



© В. И. Лошенко, А. В. Сахаров, Е. И. Рябчикова, А. Е. Просенко

DOI: [10.15293/2226-3365.1603.14](https://doi.org/10.15293/2226-3365.1603.14)

УДК 574.522 + 597.423 + 611.813

СИНАПТИЧЕСКАЯ ПЛАСТИЧНОСТЬ ГОЛОВНОГО МОЗГА СИБИРСКОГО ОСЕТРА ПРИ ИЗМЕНЕНИИ ПАРАМЕТРОВ ИНФОРМАЦИОННОЙ СРЕДЫ

В. И. Лошенко, А. В. Сахаров, Е. И. Рябчикова, А. Е. Просенко (Новосибирск, Россия)

В статье представлены результаты экспериментального моделирования влияния колебаний гидротермического режима и превышения уровня содержания ионов свинца в среде обитания осетров на состояние терминальных отделов нейронов переднего мозга. Целью работы стало изучение синаптической пластичности переднего мозга сибирского осетра в условиях изменения параметров информационной среды. Полученные результаты позволяют считать, что влияние указанных факторов окружающей среды приводит к адаптивной перестройке синаптических устройств. Установлено, что адаптивное изменение синаптоархитектоники на сроке 30 суток воздействия является несовершенным. В работе это доказано методами морфологии и физиологии на клеточном и онтогенетическом уровнях. Показана высокая роль свободнорадикального механизма в реализации синаптической пластичности переднего мозга сибирского осетра. Использование полифункционального серосодержащего антиоксиданта нового поколения «Тиофан» позволяет регулировать уровень свободнорадикальной активности в терминальных отделах нейронов и оказывает ярко выраженный нейропротекторный эффект. В заключении обосновывается возможность применения антиоксиданта «Тиофан» для управления процессами синаптической пластичности переднего мозга осетров в условиях изменения факторов окружающей среды.

Ключевые слова: сибирский осетр, головной мозг, стресс, синаптическая пластичность, адаптация, антиоксидант, факторы окружающей среды.

Лошенко Виталина Игоревна – старший преподаватель кафедры зоологии и методики обучения биологии, Новосибирский государственный педагогический университет.

E-mail: vitalina_loshenk@mail.ru

Сахаров Андрей Валентинович – доктор биологических наук, профессор, заведующий кафедрой зоологии и методики обучения биологии, Новосибирский государственный педагогический университет.

E-mail: asakharov142@rambler.ru

Рябчикова Елена Ивановна – доктор биологических наук, профессор, Институт химической биологии и фундаментальной медицины СО РАН.

e-mail: lenryab@yandex.ru

Просенко Александр Евгеньевич – доктор химических наук, профессор, заведующий кафедрой химии, Новосибирский государственный педагогический университет.

E-mail: chemistry@ngs.ru

Введение

В историческом аспекте осетровые представляют одну из наиболее древних групп животных, сохранивших способность к адаптации в условиях изменения факторов среды их обитания [2; 4; 6; 9]. Возникшие миллионы лет назад в эпоху формирования сложных преобразований суши и водной среды, осетровые в процессе эволюции смогли сформировать и развить механизм устойчивости к параметрам среды их обитания, прежде всего, к колебаниям температурного режима и повышенному содержанию продуктов вулканической деятельности, в том числе металлов в водной среде [3; 5–6]. Исследования этого биологического феномена определили необходимость выбора сибирского осетра (*Acipenser baerii* Brandt, 1869) в качестве экспериментальной модели. Научный интерес к изучению процессов адаптации осетровых к действию факторов окружающей среды не ограничен рамками фундаментальной науки и имеет прикладной аспект [1; 7–11]. Воспроизведение в эксперименте условий, приближенных к реальным, дает возможность подойти к пониманию причин катастрофического снижения численности данного вида в акваториях рек Западной Сибири [6; 11; 14]. Считается, что в адаптационных процессах особи и вида в целом высокая роль принадлежит центральной нервной системе [15]. В этой связи изучение пластической реорганизации терминальных отделов нейронной сети головного мозга сибирского осетра в ответ на изменение параметров информационной среды определяет высокую актуальность настоящего исследования.

Целью работы стало исследование синаптической пластичности переднего мозга сибирского осетра при экспериментальном моделировании колебаний гидротермического режима и нагрузки организма к катионам свинца.

