

ISSN 2077-8333 (print)  
ISSN 2311-4088 (online)

# ЭПИЛЕПСИЯ и пароксизмальные состояния

2023 Том 15 №1



EPILEPSY AND PAROXYSMAL CONDITIONS

2023 Vol. 15 №1

[www.epilepsia.su](http://www.epilepsia.su)

Данная интернет-версия статьи была скачана с сайта [www.epilepsia.su](http://www.epilepsia.su). Не предназначено для использования в коммерческих целях.  
Информацию о репринтах можно получить в редакции. Тел.: +7 (495) 649-54-95; эл. почта: [info@irbis-1.ru](mailto:info@irbis-1.ru).

# Обзор возможностей современного программного обеспечения для регистрации и анализа ЭЭГ

Иванов А.А.

Общество с ограниченной ответственностью «Нейрософт» (ул. Воронина, д. 5, Иваново 153032, Россия)

Для контактов: Иванов Алексей Алексеевич, e-mail: [iva@neurosoft.com](mailto:iva@neurosoft.com)

## РЕЗЮМЕ

Целью данной статьи является знакомство медицинских специалистов, занимающихся регистрацией и анализом электроэнцефалографических (ЭЭГ) исследований, с базовыми принципами работы и возможностями современного компьютерного программного обеспечения (ПО) для регистрации и анализа ЭЭГ. Понимание основ работы ПО должно помочь медицинскому персоналу правильно использовать весь его функционал и в конечном итоге повысить качество медицинского обслуживания. В статье рассмотрены базовые и инновационные возможности компьютерного ПО в области математической обработки и анализа ЭЭГ-сигналов, описаны ограничения применения методов математической обработки.

## КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА

Электроэнцефалография, ЭЭГ, программное обеспечение, цифровая фильтрация, математическая обработка ЭЭГ, автоматические инструменты поиска графоэлементов.

Статья поступила: 27.01.2023 г.; в доработанном виде: 20.02.2023 г.; принята к печати: 02.03.2023 г.

## Конфликт интересов

Автор является сотрудником компании «Нейрософт» – российского производителя ЭЭГ-оборудования.

## Для цитирования

Иванов А.А. Обзор возможностей современного программного обеспечения для регистрации и анализа ЭЭГ. *Эпилепсия и пароксизмальные состояния*. 2023; 15 (1): 53–69. <https://doi.org/10.17749/2077-8333/epi.par.con.2023.144>.

## Overview of current software capabilities for EEG recording and analyzing

Ivanov A.A.

Neurosoft LLC (5 Voronin Str., Ivanovo 153032, Russia)

Corresponding author: Alexey A. Ivanov, e-mail: [iva@neurosoft.com](mailto:iva@neurosoft.com)

## SUMMARY

This article is aimed at familiarizing medical specialists involved in the registration and analysis of electroencephalographic (EEG) examinations with the basic principles of work and the capabilities of current computer software for EEG recording and analyzing. Understanding the basics of how the software works should help medical staff use all its functionality correctly and ultimately improve the quality of medical care. The basic and innovative capabilities of computer software in the field of mathematical processing and analysis of EEG signals are discussed, the limitations of using mathematical processing methods are described.

## KEYWORDS

Electroencephalography, EEG, software, digital filters, mathematical EEG processing, automatic tools for searching graph elements.

Received: 27.01.2023; in the revised form: 20.02.2023; accepted: 02.03.2023

**Conflict of interests**

The author is an employee of the Neurosoft company – a Russian manufacturer of EEG equipment.

**For citation**

Ivanov A.A. Overview of current software capabilities for EEG recording and analyzing. *Epilepsia i paroksizmal'nye sostoania / Epilepsy and Paroxysmal Conditions*. 2023; 15 (1): 53–69 (in Russ.). <https://doi.org/10.17749/2077-8333/epi.par.con.2023.144>.

**ВВЕДЕНИЕ / INTRODUCTION**

Современный цифровой комплекс для регистрации электроэнцефалографических (ЭЭГ) сигналов является сложным с технической точки зрения оборудованием. Часто медицинские специалисты, работающие на нем, имеют лишь поверхностное понимание принципов его функционирования, что затрудняет их работу на подобных системах и корректную интерпретацию результатов.

В первой публикации данного цикла мы постарались доступным языком описать базовые принципы работы современного электроэнцефалографа [1]. В этой статье расскажем о не менее важной части любого современного комплекса для ЭЭГ-исследований – компьютерном программном обеспечении (ПО). От умения работать с ПО, от знания его возможностей и понимания ограничений методов обработки ЭЭГ-сигналов часто зависит качество интерпретации записанных исследований.

Данный материал содержит описание как базовых, так и инновационных возможностей современного ПО для регистрации и анализа ЭЭГ на примере программы «Нейрон-Спектр.NET» (ООО «Нейрософт», Россия). Од-

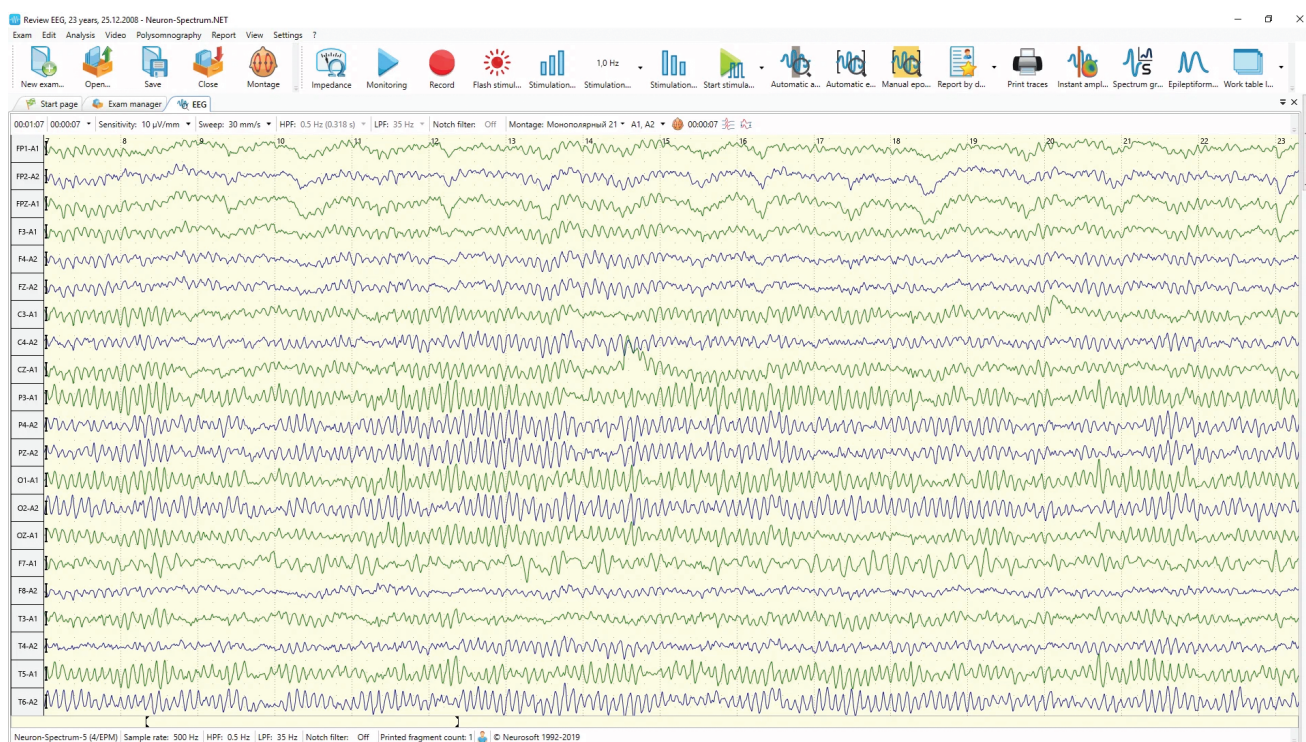
нако он будет полезен и специалистам, работающим на любом другом современном ЭЭГ-комплексе, т.к. возможности ПО в них схожи.

**РЕГИСТРАЦИЯ ЭЭГ / EEG REGISTRATION**

Первой важнейшей функцией ПО любого ЭЭГ-комплекса является собственно регистрация сигналов ЭЭГ и их отображение на экране компьютера (рис. 1).

При кажущейся простоте уже на этом этапе ПО различных систем для регистрации ЭЭГ достаточно сильно разнятся. Тем не менее основные функции реализуют практически все производители. К базовому функционалу относятся:

- просмотр ЭЭГ-кривых во время и после записи;
- возможность переключения монтажей во время регистрации и просмотра;
- изменение масштаба, скорости развертки отображения кривых;
- установка фильтров для всех кривых и отдельно по выделенной кривой;
- управление видимостью кривых;



**Рисунок 1.** Отображение ЭЭГ-сигналов на экране компьютера

**Figure 1.** Displaying EEG signals on a computer screen



- расстановка маркеров событий во время записи;
- проведение функциональных/активационных проб;
- включение синхронной записи видеонаблюдения за пациентом.

Перечисленного функционала вполне достаточно для проведения типовых ЭЭГ-исследований. Обычно эту часть работы выполняют ЭЭГ-техники (средний медицинский персонал).

Однако современное ПО содержит довольно много функций, ускоряющих и упрощающих выполнение ЭЭГ-исследования, его обработку и анализ. Например, в режиме регистрации ЭЭГ в некоторых программах может применяться так называемый мастер регистрации, который позволяет проводить исследование в полуавтоматическом режиме. В зависимости от настройки мастер может автоматически провести следующие шаги ЭЭГ-исследования:

- измерение подэлектродного импеданса;
- мониторинг сигнала ЭЭГ без его записи в базу данных;
- запись сигнала ЭЭГ в базу данных на компьютере;
- проведение заданных функциональных проб (для каждой пробы задается своя продолжительность);
- автоматическое выделение артефактов записи;
- автоматическая расстановка эпох анализа;
- автоматический поиск эпилептиформной активности;
- формирование протокола заключения по заранее сформированному шаблону.

Таким образом, использование программируемого мастера регистрации дает возможность существенно упростить процедуру регистрации ЭЭГ-исследования и выполнять его в полуавтоматическом режиме.

Следует отметить, что в ПО компании «Нейрософт» мастер регистрации, позволяющий проводить рутинное ЭЭГ-исследование в автоматическом режиме, по умолчанию настроен в соответствии с Рекомендациями экспертного совета по нейрофизиологии Российской Противозепилептической Лиги по регистрации рутинной

ЭЭГ [2]. Монтажи регистрации, фильтры [3], масштабы отображения, функциональные пробы, параметры фотостимуляции и прочие настройки соответствуют этим рекомендациям. Но пользователь имеет возможность настроить любой параметр под свои нужды.

