической среды, а также таких факторов, как социальная изоляция, вынужденная работа в замкнутом коллективе, сенсорная депривация, недостаток значимой информации и др. Многие исследователи отмечали, что в подобных условиях возникает повышенное психоэмоциональное напряжение, астенизация и даже невротизация, что негативно влияет на работоспособность и психологический климат в коллективе.

Исследования адаптации полярников во время зимовок проводились многими врачами и нейрофизиологами. Среди них были работы (С.И. Сороко, Е.А. Ильин и др.), включавшие в себя изучение биоэлектрической активности мозга с помощью электроэнцефалографии (ЭЭГ), эти работы показали, что изменения ритмов ЭЭГ отражают индивидуальные особенности и успешность адаптации. Е.А. Ильин и К.К. Левандо на основе исследований, проведенных на станции Восток, сделали вывод о том, что физиологические функции организма стабилизируются к 3–4-му месяцу, в то время как нервно-психические — продолжают ухудшаться на протяжении всей зимовки. Проводившиеся ранее работы дали важные результаты о стадийности и фазовом характере адаптации, ее различиях у людей с разными особенностями функционирования центральной нервной системы (ЦНС), возможных путях коррекции негативных проявлений, связанных с дезадаптацией. Почему же сохраняется актуальность изучения активности мозга во время экспедиций? Несмотря на все проведенные ранее исследования, до конца не изучены те механизмы в работе мозга, которые способствуют успешной адаптации к экстремальным условиям среды. Если мы хорошо поймем эти механизмы, то сможем активно воздействовать на них, чтобы помочь адаптироваться к экспедиционным условиям тем, у кого возникают с этим трудности. К чему приводит плохая адаптированность даже одного участника полярной экспедиции? Это хроническое стрессовое состояние, снижение работоспособности, некачественно выполненная работа, поломки оборудования, травмы, соматические и психические расстройства, конфликты в коллективе, ухудшение психологического климата на станции и пр. Повышение успешности адаптации может снизить риски для жизни и здоровья полярников, а также экономические затраты, связанные с лечением болезней — последствий дезадаптации, ремонтом оборудования и пр.

Кроме того, со времени проведения ставших уже классическими работ физиологов и медиков на советских полярных станциях изменились технические возможности проведения исследований и социокультурная среда. Во-первых, получила развитие цифровая ЭЭГ, что позволяет проводить более глубокий анализ регистрируемых биопотенциалов мозга. Были разработаны новые программы с широким спектром математических методов обработки ЭЭГ, развивались методики регистрации и анализа связанных с событиями потенциалов. Кроме того, развитие электроники позволило сделать электроэнцефалографы значительно более портативными и удобными в работе. Исследования стали проще и дешевле, их можно повторять многократно, проводить в полевых условиях.

Во-вторых, в 90-х годах прошлого века произошло изменение социокультурной среды, снижение престижа профессии полярника (по сравнению с советским периодом), изменилась и основная мотивация людей, выбирающих работу на полярных станциях. К тому же, в отличие от другой области, которая также имеет дело с людьми в экстремальных условиях, — космической медицины и психологии — участники полярных экспедиций не подвергаются такому тщательному отбору по медицинским и психологическим показателям, как космонавты. В этом отношении жизнь сама «ставит эксперимент»: мы можем наблюдать большее многообразие личностей и характеров среди полярников, их реакций на факторы экстремальной среды и пр. Получается, то, что может быть не очень хорошо для эффективности работы в экспедиции и адаптации ее участников, представляет интерес для ученых-психологов и нейрофизиологов. Не меньший интерес представляет сравнение результатов современных исследований и работ советских полярных

физиологов и психологов, что может приблизить к пониманию того, насколько внешняя социокультурная среда влияет на поведение человека в замкнутом коллективе и адаптацию к другим факторам полярных экспедиций.

На самом деле действие измененной среды начинается задолго до прибытия в полярный регион, еще во время морского перехода. Исследования ЭЭГ в длительных морских рейсах — единичные. Вероятно, небольшое количество таких исследований в прошлом было связано с технической сложностью регистрации ЭЭГ на морском судне во время плавания, что преодолено в настоящий момент в связи с возможностью использования портативных электроэнцефалографов.