Материалы и методы исследования

Исследование проводилось на особях сибирского осетра массой $75,02 \pm 1,72$ г, полученных в условиях аквакультуры. В соответствии с протоколом эксперимента были созданы контрольная и четыре опытных группы по 20 особей в каждой. Рыб всех групп содержали в индивидуальных бассейнах объемом по 500 л с ежесуточной заменой воды. Содержание O_2 в воде составляло $8,2 \pm 0,38$ мг/л и поддерживалось на данном уровне автоматической системой жизнеобеспечения. Осетров контрольной группы содержали при температуре $17,2 \pm 0,57$ °С. На осетрах первой и второй опытных групп изучали влияние ежесуточных колебаний температурного режима на состояние терминальных отделов нейронов в переднем мозге и реализацию двигательной активности рыб. Колебания гидротермического режима среды моделировали путем последовательного нагревания и охлаждения температуры воды на 5 °С относительно 17,2 °С с помощью автоматической системы управления температурным режимом. Длительность одного цикла колебаний составляла два часа. Общее количество циклов в сутки соответствовало трем, с продолжительностью эксперимента один месяц. У осетров третьей и четвертой опытных групп оценивали влияние ацетата свинца (концентрация в воде 0,024 мг/л) на состояние синаптических устройств и скорость передвижения рыб в водной среде. Показатели поисковой активности оценивали по изменению скорости плавания и формы траектории движения осетров после 30-минутной адаптации с помощью автоматической видеорегистрации с хронометрированием. Оценку количественных параметров поискового поведения осетров проводили с использованием программы *Multilab*.

Осетры контрольной группы, первой и третьей опытных групп на протяжении всего



периода эксперимента получали стандартный корм для осетров производства фирмы «*Aller Aqua*» (Дания). Рыбам второй и четвертой опытных групп в корм добавляли антиоксидант «Теофан» в дозе 90 мг/кг. Целесообразность создания второй и четвертой опытных групп основывалась на необходимости уточнения роли свободнорадикального перекисного окисления липидов (СПОЛ) и оценки возможности управления данными процессами антиоксидантным соединением в клетках нервной ткани при воздействии температурного фактора и нагрузки организма катионами свинца. Для управления неспецифическими реакциями в организме осетров использовали фенольный серосодержащий антиоксидант нового поколения «Теофан». Антиоксидант «Теофан» – бис-[3,5-ди-трет-бутил-4-гидроксифенил)пропил] сульфид – синтезирован в Институте антиоксидантов (г. Новосибирск) и успешно прошел доклинические исследования. Наличие в структуре молекулы «Теофан» *S*- и *ОН*-группировок определяет полифункциональность его специфических свойств – способность инактивировать H_2O_2 и блокировать активные метаболиты кислорода (АМК). Предполагалось, что наличие *S* в структуре данного антиоксидантного соединения позволит взаимодействовать с катионами свинца, ограничит его внутриклеточные молекулярные маршруты, снизит уровень накопления в нервной ткани и его влияния на реализацию нейрофизиологических процессов.

Все эксперименты были проведены в трех сериях повторов и общее количество рыб составило: в контрольной группе $n = 60$, первой опытной $n = 60$, второй опытной $n = 60$, третьей опытной $n = 60$ и четвертой опытной $n = 60$. Рыб всех групп выводили из эксперимента на 30-е сутки наблюдений. Для проведения ультраструктурного анализа образцы пе-

реднего мозга фиксировали в параформе и дофиксировали в 1 %-ном OsO_4 . Ультратонкие срезы контрастировали уранилацетатом и изучали с использованием электронного микроскопа *JEM 1400 (Jeol, Япония)*.

С помощью параметрического критерия *t*-Стьюдента оценивали различия показателей рыб экспериментальных групп по сравнению с таковыми контрольных групп и статистически достоверными считали при $p \leq 0,05$. Все расчеты проводили с использованием пакета программ *Microsoft Excel 2010* и *Statistica v10.0*.

Результаты исследования и их обсуждение

При изучении образцов переднего мозга осетров первой опытной группы в нейронах, клетках глии и нейропиле обнаружены признаки нарушения водно-ионного гомеостаза. Наиболее ярко обводнение проявляется в клетках микроглии, олигодендроцитах и астроцитах. В наименьшей степени признаки гидропической дистрофии обнаруживаются в отростках нейронов. Выявленный характер структурных изменений в клетках нервной системы соответствует свободнорадикальной форме повреждения и может являться результатом неспецифической реакции клеток нервной ткани при стрессе. Данное заключение было обосновано нами в предшествующих исследованиях путем прямого определения продуктов липопероксидации в тканях переднего мозга осетра и функционального состояния системы антиоксидантной защиты [12]. Относительная сохранность нейронов в периферических компартментах и преобладание деструктивных изменений в системе «нейрон-глия» в направлении последних дают основание считать, что в условиях колебаний гидротермического режима клетки глии сохраняют способность защищать нейроны от повреждения, и развитие у них адаптивных функцио-



нальных изменений наиболее ярко будет проявляться на уровне реализации нейротрансмиттерных эффектов в его терминальном звене – нейрональных синапсах.

Результаты ультраструктурного анализа показали, что 30-суточные колебания гидротермического режима среды обитания осетров приводят к развитию гидропической дистрофии в терминалях нейронов, деструкции крупных синаптических устройств конвергентного и дивергентного типов, формированию мелких и средних синапсов с простым типом устройства синаптического аппарата (табл.). С точки зрения нейрофизиологии, целесообразность адаптивной реорганизации синапсов должна обеспечивать оптимизацию межнейрональных отношений и обработку информации в условиях действия неблагоприятных факторов среды. Фактические данные, приведенные в таблице, позволяют считать, что снижение процентного содержания простых перфорированных синапсов почти в два раза по сравнению с контролем, увеличение простых неперфорированных синаптических контактов с плоской и отрицательно изогнутой плоскостью проекций, а также симметричных, функционально незрелых плотных проекций межнейронных контактов ставят вопрос о функциональной состоятельности подобных адаптивных преобразований (табл.).