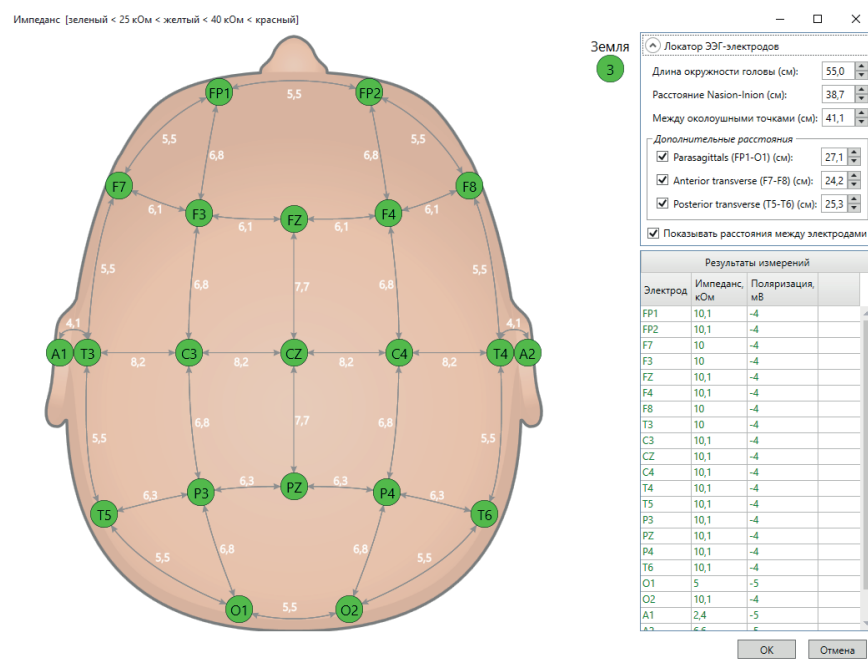
## ИЗМЕРЕНИЕ ИМПЕДАНСА / IMPEDANCE MEASUREMENT

Перед записью любого ЭЭГ-исследования предварительно необходимо наложить на голову пациента регистрирующие электроды. Чтобы убедиться в высоком качестве наложения электродов, используется режим измерения подэлектродного сопротивления (импеданса) (рис. 2). Чем ниже уровень сопротивления между электродом и кожей головы пациента, тем выше качество регистрируемого ЭЭГ-сигнала и тем ниже уровень шумов. Обычно в программе можно задать уровень импеданса, при котором электрод подсвечивается зеленым, желтым или красным цветом.

Кроме отображения импеданса в данном окне также может быть указано расстояние между электродами. Это функция «локатор электродов», предназначенная для начинающих ЭЭГ-техников, которые пока неуверенно владеют международной системой «10–20%» [4]. Для корректной работы данной функции технику необходимо ввести в окно измерения импеданса длину окружности головы пациента и расстояние между точками Nasion и Inion [5].

В режиме записи ЭЭГ-сигнала текущий подэлектродный импеданс может отображаться цветом на названии соответствующей ЭЭГ-кривой (зеленый, желтый, красный), однако эта функция доступна не во всех ЭЭГ-регистраторах (рис. 3).

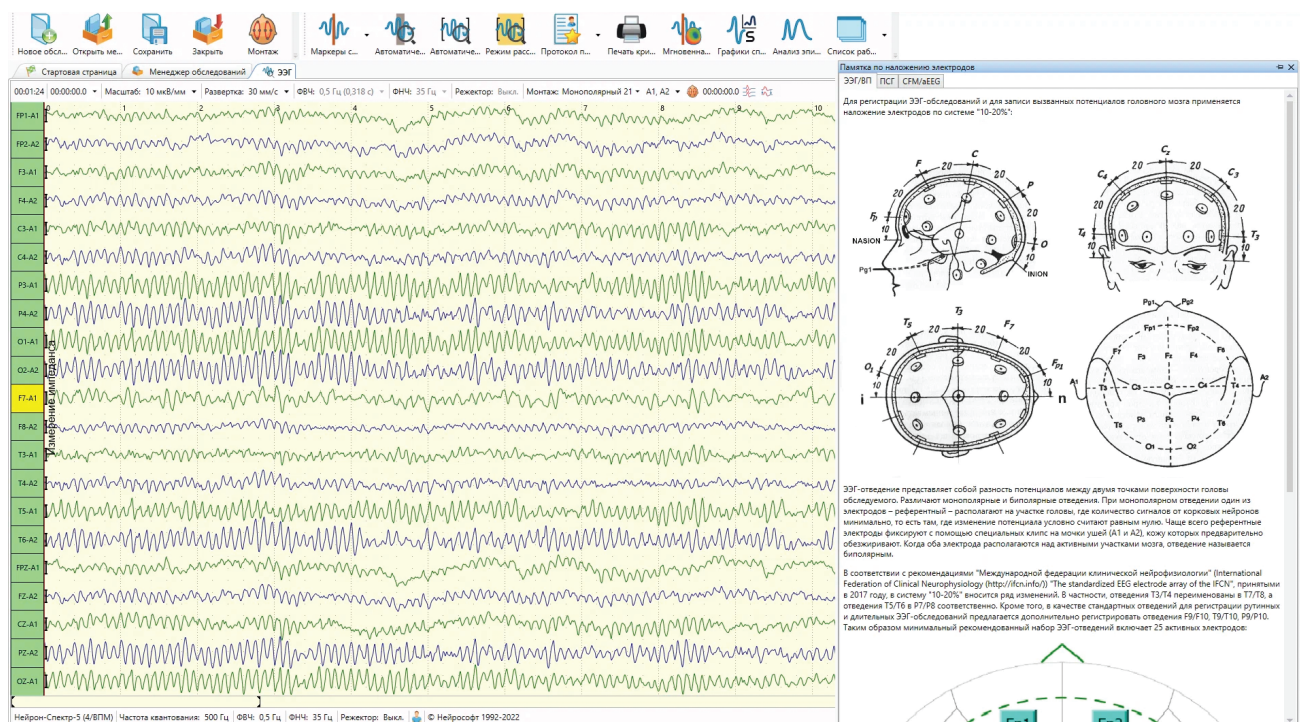
Признаком хорошего тона считается измерение импеданса не только перед началом регистрации ЭЭГ, но и по-



**Рисунок 2.** Измерение импеданса обычно проводится перед началом записи и после ее окончания. При длительных обследованиях импеданс может измеряться с заданным интервалом, например каждый час записи. Это позволяет убедиться в качестве наложения электродов и регистрируемого сигнала в течение всей записи

**Figure 2.** Impedance measurements are usually carried out before and after recording. For long surveys, the impedance can be measured at a predetermined interval, such as every hour of recording allowing to verify the quality of electrodes application and the recorded signal throughout the entire recording





**Рисунок 3.** Измерение импеданса непосредственно во время регистрации ЭЭГ

**Figure 3.** Impedance measurement immediately during EEG recording

сле ее окончания – как доказательство того, что за время записи импеданс электродов не ухудшился.

Своевременная оценка качества наложения электродов особенно необходима при продолженных ЭЭГ-исследованиях и позволяет персоналу предотвратить запись ЭЭГ-кривых низкого качества. Как только по одному из электродов импеданс увеличивается до «красного» уровня, программа выдает предупреждение, а при соответствующей настройке может отправить уведомление по электронной почте или в мессенджер.

## ФУНКЦИОНАЛЬНЫЕ ПРОБЫ / FUNCTIONAL TESTS

Любое программное обеспечение для регистрации ЭЭГ в том или ином виде позволяет проводить функциональные (активационные) пробы. К ним относят открывание глаз, фотостимуляцию и гипервентиляцию. Кроме того, между активационными пробами регистрируется фоновая биоэлектрическая активность. Обычно рутинное ЭЭГ-исследование проводится в следующем порядке [2]:

- фоновая запись (проводится в затемненном помещении с закрытыми глазами);
- открывание глаз;
- закрывание глаз;
- фотостимуляция;
- после фотостимуляции;
- гипервентиляция;
- после гипервентиляции.

Для каждой из перечисленных проб рекомендована своя продолжительность записи. В зависимости от целей исследования набор проводимых проб может со-

кращаться или расширяться, например за счет пробы с фотостимуляцией.

Важно помнить, что некоторые перечисленные пробы (фотостимуляция, гипервентиляция) являются провокационными и могут вызвать эпилептический приступ у пациента; для некоторых есть противопоказания. Поэтому проведение ЭЭГ-исследования с активационными пробами допускается только под надзором медицинского персонала соответствующей квалификации [2].

Для отметки функциональных проб в программах обычно используются соответствующие кнопки на панели инструментов (рис. 4), однако в некоторых программах для регистрации функциональных проб предусмотрены различные полезные функции. Например, для функциональных проб могут быть заданы голосовые команды. В этом случае ЭЭГ-технику не нужно каждый раз просить пациента закрывать или открывать глаза при проведении соответствующих функциональных проб, программа сделает это автоматически заранее записанным голосом оператора. Кроме того, на кнопке с названием пробы программа может отображать прогресс записи так, что оператор наглядно увидит, через какое время заканчивается текущая и стартует следующая функциональная проба.

## ДОПОЛНИТЕЛЬНОЕ ОКНО ДЛЯ ПРОСМОТРА ЭЭГ И ОНЛАЙН-АНАЛИЗ / ADDITIONAL WINDOW FOR VIEWING EEG AND ONLINE ANALYSIS

Обычно регистрацией ЭЭГ-исследования занимается ЭЭГ-техник. После проведения обследования врач про-

# Практические и технические аспекты ЭЭГ / EEG practical and technical aspects

смаатривает записанные кривые, проводит их анализ и подготавливает заключение. Однако иногда может потребоваться просматривать записанные ЭЭГ-кривые уже во время записи. Особенно это актуально для длительных обследований, когда нет возможности ждать окончания записи, а требуется провести просмотр и анализ уже записанной части обследования. Современные программы по обработке ЭЭГ позволяют это сделать.

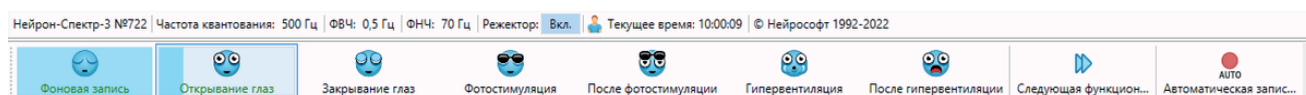
Для реализации данной функции служит дополнительное окно просмотра ЭЭГ, в котором можно увидеть уже записанную часть ЭЭГ-кривых в произвольных монтажах, масштабах, с произвольными фильтрами [3]. Кроме того, во многих современных программах предусмотрены инструменты для онлайн-анализа, позволяющие выполнять математическую обработку ЭЭГ в реальном времени непосредственно при регистрации

обследования (рис. 5). Это существенно экономит время на просмотр и анализ результатов.

## ДВУХМОНИТОРНЫЙ РЕЖИМ РАБОТЫ ПРОГРАММЫ / TWO-MONITOR OPERATION MODE

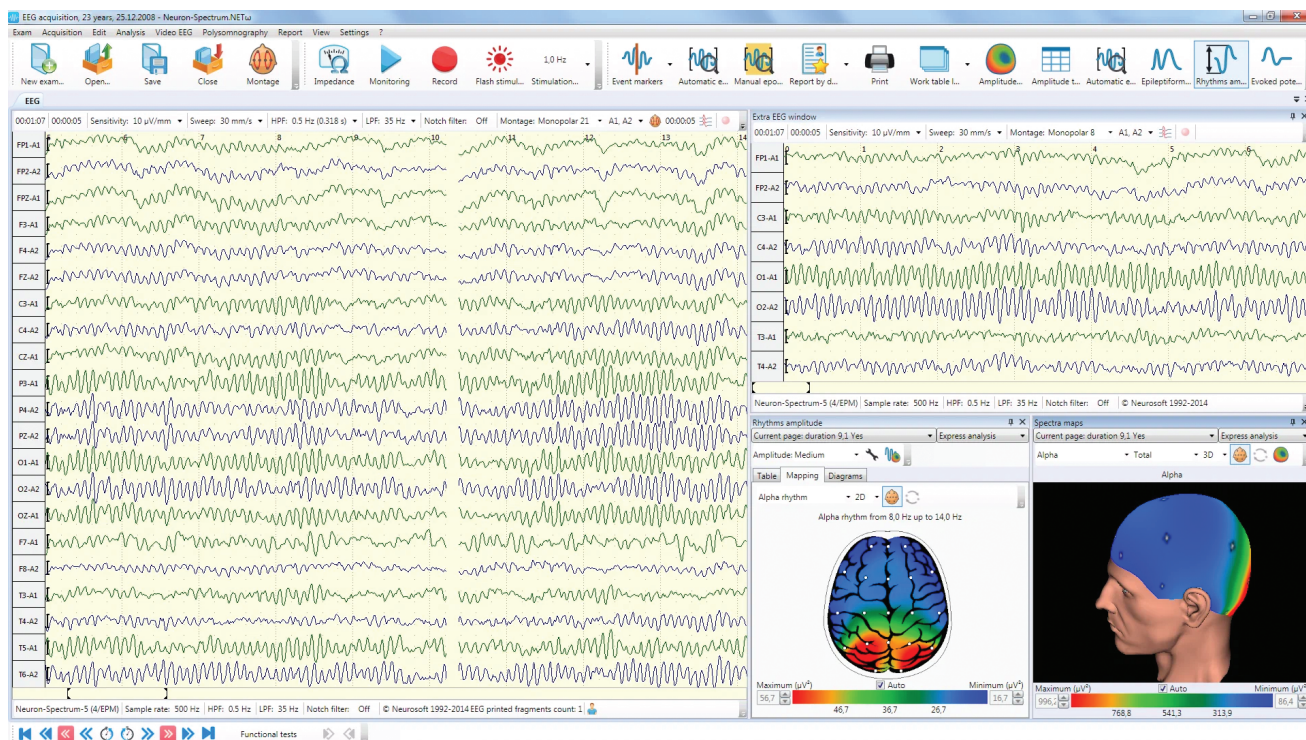
При обработке данных ЭЭГ-исследования на экране компьютера довольно часто требуется одновременно просматривать несколько окон: с кривыми, видео, результатами анализа, заключением. На одном мониторе работать бывает сложно.