Современный прибор SmartBCI (ООО «Мицар», Санкт-Петербург) позволяет регистрировать ЭЭГ на протяжении многих часов в автономном режиме, в том числе в сложных экспедиционных условиях: не требуется специально

Рис. 1. Электроэнцефалограф SmartBCI на «испытуемом» в полевых условиях на станции Беллинсгаузен



оборудованное помещение, можно регистрировать ЭЭГ при сильной качке (что, в частности, было проверено во время 67-й РАЭ). Последнее представляет особый научный и практический интерес для изучения мозговых процессов, сопровождающих появление болезни движения — «морской болезни», что может помочь при поиске эффективных способов борьбы с ней.

ЭЭГ представляет собой смесь колебаний разной частоты в следующих диапазонах: дельта-ритмы — от 1 до 3 Гц, тета-ритмы — 4–7 Гц, альфа-ритмы — 8–13 Гц, бета-ритмы — 14–35 Гц (бета-1 (14–21 Гц) и бета-2 (22–35 Гц) диапазоны). Тета-, альфа- и бета-ритмы присутствуют в нормальной ЭЭГ, регистрируются в состоянии покоя и в условиях решения различных задач. Разные сенсорные области мозга имеют собственные альфа-ритмы (также называемые ритмами «холостого хода»), которые отражают состояние «отдыха» этой области мозга. Поскольку основную часть информации человек получает через зрительный анализатор, лучше всего в ЭЭГ выражен альфа-ритм, связанный с его работой, больший по амплитуде в затылочной коре, где обрабатывается информация, поступающая через зрительную систему. Поэтому альфа-ритм лучше всего выражен при закрытых глазах и подавляется при их открывании. Кроме того, альфа-ритм может подавляться и при закрытых глазах при напряженной умственной работе или эмоциональном напряжении.

Нейрофизиологические исследования в 67-й РАЭ

В 67-й РАЭ на протяжении всего рейса НЭС «Академик Трёшников» и во время работы сезонной экспедиции на станции Беллинсгаузен проводился мониторинг психоэмоционального состояния и функционального состояния центральной нервной системы участников экспедиции. Регистрация ЭЭГ производилась с помощью портативного 21-канального компьютерного электроэнцефалографа SmartBCI производства ООО «Мицар» (рис. 1, 2) и электроэнцефалографической шапочки MSC-Cap с 21 электродом, расположенным на поверхности головы в соответствии со стандартной системой «10-20», обработка данных — с помощью программы WinEEG-2021 (ООО «Мицар», Санкт-Петербург, <http://www.mitsar-medical.com>).

Психологическое исследование проводилось с использованием комплекса методик, направленных на изучение личностных особенностей и психологического состояния участников. Участие в исследовании было добровольным, программа одобрена этическим

комитетом. Всего в исследовании приняли участие 69 человек. У 34 человек осуществлялся длительный мониторинг функционального состояния ЦНС и психоэмоционального состояния на протяжении всего рейса с повторными регистрациями ЭЭГ и психологическим тестированием. В начале рейса у половины участников регистрировалась ЭЭГ в пределах нормы или с признаками легкой неустойчивости функционального состояния ЦНС, у остальных определялись признаки умеренной или средней степени неустойчивости функционального состояния ЦНС. Выявленные отклонения могли быть связаны с реакцией на стрессовую ситуацию — адаптацию к условиям жизни на судне (особенно у испытуемых, не имевших ранее опыта участия в длительных экспедициях). К середине (через 2 месяца от начала) рейса в целом по обследованной группе произошли изменения в ЭЭГ (рис. 3): в тета-диапазоне — снижение мощности в лобной области и повышение — в затылочной; в альфа-диапазоне — снижение мощности в левой лобной и теменной области и повышение — в затылочной области, в бета-диапазоне — снижение в лобной и затылочной области. В целом это может говорить об успешно идущих процессах адаптации и снижении выраженной реакции на стресс у большинства участников, более спокойном психоэмоциональном состоянии в середине рейса по сравнению с исходным.