Поэтому современные программы по анализу ЭЭГ реализуют поддержку двухмониторного режима работы, при котором окна автоматически располагаются на двух экранах. У пользователя есть возможность разместить



**Рисунок 4.** Продолжительность функциональных проб задана с учетом рекомендаций [4], но ЭЭГ-техник может перейти к записи следующей пробы в любое время. На кнопках функциональных проб предусмотрен прогресс-бар для отображения времени записи пробы

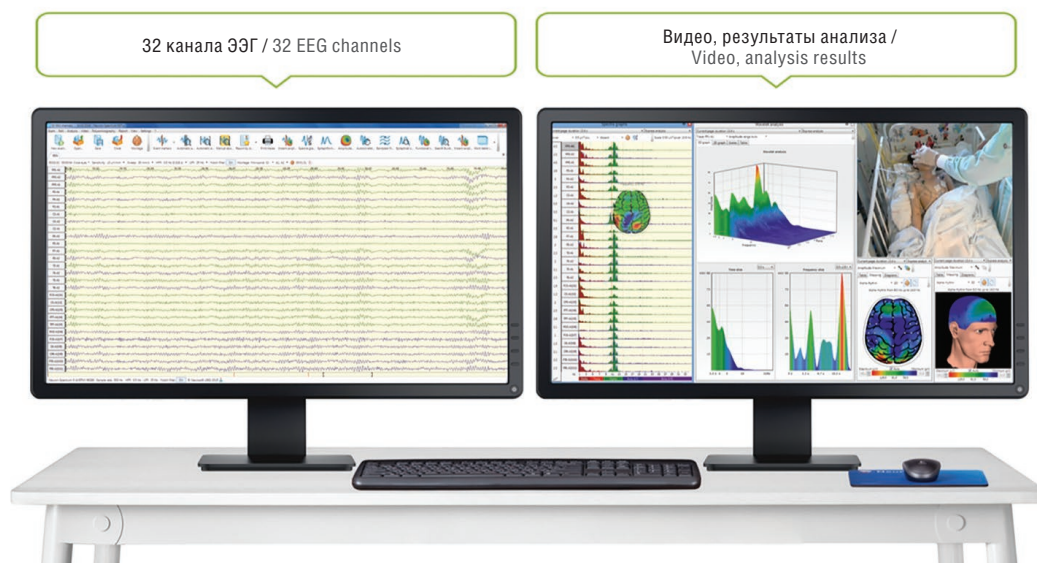
**Figure 4.** The length of functional tests is set according to the recommendations [4], but the EEG technician can proceed to recording the next test at any time. Functional test buttons have a progress bar to display the time of test recording



**Рисунок 5.** Во время записи ЭЭГ-исследования есть возможность проводить онлайн-анализ и просматривать уже записанную часть ЭЭГ-кривых. Это экономит время на анализ. Слева отображаются кривые ЭЭГ, которые записываются в реальном времени, справа – дополнительное окно для просмотра записанных ЭЭГ-кривых и окна онлайн-анализа

**Figure 5.** While recording EEG, it is possible to conduct online analysis and view the already recorded part of the EEG curves that saves time on analysis. The EEG curves that are recorded in real time are displayed on the left, an additional window for viewing the recorded EEG curves and online analysis windows are displayed on the right



**Рисунок 6.**Двухмониторный  
режим работы**Figure 6.** Dual  
monitor mode

окна вручную и запомнить их расположение на «рабочем столе» (рис. 6).

Это позволяет сделать работу по анализу обследования более комфортной.

## РАБОТА С СЕНСОРНЫМ ДИСПЛЕЕМ / WORKING WITH TOUCH SCREEN

В последнее время все большую популярность приобретают сенсорные дисплеи, позволяющие работать с компьютером без мыши и клавиатуры. Это удобно в ряде случаев для проведения ЭЭГ-исследований, например при мониторинге церебральной функции новорожденных или при записи ЭЭГ в палатах интенсивной терапии, когда для мыши и клавиатуры просто нет места.

Во многих современных программах предусмотрен специальный режим для работы с сенсорным дисплеем, в котором применены крупные кнопки, есть возможности прокрутки кривых и трендов, блокировки пользовательского интерфейса для исключения случайных нажатий.

В любом режиме работы программы обычно доступно окно помощи с описанием мест установки ЭЭГ-электродов в соответствии с международной системой «10–20%» [4, 5] (см. рис. 3).

## НАВИГАЦИЯ ПО ЗАПИСАННОМУ ОБСЛЕДОВАНИЮ / NAVIGATION THROUGH A RECORDED EXAMINATION

После того как ЭЭГ-исследование записано, его нужно просмотреть. Для навигации по записи в современных

программах предусмотрено множество инструментов:

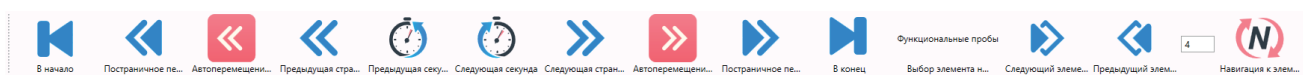
- прокрутка кривых вперед/назад с помощью колеса мыши;
- плавное или постраничное автоматическое перемещение по кривым вперед/назад;
- постраничное листание ЭЭГ-кривых с помощью клавиш PgUp/PgDn;
- панель инструментов с кнопками навигации по функциональным пробам, маркерам событий, выделенным эпизодам (рис. 7);
- полоса навигации под кривыми для мгновенного перемещения в любой участок записи.

С использованием перечисленных инструментов для навигации просмотр обследования не вызывает затруднений.

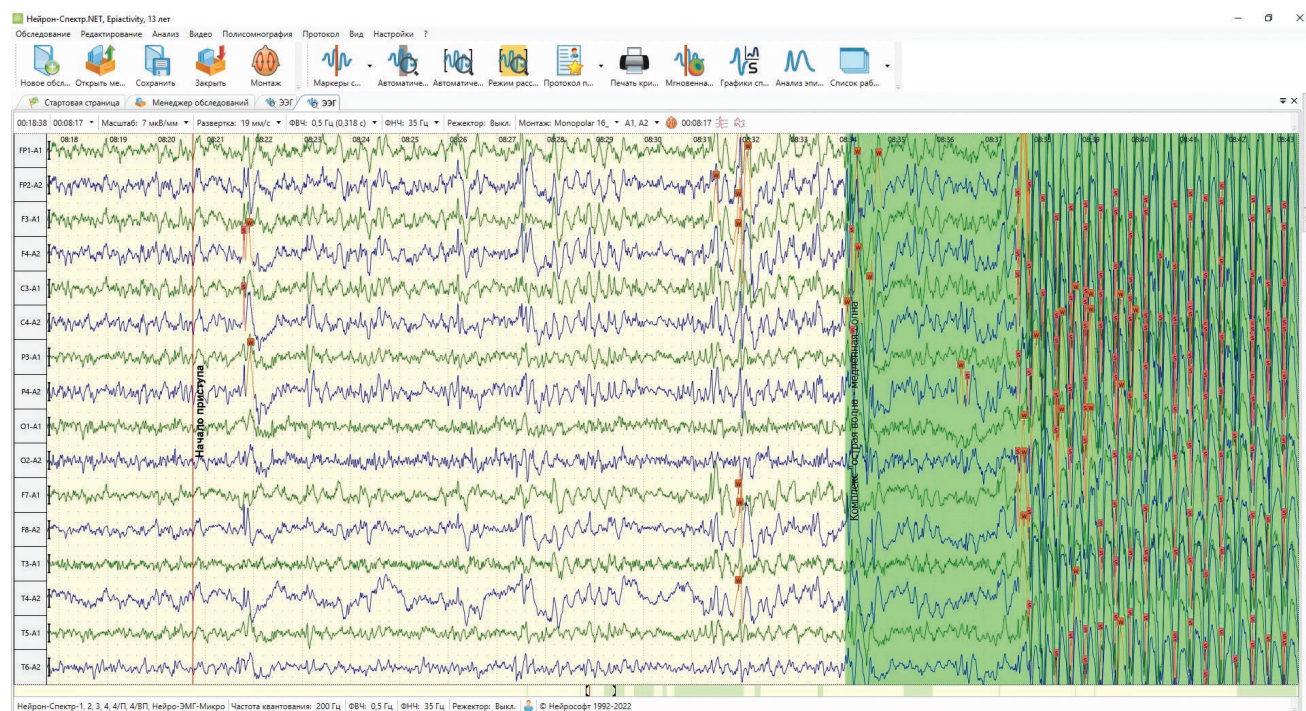
## МАРКЕРЫ СОБЫТИЙ И ВЫДЕЛЕННЫЕ ФЕНОМЕНЫ / EVENT MARKERS AND HIGHLIGHTED PHENOMENA

Во время просмотра ЭЭГ-кривых, так же как и во время их записи, часто требуется отмечать какие-то события или выделять некоторые феномены. Это может делать как техник, проводящий обследование, так и врач, его анализирующий. Для этого в современных программах предусмотрены все необходимые инструменты.

С помощью «маркеров событий» (рис. 8) пользователь имеет возможность отмечать любые события во время записи, а с помощью выделения эпизодов кривых можно выделить и сохранить такие феномены, как артефакт записи, эпилептиформная активность и др. Список доступных маркеров событий и феноме-

**Рисунок 7.** Панель инструментов для навигации по записанному обследованию**Figure 7.** Toolbar for navigating through a recorded examination





**Рисунок 8.** Пример маркера события и выделенного феномена эпилептической активности. Цвет маркера события, как и цвет выделения феномена, может быть задан пользователем

**Figure 8.** A representative example of an event marker and highlighted epiactivity phenomenon. User-set color of an event marker as well as the color of phenomenon background

нов ЭЭГ может быть расширен пользователем по своему усмотрению.

## ВИДЕО-ЭЭГ / VIDEO-EEG

Для синхронной записи и просмотра ЭЭГ и видеонаблюдения за поведением пациента в современных программах имеется много удобных функций [6].

Во-первых, сетевые видеокамеры поддерживают управление углом поворота и масштабированием непосредственно из программы, что делает работу с ними гораздо удобнее. Во-вторых, камеры имеют встроенный микрофон и автоматически могут переключаться в режим день/ночь. В-третьих, программы поддерживают одновременную запись видео с двух или даже трех видеокамер. Все это существенно упрощает оборудование видео-ЭЭГ-лаборатории (рис. 9).

Некоторые камеры имеют не только встроенный микрофон, но и спикерфон. В таком случае оператор может общаться с пациентом, находящимся в палате, непосредственно с поста наблюдения. Кроме того, сейчас часто стали применяться технологии детекции движения по видео: программа сохраняет в обследовании только те фрагменты видео, во время которых было зафиксировано движение, сокращая тем самым результирующий объем обследования за счет удаления видеофрагментов, во время которых движения не было (рис. 10).

Так или иначе, в любой программе по обработке видео-ЭЭГ предусмотрены инструменты для удаления «лишнего» видео из обследования. Некоторые программы позволяют предварительно выделить те фрагменты,

в которых видео необходимо сохранить, а все остальные удалить.

Все чаще в современных реалиях видео-ЭЭГ-мониторинг проводится не в специально оборудованных палатах в клиниках, а на дому у пациента (рис. 11) [7]. Этот подход имеет ряд преимуществ:

- это удобнее для пациента, поскольку ему не нужно покидать дом, выезжать в клинику, ночевать в непривычных условиях;

- в конечном итоге это оказывается дешевле для клиники, т.к. не требуются специально оборудованная палата и персонал, дежурящий у постели больного на протяжении всего обследования (доступ к данным ЭЭГ в реальном времени можно получить через Интернет) [7];

- эффективность такого обследования оказывается выше, поскольку в домашних условиях приступы эпилепсии случаются стабильнее, чем в непривычных для пациента условиях клиники.

Подключившись к станции регистрации через Интернет, техник или врач может в реальном времени наблюдать за больным, отслеживать качество регистрируемых кривых, измерять импеданс, общаться с пациентом.

## ОБЛАЧНЫЕ БАЗЫ ДАННЫХ / CLOUD DATABASES

Еще одной возможностью современных программ для работы с ЭЭГ является поддержка облачных баз данных для хранения данных пациентов и обследований.

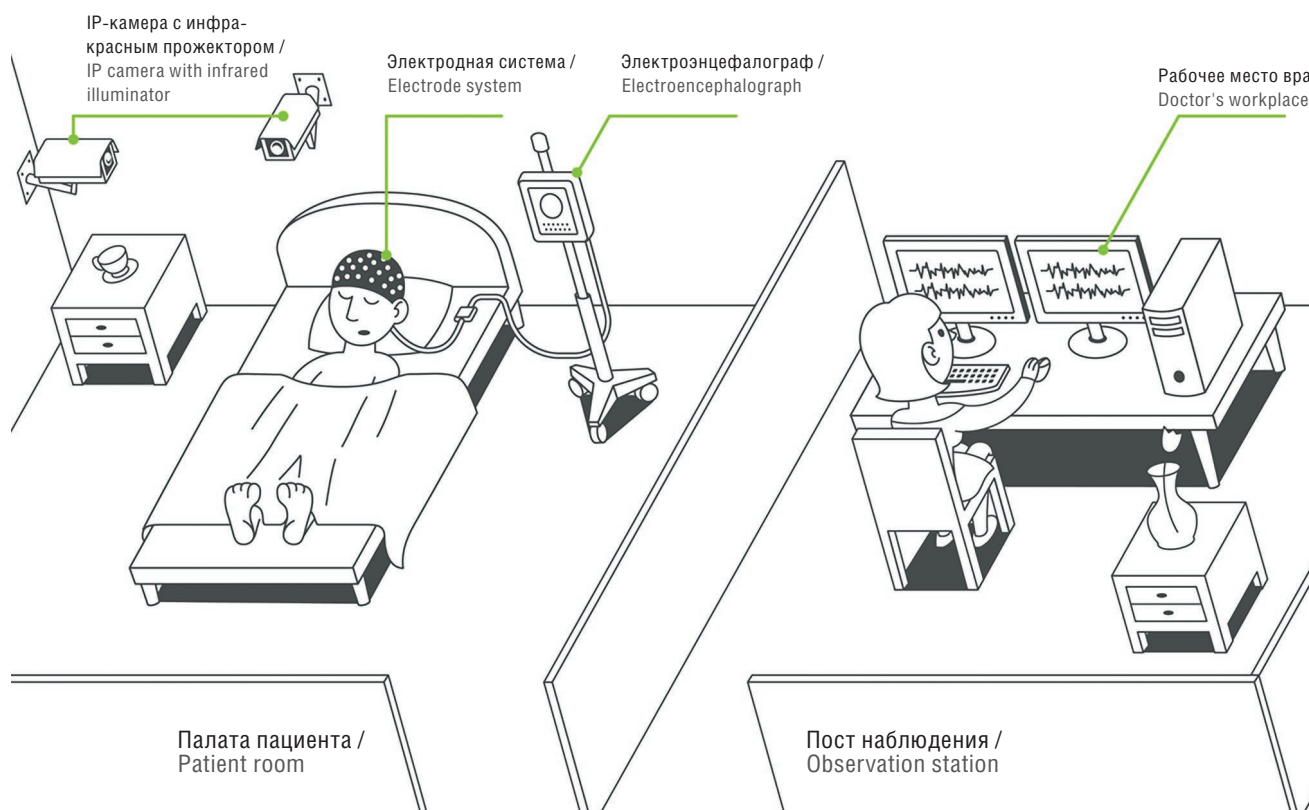


Рисунок 9. Современная видео-ЭЭГ-лаборатория

Figure 9. Modern video-EEG laboratory



Рисунок 10. Запись видео-ЭЭГ

Figure 10. Video-EEG recording

Облачное хранилище позволяет врачу получить доступ к данным обследований своих пациентов через Интернет, находясь в сотнях километров от клиники, например в командировке [7].

Организация облачного хранения с возможностью удаленного доступа к данным открывает новые возможности в работе ЭЭГ-клиники. Например, схема на рисунке 12 демонстрирует организацию сети клиник,





**Рисунок 11.** Пример проведения видео-ЭЭГ-мониторинга на дому у пациента

**Figure 11.** A representative example of video-EEG monitoring at patient's home

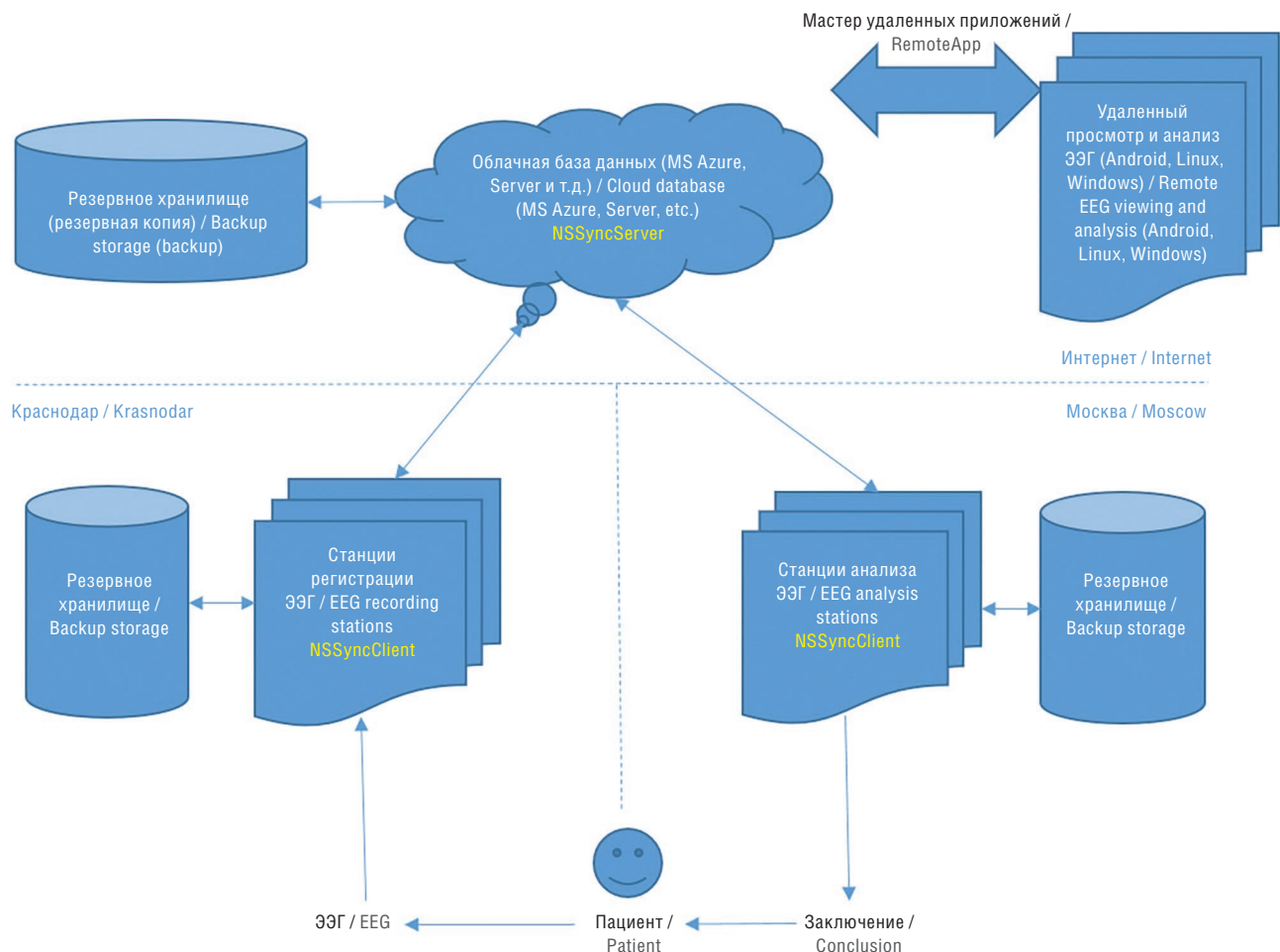
распределенной по разным городам. Обследование, записанное в одном городе, может быть без проблем проанализировано в другом. Это позволяет пациентам получать высококвалифицированную медицинскую помощь, даже находясь в «глубинке».

Хранение персональных медицинских данных пациентов в облачных базах регулируется Федеральным законом от 27 июля 2006 г. № 152-ФЗ «О персональных данных» [8].

### АНАЛИЗ ЭЭГ / EEG ANALYSIS

После того как ЭЭГ-исследование записано, оно переходит на следующую стадию: просмотр и анализ. За этот этап отвечает уже не техник, а врач. Кроме визуального просмотра и оценки кривых ЭЭГ современные программы содержат большое количество инструментов для математической обработки ЭЭГ:

- спектральный анализ (преобразование Фурье) позволяет оценить частотный состав сигнала, преобладающие ритмы волн, их индексы [9];



**Рисунок 12.** Схема организации сети клиник, распределенных по разным городам с единой системой хранения обследований в облачной базе данных.

NSSyncClient и NSSyncServer – специализированное программное обеспечение для синхронизации данных обследований между базами данных

**Figure 12.** Scheme of organizing a network of clinics distributed in different cities with a single system for storing examinations in a cloud database.

NSSyncClient and NSSyncServer – specialized software for synchronizing examination data between databases



- амплитудный анализ показывает амплитудный состав сигнала ЭЭГ, максимальные и средние амплитуды на выделенных участках записи или для выбранных ритмов волн [9];
- корреляционный анализ дает возможность оценить степень схожести ЭЭГ-сигнала по разным отведениям [10];
- когерентный анализ отображает схожесть спектрального состава ЭЭГ-сигнала, записанного по разным отведениям [10].
- периодометрический анализ позволяет из расчета периода волн и их амплитуды сделать вывод о спектральном и амплитудном составе ЭЭГ-сигнала [11].

Существуют и более экзотические виды математической обработки ЭЭГ-сигналов, которым будет посвящена следующая статья цикла.

Результаты каждого вида анализа могут быть представлены в виде таблиц, графиков, топографических карт (рис. 13).