Было проведено сопоставление характеристик ЭЭГ с уровнем нейротизма — чертой личности, характеризующейся эмоциональной неустойчивостью, тревогой, низким самоуважением. Есть литературные данные о том, что люди с более высоким уровнем нейротизма хуже адаптируются к необычным условиям, в частности, у таких людей была более сильно выражена невротизация и негативные изменения в функциональном состоянии ЦНС во время зимовки в антарктической экспедиции по данным С.В. Новикова и С.И. Сороко. В исходном состоянии не было выявлено статистически значимых взаимосвязей нейротизма со спектрами мощностей ритмов ЭЭГ. Однако при сопоставлении с ЭЭГ, зарегистрированной у той же группы участников в середине и в конце экспедиции, оказалось, что уровень нейротизма положительно коррелировал с мощностью бета-ритма в затылочной области. Также нейротизм коррелировал с тревожностью, уровнем дистресса и субъективной оценкой самочувствия. При этом чем выше был уровень нейротизма, тем сильнее колебалось самочувствие испытуемого во время рейса, что говорит о трудностях адаптации к экспедиционным условиям. На рис. 4 при-

Рис. 2. Регистрация ЭЭГ на станции Беллинсгаузен

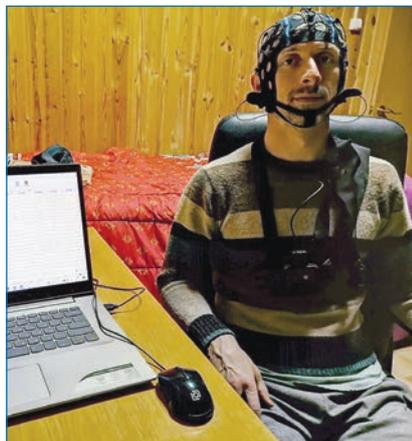
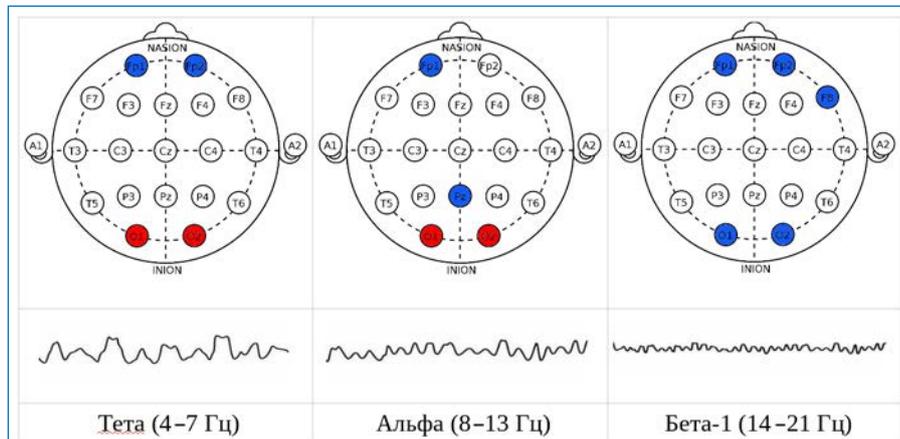


Рис. 3. Изменения мощности ритмов разного диапазона во время рейса.

Красный — увеличение мощности, синий — уменьшение мощности ритма ($p < 0,05$). NASION — нос, INION — затылочный бугор