Анализ записанной ЭЭГ может выполняться либо в онлайн-режиме, когда в расчет попадает видимая на экране или выделенная мышью часть кривых, либо в режиме анализа эпох. Для этого на ЭЭГ-кривых необходимо предварительно выделить эпохи анализа – стационарные фрагменты записи без артефактов, пригодные для анализа. Как правило, в каждой функциональной пробе требуется выделить несколько эпох анализа для корректного расчета всех количественных параметров ЭЭГ [12]. Современные программы позволяют выделить эпохи анализа автоматически, но предпочтительнее все-таки делать это в ручном режиме.

## ТОПОГРАФИЧЕСКОЕ КАРТИРОВАНИЕ / TOPOGRAPHIC MAPPING

Одним из распространенных видов представления результатов анализа ЭЭГ является топографическое картирование. В виде цвета, распределенного по поверхности головы, может быть представлен любой количественный параметр ЭЭГ: амплитуда ЭЭГ, индекс альфа-ритма, мощность спектра и др. Например, на топографической карте индекса альфа-ритма (рис. 14) наглядно видно распространение альфа-ритма по скальпу. Дополнительно на карте можно вывести картируемые значения – у примеру, в затылочных отведениях индекс альфа-ритма составляет 59–66%.

Цветовая палитра для топографических карт может быть задана в настройках программы. Минимум палитры должна содержать два цвета: для максимальных и минимальных значений. Для всех остальных картируемых значений цвет будет рассчитан программой автоматически. Например, на карте, представленной на рисунке 15, палитра содержит шесть цветов. Максимальные значения будут отображаться красным, минимальные – синим, средние – зеленым.

В современных компьютерных программах топографические карты могут быть представлены в двумерном или трехмерном режиме (рис. 16). Трехмерное отображение – это скорее дань моде, чем реально полезная функция. На практике двумерные карты оказываются нагляднее.

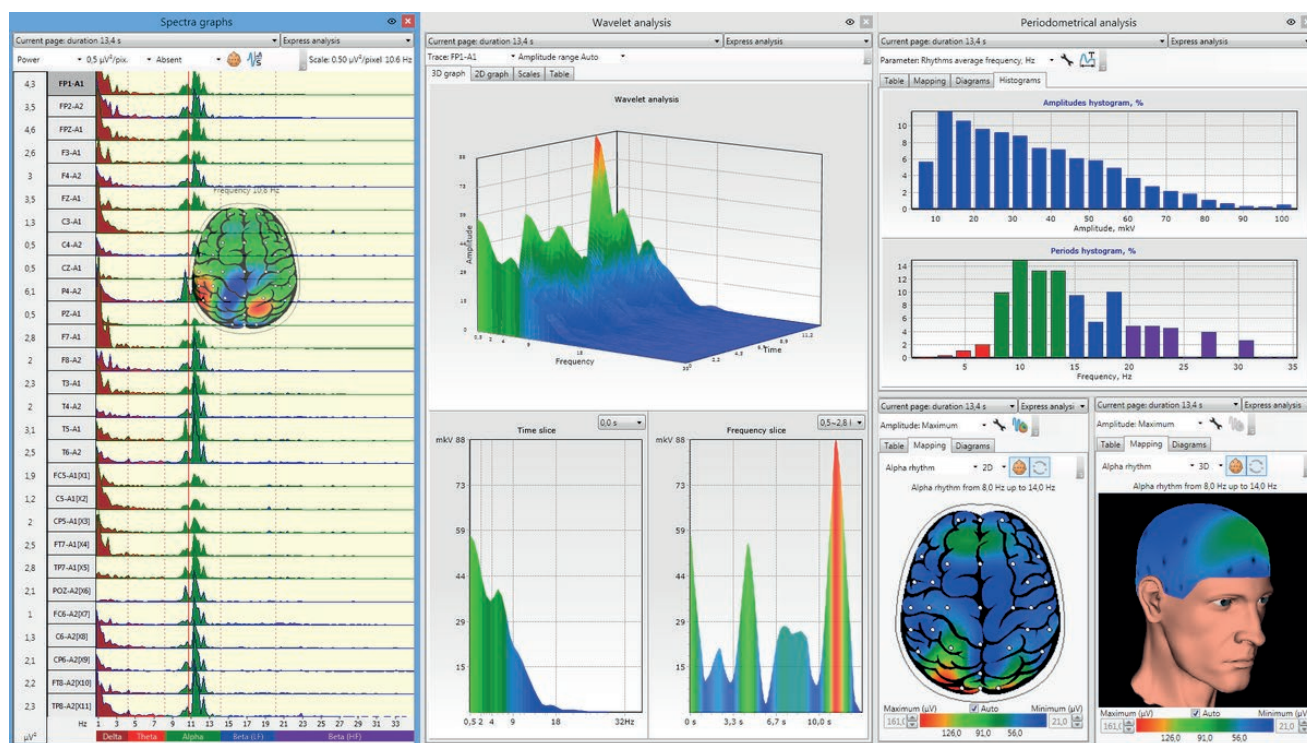
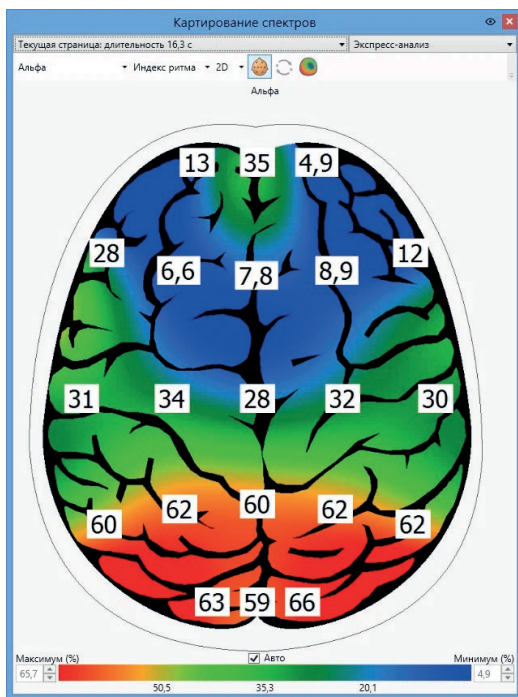


Рисунок 13. Возможные окна анализа ЭЭГ в программе «Нейрон-Спектр.NET»

Figure 13. Possible EEG analysis windows in the Neuron-Spectrum.NET program



**Рисунок 14.** Топографическое картирование индекса альфа-ритма

**Figure 14.** Topographic mapping of the alpha rhythm index

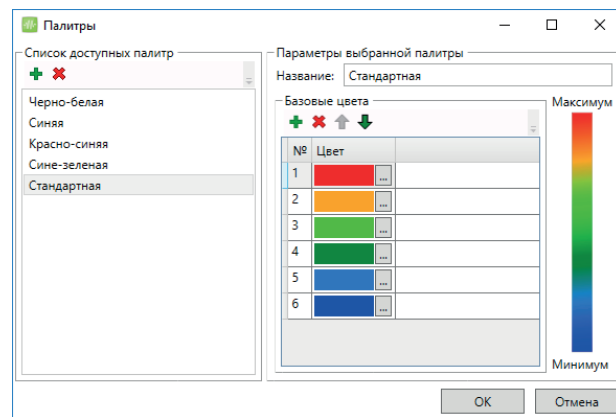
## ТРЕНДЫ ЭЭГ / EEG TRENDS

При анализе длительных ЭЭГ-записей особую ценность представляет такой инструмент, как тренды ЭЭГ, позволяющие проводить анализ гораздо быстрее за счет представления большого количества информации на одном экране (рис. 17). Тренды особенно полезны при анализе ЭЭГ в палатах интенсивной терапии и при нейромониторинге новорожденных, когда нужно быстро оценить ЭЭГ-запись длительного обследования.

Каждый тренд представляет собой некий параметр ЭЭГ, рассчитанный во времени. Например, тренд максимальной амплитуды ЭЭГ отображает данный параметр для всей записи на одном экране. С помощью одного клика мыши пользователь может перейти к участку кривых, которые вызвали интерес, и просмотреть нативные кривые. Например, участок с высокой амплитудой ЭЭГ может быть как артефактом движения, так и эпилептиформной активностью.

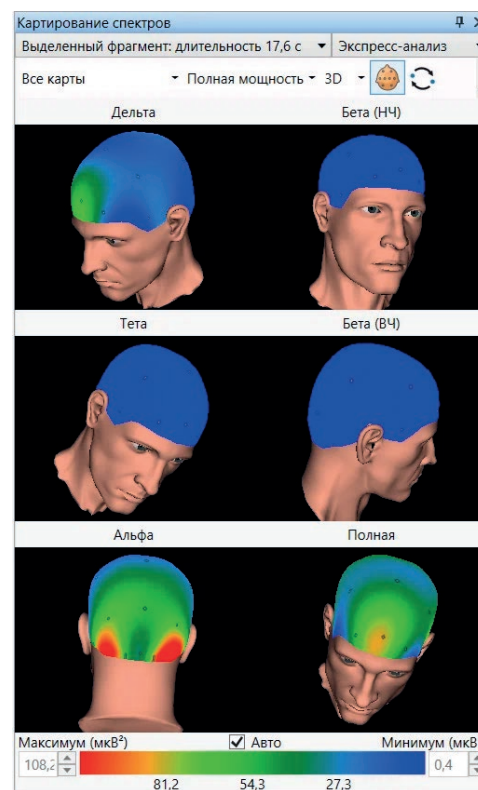
## АВТОМАТИЧЕСКИЙ ПОИСК И ВЫДЕЛЕНИЕ / AUTOMATIC SEARCH AND SELECTION

Еще одним незаменимым инструментом при анализе длительных ЭЭГ-записей является автоматический поиск всевозможных феноменов: артефактов, спайков и острых волн, эпизодов пароксизмальной активности (рис. 18). Наличие в современных программах таких возможностей позволяет существенно сократить время, затрачиваемое на просмотр и анализ ЭЭГ-исследования.



**Рисунок 15.** Пример палитры для топографического картирования

**Figure 15.** A representative palette for topographic mapping



**Рисунок 16.** Трехмерный режим отображения топографических карт. На картах «Дельта», «Тета», «Альфа», «Бета (НЧ)», «Бета (ВЧ)» отображается распределение по скальпу полной спектральной мощности соответствующих ритмов волн. Карта «Полная» отображает распределение электрической активности по скальпу всей полосы пропускания от 0,5 до 35 Гц (в зависимости от настроек программы)

**Figure 16.** Three-dimensional display mode of topographic maps. On "Delta", "Theta", "Alpha", "Beta (LF)", "Beta (HF)" maps the scalp distribution of the total spectral power of the corresponding wave rhythms is displayed. The "Full" map displays the distribution of electrical activity over the scalp of the entire bandwidth from 0.5 to 35 Hz (depending on the program settings)