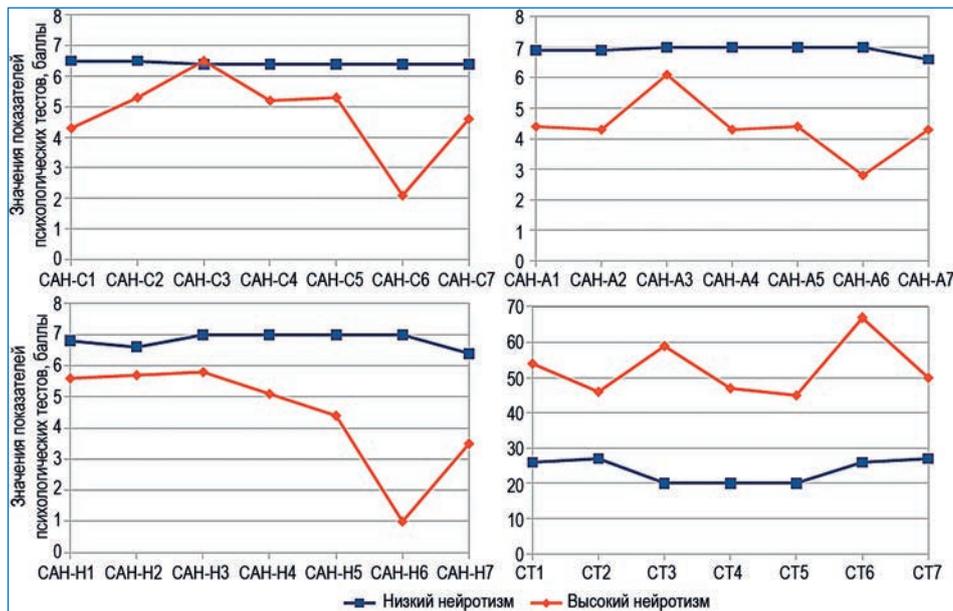


Рис. 4. Колебания самочувствия (CAH-C), активности (CAH-A), настроения (CAH-H) и ситуативной тревожности (CT) на протяжении рейса у участников с высоким и низким уровнем нейротизма. На вертикальных осях – значения показателей психологических тестов (баллы)

водится пример колебаний показателей самочувствия, активности, настроения (по тесту «CAH») и ситуативной тревожности у участников с высоким и низким уровнем нейротизма. Как видно из рисунка, у испытуемого с низким уровнем нейротизма на протяжении всего рейса наблюдаются стабильно высокие показатели самочувствия, активности и настроения и низкий уровень тревожности, в то время как у испытуемого с высоким уровнем нейротизма наблюдаются высокая тревожность и значительные колебания приводимых показателей.

При индивидуальном рассмотрении ЭЭГ выявлено, что к середине рейса у трети участников повысилась мощность альфа-ритма, у трети — снизилась, у остальных участников — оставалась неизменной. При этом у 2 участников, у которых в начале рейса практически отсутствовал альфа-ритм, к середине экспедиции он восстановился почти до нормативного уровня (уровень нейротизма у этих участников был низким) (пример см. на рис. 5).

Таким образом, проведенное исследование выявило разные изменения ЭЭГ, связанные с адаптацией к экспедиционным условиям. Это может быть вызвано как исходными различиями в функционировании ЦНС, так и с индивидуальными особенностями протекания адаптационных процессов. Согласно литературным данным, полученным во время

зимовок на антарктических станциях, в первые месяцы происходит некоторое повышение общего уровня активации мозга. В ЭЭГ полярников отмечается нарастание более быстрых ритмов, наличие спайковой активности, в ряде случаев возникает выраженная дизритмия. В нашем исследовании также у части участников наблюдалась дизритмия и повышение мощности быстрых ритмов, однако в ряде случаев регистрировался высокоамплитудный гиперсинхронный альфа-ритм.

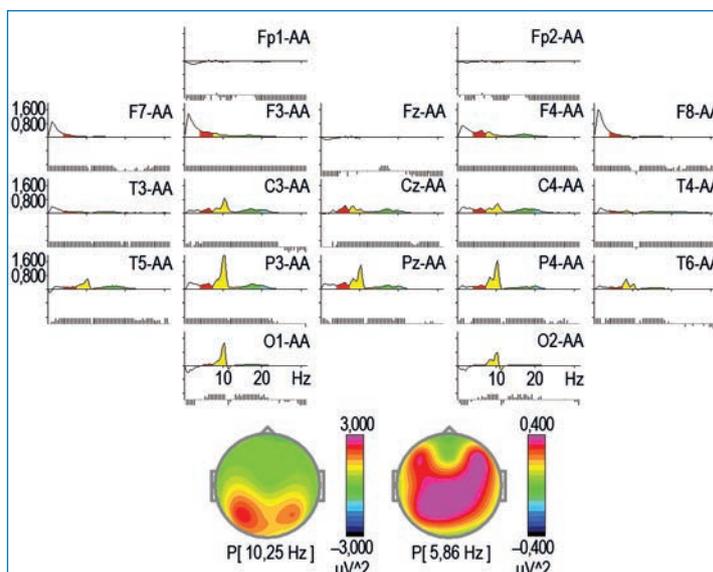
Выводы и перспективы исследований

Признаки неустойчивости функционального состояния ЦНС по данным ЭЭГ в сочетании с высоким уровнем

нейротизма и тревожности указывают на то, что адаптация к условиям экспедиции потребует большего напряжения. При высоком нейротизме наблюдается большая изменчивость психологического состояния в течение рейса. При этом следует отметить, что низкая мощность альфа-ритма в исходном состоянии сама по себе, очевидно, не является плохим прогностическим признаком в отношении адаптации, а, скорее, отражает более выраженную реакцию на стрессовую ситуацию, связанную с началом экспедиции и приспособлением к условиям жизни на судне.

Функциональное состояние ЦНС и психологическое состояние

Рис. 5. Изменение мощности ритмов ЭЭГ на примере испытуемого с низким уровнем нейротизма. По горизонтальной шкале представлена частота ритмов ЭЭГ (Гц), по вертикальной шкале показатели спектральной мощности (мкВ²). Над каждым графиком подписано название канала (расположение электродов см. схему на рис. 3). Цветовая шкала (для графиков): красный — тета-диапазон (4–7 Гц); желтый — альфа-диапазон (8–13 Гц); зеленый — бета-1-диапазон (14–21 Гц); голубой — бета-2 (22–35 Гц), «палочки» под графиками обозначают, спектры мощности каких ритмов значимо увеличились (рисунок сделан с помощью WinEEG 2021)



большинства участников улучшалось к середине экспедиции или изменялось незначительно, выраженных негативных эффектов, связанных с дезадаптацией, не наблюдалось. У некоторых участников отмечены изменения в ЭЭГ, свидетельствующие о снижении тонуса коры больших полушарий (что может быть связано с утомлением).

Выделены компоненты ЭЭГ, которые могут быть использованы в плане прогноза и мониторинга успешности адаптации и на которые следует обратить внимание при дальнейшем анализе данных (выраженность медленных ритмов в центральных и лобных областях, бета-ритма в затылочной области).

Во время 67-й РАЭ был получен большой объем данных, анализ которых продолжается. Поэтому в данной статье результаты представлены только частично. Кроме того, особенности медицинских и психологических исследований таковы, что на результаты влияет одновременно множество факторов и для выявления статистически значимых эффектов требуется проведение большого количества исследований, поэтому важно продолжать сбор данных в последующих экспедициях.

В перспективе интересно применение коррекции функционального состояния ЦНС у участников, которым сложнее адаптироваться. Например, можно рекомендовать метод «биологической обратной связи» для участников, у кого есть неустойчивость функционального

состояния ЦНС по данным ЭЭГ и высокий уровень нейротизма.

Также представляет интерес изучение салютогенного влияния участия в экспедициях. Обычно исследователи акцентируют внимание на негативных эффектах, но есть и позитивные. В текущей работе у многих сотрудников РАЭ отмечен личностный рост (по данным психологических тестов), более выраженный у молодых полярников, не имевших ранее опыта участия в антарктических экспедициях, более выраженный при высоком уровне нейротизма. Хотя лица с высоким нейротизмом испытывали больше трудностей в адаптации, но и положительные психологические изменения у них были более отчетливы.