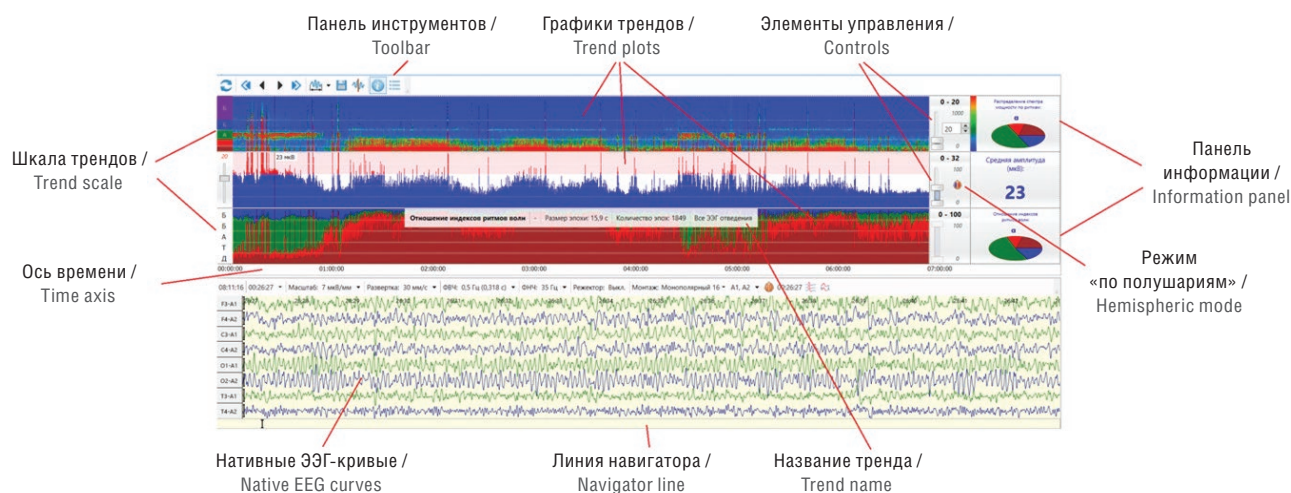


Рисунок 17. Тренды ЭЭГ

Figure 17. EEG trends

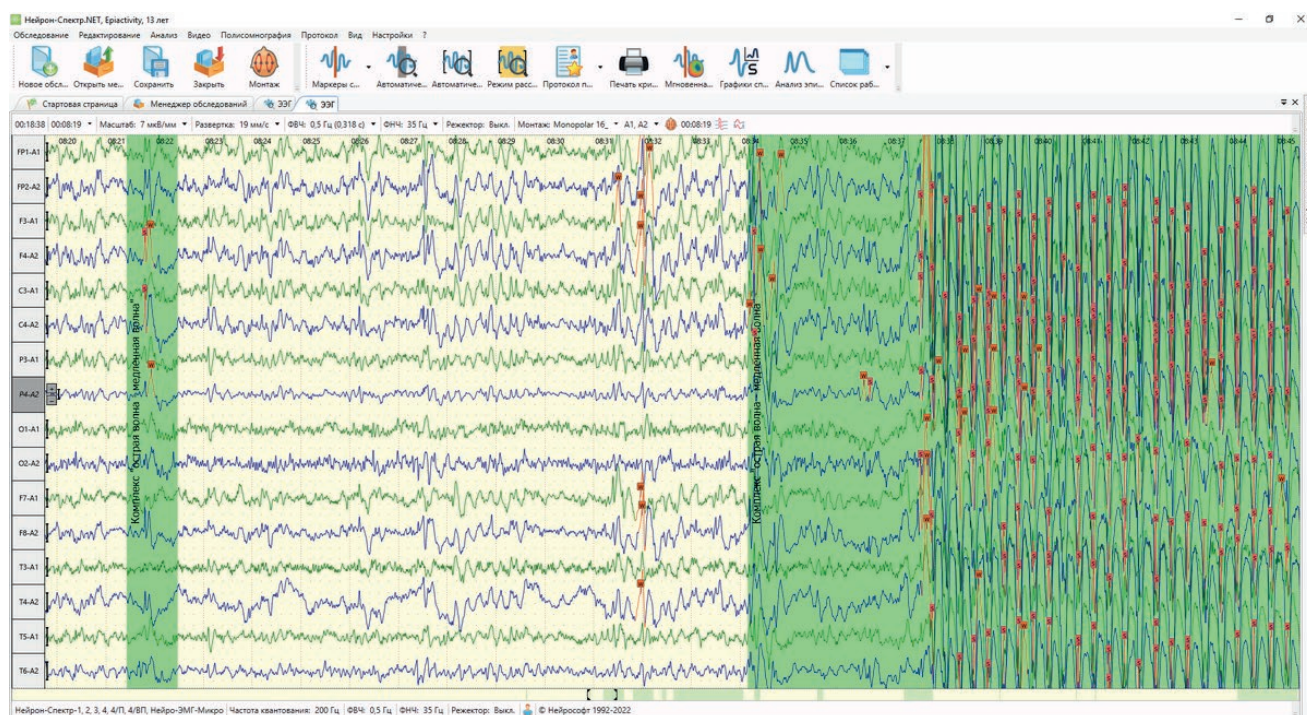


Рисунок 18. Автоматический поиск пароксизмальной активности

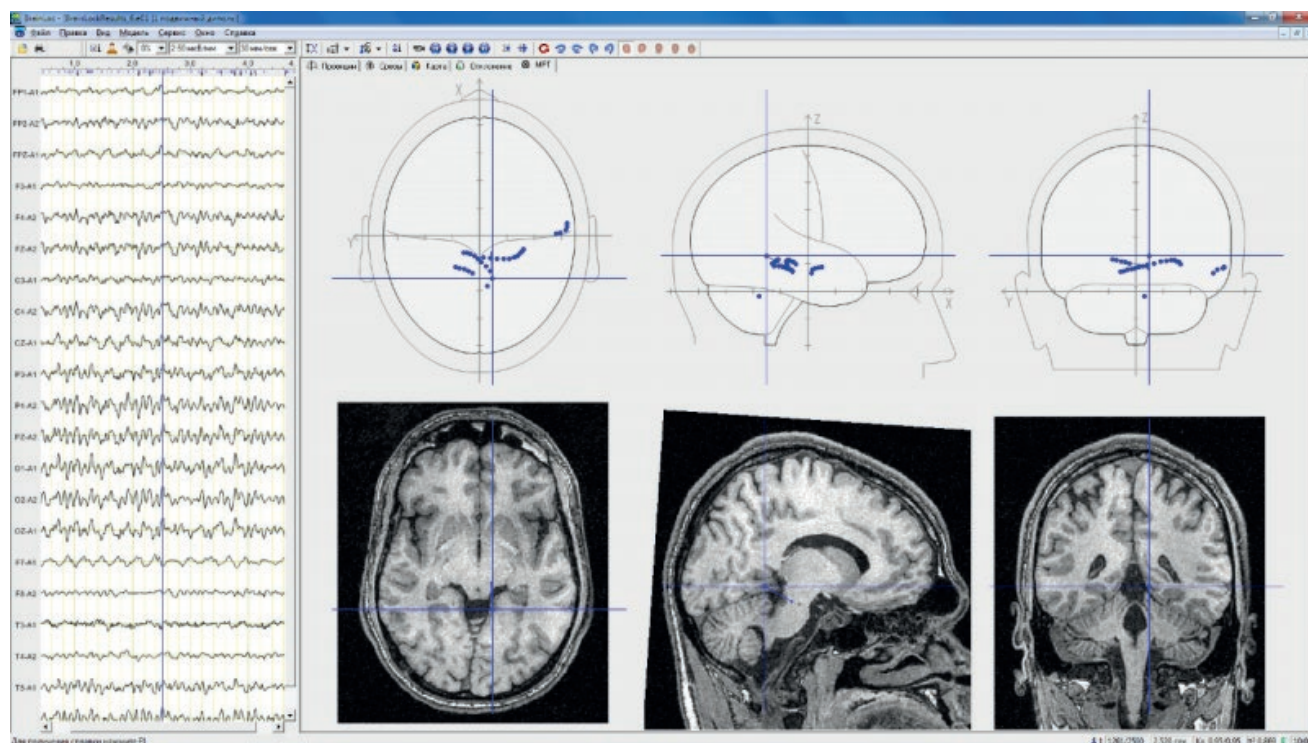
Figure 18. Automatic search for paroxysmal activity

В настоящее время для автоматического поиска эпизодов все чаще применяются нейронные сети и другие инструменты искусственного интеллекта. Алгоритмы постоянно совершенствуются. Тем не менее при использовании этих инструментов следует понимать, что окончательную ответственность за проведенный анализ и интерпретацию данных несет врач, а не программа. При всей своей продвинутой современности механизмы автоматического поиска и выделения эпизодов могут использоваться только для ускорения процесса анализа длительных ЭЭГ-записей, а никак не для замены врачебного мнения на механистическое.

### ТРЕХМЕРНАЯ ЛОКАЛИЗАЦИЯ ИСТОЧНИКОВ ПАТОЛОГИЧЕСКОЙ АКТИВНОСТИ / THREE-DIMENSIONAL LOCALIZATION OF PATHOLOGICAL ACTIVITY SOURCES

На данный момент разработано немало программ для трехмерной локализации источников патологической активности в головном мозге – например, методом дипольной локализации. Примером такой программы отечественного производства является BrainLoc 6.0 (Митрофанов А.А., Россия) (рис. 19).





**Рисунок 19.** BrainLoc 6.0: программа трехмерной локализации источников патологической активности в головном мозге методом дипольной локализации

**Figure 19.** BrainLoc 6.0: a program for 3D localization of sources of brain pathological activity using the dipole localization method

Подобные программы помогают, в частности, подтвердить или опровергнуть гипотезы о локализации очага эпилептиформной активности. В совокупности с нейровизуализационными методами они могут служить подспорьем в принятии непростых решений.

### ПРОТОКОЛ ЭЭГ-ИССЛЕДОВАНИЯ / EEG EXAMINATION PROTOCOL

После того как проведена запись обследования, выполнен просмотр и анализ ЭЭГ-кривых, выделены необходимые эпизоды, требуется подготовить протокол заключения [13]. Написать текст заключения врач может вручную, но гораздо удобнее, когда программа самостоятельно подготавливает шаблон в автоматическом режиме.

Кроме того, полезным инструментом при составлении заключения служит так называемый глоссарий – словарь фраз, часто используемых в протоколе обследований (рис. 20). Фразы в него могут быть добавлены пользователем. Наличие под рукой глоссария с часто используемыми фразами позволяет существенно сократить время написания протокола заключения ЭЭГ-исследования.

### ПЕЧАТЬ КРИВЫХ ЭЭГ И ПРОТОКОЛОВ ИССЛЕДОВАНИЯ / PRINTING OF EEG CURVES AND EXAMINATION PROTOCOLS

Несмотря на то что мы живем в век цифровых технологий, часто все же требуется перенести электронные данные на бумажный носитель. Во всех современных

программах ЭЭГ есть функция печати протоколов заключений и непосредственно кривых ЭЭГ.

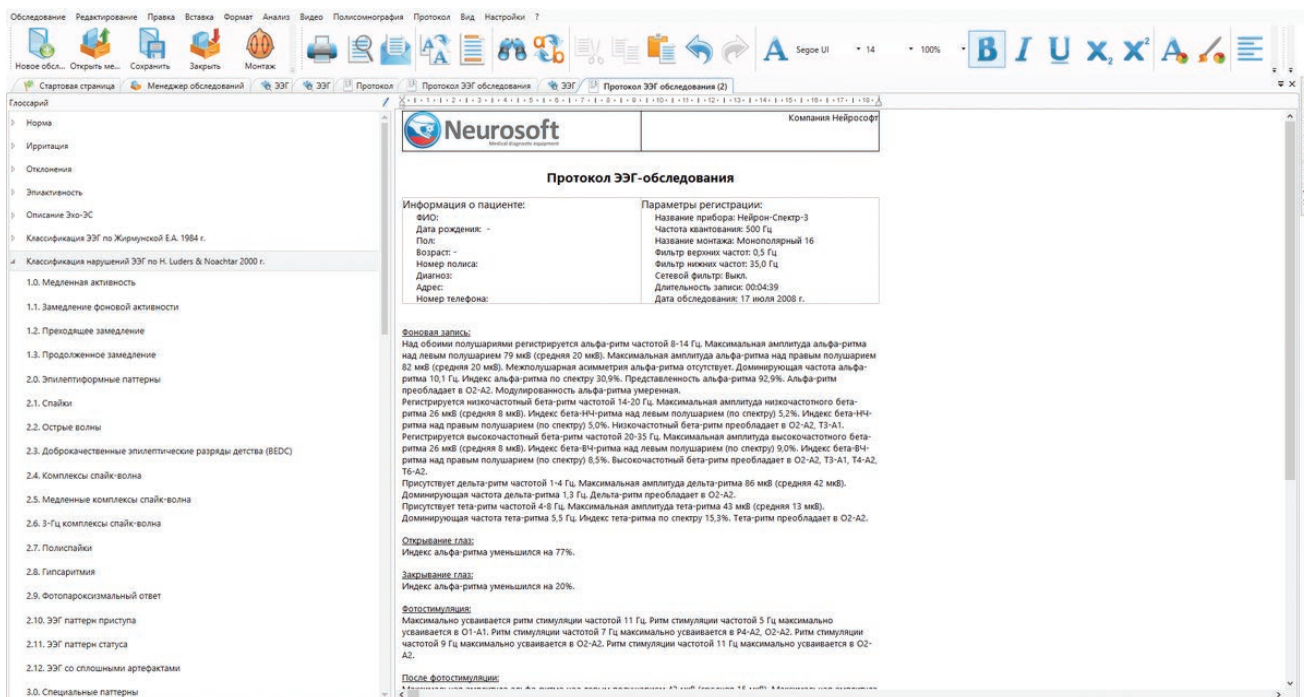
Некоторые лаборатории записывают для своих пациентов обследования на электронные носители и дополнительно выдают им на руки распечатанное заключение и несколько страниц ЭЭГ-кривых с наиболее типичными эпизодами (рис. 21).

### ХРАНЕНИЕ ДАННЫХ / DATA STORAGE

Едва ли не самой важной и неотъемлемой функцией любой современной ЭЭГ-программы является собственно хранение данных обследований. За хранение информации о пациентах и всех проведенных обследованиях отвечает база данных (рис. 22). Она может располагаться как локально на компьютере, так и на сервере в локальной компьютерной сети клиники. В этом случае к просмотру и анализу данных проведенных ЭЭГ-исследований могут получить доступ авторизованные пользователи с других компьютеров локальной сети.

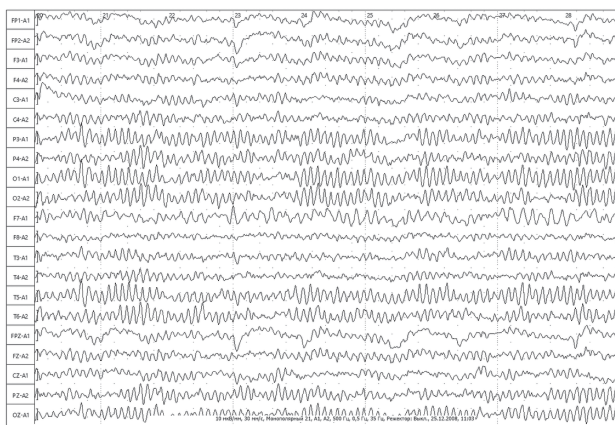
К наиболее значимым и востребованным функциям базы данных можно отнести следующие:

- отображение списка пациентов и проведенных обследований;
- сортировка списка пациентов по алфавиту, датам, полу, наличию заключения и т.д.;
- поиск пациента по заданным параметрам (ФИО, возраст, пол и т.д.);
- формирование статистических отчетов (об обследованиях, проведенных за год, месяц, неделю и т.д.);



**Рисунок 20.** Протокол ЭЭГ-исследования, сгенерированный программой автоматически по заранее созданному шаблону. Слева – глоссарий со списком часто используемых фраз. И шаблоны протоколов, и глоссарий могут редактироваться пользователем

**Figure 20.** EEG study protocol software-generated automatically according to a pre-created template. On the left is a glossary with a list of frequently used phrases. Both protocol templates and glossary can be user-edited



**Рисунок 21.** Пример печати ЭЭГ-кривых

**Figure 21.** An example of EEG curves printing

- копирование и перенос обследований из одной базы в другую;
- сохранение обследования в виде файла и его запись на съемный носитель информации или пересылка по электронной почте.

## НАСТРОЙКИ ПРОГРАММЫ / PROGRAM SETTINGS

У разных программ для анализа ЭЭГ от разных производителей различаются функционал и пользователь-

ский интерфейс. Иногда бывает сложно работать на разных программах или переходить с одного ЭЭГ-регистратора на другой. Одним из существенных преимуществ современной программы по анализу ЭЭГ является возможность гибкой настройки под нужды конкретного пользователя. Рассмотрим важные элементы настройки.

## Пользовательский интерфейс / User interface

Программа должна позволять настраивать видимость и размер любых пользовательских элементов интерфейса, а также цвета любых элементов. Настроенную раскладку окон и кнопок можно сохранить в виде рабочего стола и использовать постоянно. Также есть возможность использовать различные рабочие столы для разных видов обследований и режимов просмотра.

## Параметры регистрации и анализа / Registration and analysis parameters

В программе должны быть предусмотрены функции по заданию любых параметров регистрации: масштабов отображения кривых, фильтров [3], монтажей регистрации, уровней импеданса, маркеров событий и т.д. (стиль регистрации) [14, 15], а также параметров анализа: длительность эпох анализа, список доступных маркеров и феноменов, параметры автоматического поиска и т.д. (стиль анализа). Для обследований разных типов могут применяться различные стили регистрации и анализа.



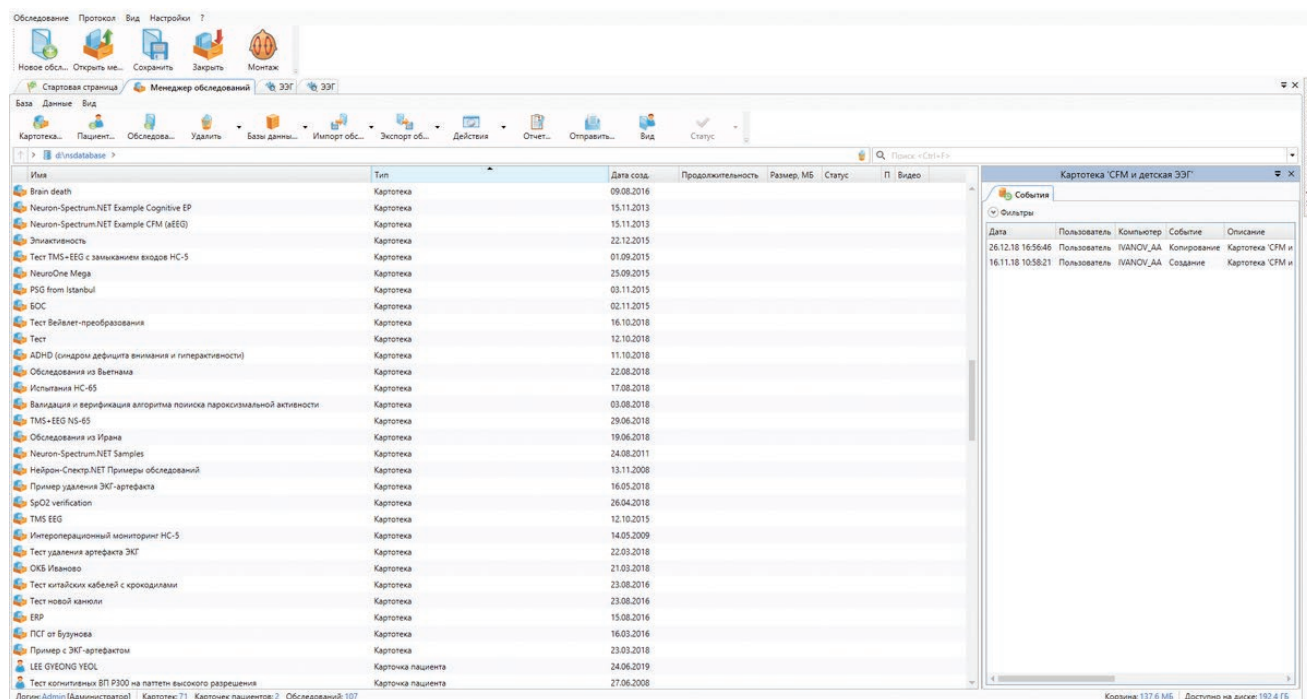


Рисунок 22. Менеджер обследований – окно работы с базой данных обследований

Figure 22. Examination manager – window for working with the examinations database

## Шаблоны протоколов заключения / Templates of the conclusion protocols

Программа должна предоставлять возможность создания нескольких различных шаблонов протоколов. Каждый шаблон определяет, какую информацию и в какой последовательности необходимо включать в протокол в автоматическом режиме. Для разных типов обследований могут применяться разные шаблоны протоколов.

## Типы обследований / Types of examinations

В программе должна быть заложена возможность проведения и анализа исследований разных типов, таких как рутинная ЭЭГ, видео-ЭЭГ, полисомнографические исследования, вызванные потенциалы, тренинги методом биологической обратной связи (БОС-тренинги), нейромониторинг новорожденных и др. Для каждого из указанных типов исследований могут быть заданы свои стили регистрации, стили анализа, шаблоны протоколов и рабочие столы.

## Монтажи регистрации / Registration mountings

Важным элементом настройки при регистрации ЭЭГ являются монтажи регистрации. Монтаж определяет совокупность каналов регистрации (ЭЭГ, электрокардиография, электроокулография, электромиография и др.), их порядок, референтный электрод, а также цвет кривых, отступы друг от друга и т.д. В ходе регистрации

и просмотра ЭЭГ-исследования программа позволяет свободно переключать монтажи. А с помощью окна редактора монтажей пользователь может создавать свои собственные монтажи (рис. 23).

## ИМПОРТ/ЭКСПОРТ ДАННЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ // IMPORT/EXPORT OF EXAMINATION DATA

Одной из неотъемлемых функций любой современной программы по регистрации и анализу ЭЭГ является возможность импорта и экспорта записанных кривых в различные форматы для того, чтобы ЭЭГ-запись можно было просмотреть на другом компьютере или в другом ПО. Среди наиболее распространенных форматов для импорта/экспорта ЭЭГ можно выделить следующие:

- EDF+ – общепринятый формат для хранения ЭЭГ-кривых, поддерживаемый практически во всех программах для регистрации и анализа ЭЭГ (позволяет хранить данные пациента, кривые ЭЭГ и маркеры событий);
- TXT – обыкновенный текстовый файл с записанными ЭЭГ-кривыми в виде отсчетов каждого отведения;
- XML – кроме данных кривых в виде отсчетов также позволяет хранить информацию о пациенте и обследовании;
- RTF – текстовый формат для хранения как данных о пациенте и обследовании, так и кривых ЭЭГ в виде набора картинок (просмотреть его можно на любом компьютере или даже на телевизоре, но изменить масштаб кривых или монтаж уже не получится);
- PNG/BMP/EMF – представляет из себя постраничный набор картинок ЭЭГ-кривых, которые можно просматривать даже на телевизоре;