Авторы благодарят ООО «Мицар» за предоставление оборудования и программного обеспечения для проведения исследований, коллег из Института мозга человека им. Н.П. Бехтерева РАН за помощь в разработке научной программы, начальника рейса на НЭС «Академик Трёшников», начальников и врача станции Беллинсгаузен в 66-й и 67-й РАЭ за помощь в организации работы во время экспедиции, а также участников 67-й и 66-й РАЭ, которые согласились быть добровольными испытуемыми в данном исследовании.

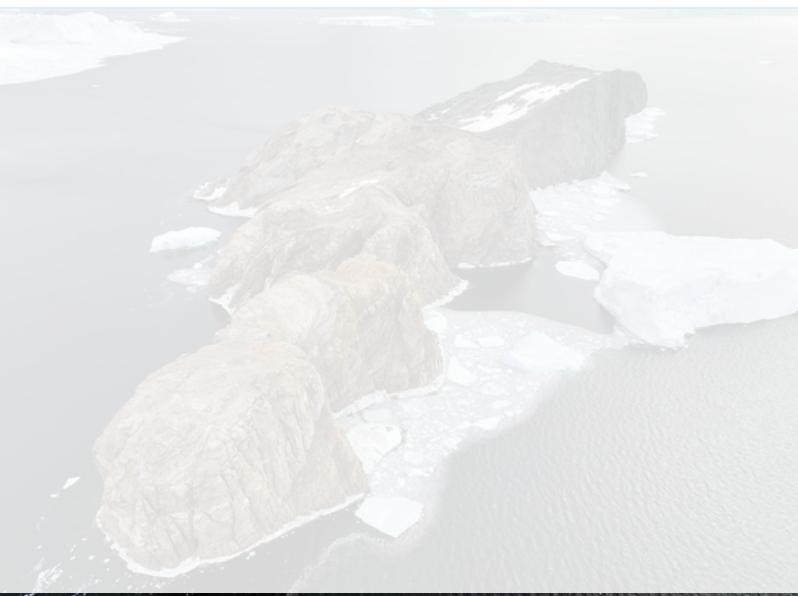
Ю.Г. Хоменко (Институт мозга человека имени Н.П. Бехтерева РАН), К.К. Левандо (АНИИ).

Фото А.В. Гузевой

ГЕОЛОГО-ГЕОФИЗИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ В РАЙОНЕ ХОЛМОВ ЛАРСЕМАНН В 68-й РАЭ ПО ФЕДЕРАЛЬНОМУ ПРОЕКТУ «ГЕОЛОГИЯ. ВОЗРОЖДЕНИЕ ЛЕГЕНДЫ»

С 6 января по 17 февраля 2023 года сотрудники ФГБУ «ВНИИОкеангеология» в составе сезонных работ 68-й РАЭ провели геологические и геофизические исследования холмов Ларсеманн и прилегающих островов и нунатаков — одиночных скал и поднятий над поверхностью ледника. Изучаемая территория располагается на Береге Ингрид Кристенсен в районе залива Прюдс (Восточная Антарктида) и занимает площадь около 6 000 км². Собственно холмы Ларсеманн представляют собой достаточно крупный и хорошо обнаженный антарктический оазис площадью около 60 км². Здесь расположены четыре полевые станции: российская станция Прогресс, китайская станция Зонг-Шанг, индийская станция Бхарати и сезонная австрало-румынская станция Лоу-Раковице.

Остров Далкой сложен метаморфическими гнейсами (рыжие породы на переднем плане) и серыми гранитами



Холмы Ларсеманн с сопредельными нунатаками и островами многие годы являются объектом отечественных и зарубежных исследований, которые нацелены на понимание геодинамической эволюции центральной части Восточной Антарктиды в контексте амальгамации (т. е. объединения блоков земной коры) и распада древних суперконтинентов Родинии и Гондваны. Обширный гранитоидный магматизм, развитый в районе холмов Ларсеманн, служит индикатором геодинамических обстановок, но многие проблемы его эволюции до сих пор остаются нерешенными. Метаморфические комплексы изучались многими специалистами, однако такие важнейшие их характеристики, как количество и последовательность деформаций на разных этапах развития

Остров Сандеркок, на котором вертолет Ка-32 осуществил авиадесантную часть геологических маршрутов