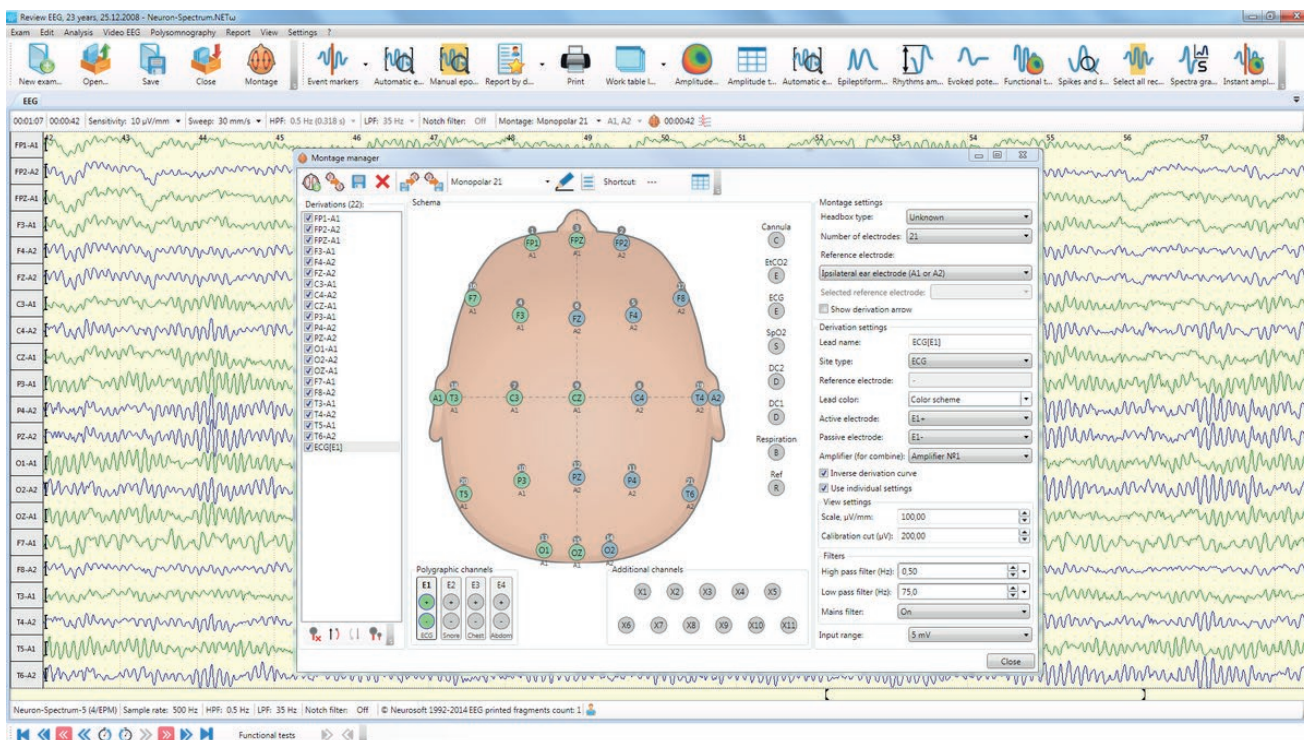


Рисунок 23. Окно редактора монтажей

Figure 23. Mounting editor window

– AVI – видеозапись кривых ЭЭГ, которую можно просматривать в любом проигрывателе на компьютере или телевизоре.

## ИНТЕГРАЦИЯ В МЕДИЦИНСКИЕ ИНФОРМАЦИОННЫЕ СИСТЕМЫ (МИС) / INTEGRATION INTO MEDICAL INFORMATION SYSTEMS

Еще одной немаловажной функцией современной программы для регистрации и анализа ЭЭГ является возможность интеграции в различные медицинские и госпитальные информационные системы. ЭЭГ-программа должна получать от МИС задание на проведение исследования и код пациента в системе, автоматически заполнять карточку пациента и возвращать в МИС протокол заключения.

В настоящее время существуют общепринятые стандарты для интеграции в МИС:

- HL7;
- GDT;
- DICOM.

В качестве МИС в нашей стране часто используется программный пакет «1С Медицина» и другие подобные системы.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ / CONCLUSION

В статье были рассмотрены базовые и некоторые инновационные инструменты современного компьютерного ПО для регистрации и анализа ЭЭГ-сигналов. Знание функционала ПО для обработки ЭЭГ и ограничений в его работе позволит медицинскому персоналу в полной мере использовать его возможности. В конечном итоге это приведет к повышению качества медицинского обслуживания.

В следующих публикациях данной рубрики будут рассмотрены более узкоспециализированные возможности ПО, включая математический анализ ЭЭГ-сигналов.

## ЛИТЕРАТУРА:

- Иванов А.А. Устройство современного электроэнцефалографа. *Эpilepsia и пароксизмальные состояния*. 2022; 14 (4): 362–78. <https://doi.org/10.17749/2077-8333/epi.par.con.2022.138>.
- Рекомендации экспертного совета по нейрофизиологии Российской Противозепилептической Лиги по проведению рутинной ЭЭГ. *Эpilepsia и пароксизмальные состояния*. 2016; 8 (4): 99–108.
- Якимов Е.В. Цифровая обработка сигналов. 2-е изд. Томск: Издательство Томского политехнического университета; 2011: 168 с. URL: [https://portal.tpu.ru/SHARED/s/SOCRAT1975/eng/academics/Tab/DSP\\_Textbook\\_2011.pdf](https://portal.tpu.ru/SHARED/s/SOCRAT1975/eng/academics/Tab/DSP_Textbook_2011.pdf) (дата обращения 29.11.2022).
- Jasper H.H. The ten-twenty electrode system of the International Federation. *Electroencephalogr Clin Neurophysiol*. 1958; 10: 371–5.
- Seeck M., Koessler L., Bast T., et al. The standardized EEG electrode array of the IFCN. *Clin Neurophysiol*. 2017; 128 (10): 2070–7. <https://doi.org/10.1016/j.clinph.2017.06.254>.
- Tatum W.O., Mani J., Jin K., et al. Minimum standards for inpatient long-term video-EEG monitoring: a clinical practice guideline of the International League Against Epilepsy and International Federation of Clinical Neurophysiology. *Clin Neurophysiol*. 2022; 134: 111–28. <https://doi.org/10.1016/j.clinph.2021.07.016>.

7. Иванов А.А. Телемедицинские решения для инструментальной диагностики на дому у пациента в условиях пандемии. *Журнал телемедицины и цифрового здравоохранения*. 2021; 7 (1): 25–34. <https://doi.org/10.29188/2542-2413-2021-7-1-25-34>.
8. Федеральный закон от 27.07.2006 № 152-ФЗ «О персональных данных». URL: <https://base.garant.ru/12148567/> (дата обращения 18.01.2023).
9. Зенков Л.Р. Клиническая энцефалография (с элементами эпилептологии). 8-е изд. М.: МЕДпресс-информ; 2017: 360 с. URL: [https://static-eu.insales.ru/files/1/6854/3136198/original/klinich\\_electroenzefalografija.pdf](https://static-eu.insales.ru/files/1/6854/3136198/original/klinich_electroenzefalografija.pdf) (дата обращения 29.11.2022).
10. Александров М.В. (ред.) Электроэнцефалография. СПб.: СпецЛит; 2020: 224 с.
11. Кулаичев А.П. Компьютерная электрофизиология и функциональная диагностика. 4-е изд. М.: Форум; 2007: 639 с.
12. Kropotov J.D. Quantitative EEG, event-related potentials and neurotherapy. 1st ed. Academic Press; 2010: 924 pp.
13. Методические рекомендации «Методика регистрации и формирования заключения по ЭЭГ». Департамент здравоохранения города Москвы, 2021. URL: <https://neurosoft.com/files/catalog/catalog/753/ru/files/Metodika-registracii-i-formirovaniya-zaklyucheniya-po-EEG--Moskva--2021.pdf> (дата обращения 29.11.2022).
14. Guideline 1: minimum technical requirements for performing clinical electroencephalography. *J Clin Neurophysiol*. 2006; 23 (2): 86–91. <https://doi.org/10.1097/00004691-200604000-00002>.
15. International League Against Epilepsy. Proposed guideline: minimum standards for recording routine and sleep EEG. URL: <https://www.ilae.org/guidelines/guidelines-and-reports/proposed-guideline-minimum-standards-for-long-term-video-eeeg-monitoring> (дата обращения 29.11.2022).

## REFERENCES:

1. Ivanov A.A. The structure of modern EEG recorder. *Epilepsia i paroksizmal'nye sostoania / Epilepsy and Paroxysmal Conditions*. 2022; 14 (4): 362–78 (in Russ.). <https://doi.org/10.17749/2077-8333/epi.par.con.2022.138>.
2. Guidelines for carrying out of routine EEG of Neurophysiology Expert Board of Russian League Against Epilepsy. *Epilepsia i paroksizmal'nye sostoania / Epilepsy and Paroxysmal Conditions*. 2016; 8 (4): 99–108 (in Russ.).
3. Yakimov E.V. Digital signal processing. 2nd ed. Tomsk; 2011: 168 pp. Available at: [https://portal.tpu.ru/SHARED/s/SOCRAT1975/eng/academics/Tab/DSP\\_Textbook\\_2011.pdf](https://portal.tpu.ru/SHARED/s/SOCRAT1975/eng/academics/Tab/DSP_Textbook_2011.pdf) (in Russ.) (accessed 29.11.2022).
4. Jasper H.H. The ten-twenty electrode system of the International Federation. *Electroencephalogr Clin Neurophysiol*. 1958; 10: 371–5.
5. Seeck M., Koessler L., Bast T., et al. The standardized EEG electrode array of the IFCN. *Clin Neurophysiol*. 2017; 128 (10): 2070–7. <https://doi.org/10.1016/j.clinph.2017.06.254>.
6. Tatum W.O., Mani J., Jin K., et al. Minimum standards for inpatient long-term video-EEG monitoring: a clinical practice guideline of the International League Against Epilepsy and International Federation of Clinical Neurophysiology. *Clin Neurophysiol*. 2022; 134: 111–28. <https://doi.org/10.1016/j.clinph.2021.07.016>.
7. Ivanov A.A. Telemedical solutions for instrumental diagnostics at home in a patient in a pandemic. *Russian Journal of Telemedicine and E-Health*. 2021; 7 (1): 25–34 (in Russ.). <https://doi.org/10.29188/2542-2413-2021-7-1-25-34>.
8. Federal Law of 27.07.2006 No. 152-FZ "On personal data". Available at: <https://base.garant.ru/12148567/> (in Russ.) (accessed 18.01.2023).
9. Zerkov L.R. Clinical encephalography (with elements of epileptology). 8th ed. Moscow: MEDpress-inform; 2017: 360 pp. Available at: [https://static-eu.insales.ru/files/1/6854/3136198/original/klinich\\_electroenzefalografija.pdf](https://static-eu.insales.ru/files/1/6854/3136198/original/klinich_electroenzefalografija.pdf) (in Russ.) (accessed 29.11.2022).
10. Aleksandrov M.V. (Ed.) Electroencephalography. Saint Petersburg: SpetsLit; 2020: 224 pp. (in Russ.).
11. Kulaichev A.P. Computer electrophysiology and functional diagnostics. 4th ed. Moscow: Forum; 2007: 639 pp. (in Russ.).
12. Kropotov J.D. Quantitative EEG, event-related potentials and neurotherapy. 1st ed. Academic Press; 2010: 924 pp.
13. Methodological recommendations "Methods of registration and formation of an EEG conclusion". Department of Health of the City of Moscow, 2021. Available at: <https://neurosoft.com/files/catalog/catalog/753/ru/files/Metodika-registracii-i-formirovaniya-zaklyucheniya-po-EEG--Moskva--2021.pdf> (in Russ.) (accessed 29.11.2022).
14. Guideline 1: minimum technical requirements for performing clinical electroencephalography. *J Clin Neurophysiol*. 2006; 23 (2): 86–91. <https://doi.org/10.1097/00004691-200604000-00002>.
15. International League Against Epilepsy. Proposed guideline: minimum standards for recording routine and sleep EEG. Available at: <https://www.ilae.org/guidelines/guidelines-and-reports/proposed-guideline-minimum-standards-for-long-term-video-eeeg-monitoring> (accessed 29.11.2022).

## Сведения об авторе

Иванов Алексей Алексеевич – руководитель отдела управления продуктами ООО «Нейрософт» (Иваново, Россия). ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0003-2605-6830>. E-mail: [iva@neurosoft.com](mailto:iva@neurosoft.com).

## About the author

Alexey A. Ivanov – Head of Product Management Department, Neurosoft LLC (Ivanovo, Russia). ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0003-2605-6830>. E-mail: [iva@neurosoft.com](mailto:iva@neurosoft.com).