При детальном исследовании всех структурных элементов системы субсинаптических субъединиц установлено снижение по сравнению с контролем длины синаптической мембраны в 2,7 раза, а также рециркулирующего и готового к экзоцитозу пулов крупных электроннопрозрачных синаптических пузырьков (СП). По медиаторной специфичности и характеру постсинаптического потенциала действия последние принадлежат аминокислотным гамма-аминомасляным кислотам и глицинергическим тормозным синапсам (рис. а).

Хотя достоверно идентифицировать их возможно только при иммуноцитологическом анализе. Необходимо отметить, что лишь в крупных, сохранивших признаки функциональной активности, синапсах отчетливо заметны СП резервного, рециркулирующего и готовых к экзоцитозу пулов (рис. а). Можно полагать, что снижение в мозге синтеза аминокислотных нейромедиаторов является частным случаем проявления общего распада белков на тканевом и организменном уровнях с последующим использованием аминокислот для синтеза веществ, обеспечивающих адаптивные реакции. Повышение уровня катаболизма органических соединений при стрессе объясняется необходимостью использования мономеров для обеспечения адекватного уровню действующей нагрузки энергетического обмена. Преобладание в исследуемых образцах осетров первой опытной группы терминалей нейронов со светлым типом деструкции (по сравнению с контролем), можно объяснить нарушением высокоэнергетического транспорта электролитов и безусловно указывает на функциональную недостаточность системы энергообеспечения клетки. С нашей точки зрения, в условиях 30-суточного колебания температурного режима среды обитания осетров поддержание информационной емкости мозга на уровне локальной нейронной сети происходит за счет функционирования сохранившихся крупных синапсов. Снижение в исследуемых образцах мозга осетров первой опытной группы синаптических устройств конвергентного в 3,5 раза и дивергентного типов в 1,6 раза по сравнению с контролем должно найти отражение при реализации одной из важных физиологических функций – двигательной активности. Результаты наблюдения показали, что скорость передвижения в воде осетров первой опытной группы была на 56,3 % ниже осетров контрольной группы.



Таблица

Характеристика синаптических устройств нейронов переднего мозга сибирского осетра

Table

Characterization of synaptic means of the forebrain neurons of Siberian sturgeon

Показатель	Группа				
	контрольная	первая опытная	вторая опытная	третья опытная	четвертая опытная
Общая численная плотность синаптических контактов (на 100 мкм ²)	28,3 ± 1,7	27,8 ± 1,0	25,1 ± 1,5	28,0 ± 2,2	27,4 ± 1,9
Синапсы, измененные по светлomu типу деструкции (на 100 мкм ²)	2,3 ± 1,8	15,1 ± 4,3 *	9,4 ± 2,1 **	24,6 ± 6,5 ***	11,7 ± 3,3 ****
Простые перфорированные, %	50,16	25,27	39,85	6,45	17,78
Простые неперфорированные, %	15,23	56,34	20,73	73,18	49,62
Плоские, %	18,47	32,08	16,41	28,05	20,91
Искривленные, %	14,28	19,43	23,17	11,17	27,28
Инвагинация, %	1,21	1,54	3,61	1,18	2,25
Сложные с дивергентным типом, %	23,33	14,71	28,24	16,21	26,67
Сложные с конвергентным типом, %	11,28	3,22	11,18	4,16	5,93
< 100 нм, мелкие, %	17,85 ± 1,6	33,33 ± 3,9*	24,00 ± 2,5**	25,00 ± 3,1***	21,32 ± 2,1
101–400 нм, средние, %	28,57 ± 2,4	40,74 ± 3,3*	19,98 ± 2,5**	57,14 ± 4,3***	45,37 ± 3,7 ****
401–700 нм, крупные, %	25,00 ± 1,8	14,82 ± 2,4 *	19,42 ± 2,8	10,71 ± 1,6 ***	23,18 ± 2,6 ****
> 700 нм, очень крупные, %	28,57 ± 2,0	11,11 ± 1,7*	36,54 ± 1,9**	7,14 ± 1,8 ***	10,10 ± 1,3
Длина синаптической мембраны, мкм	0,40 ± 0,06	0,15 ± 0,09*	1,24 ± 0,37 **	0,22 ± 0,07 ***	0,45 ± 0,14 ****
<i>Примечание.</i> Различия статистически достоверны: * – между показателями контрольной и первой опытных групп; ** – между показателями первой и второй опытных групп; *** – между показателями контрольной и третьей опытных групп; **** – между показателями третьей и четвертой опытных групп ($p \leq 0,05$)					

Полученные результаты позволяют считать, что в условиях стрессовой нагрузки колебания гидротермического режима приводят к смещению равновесия в направлении снижения процентного содержания термодинамически более устойчивых крупных синаптических контактов в направлении средних и мелких. В отличие от млекопитающих, когда адаптивная перестройка синапсов при стрессе происходит по пути гипертрофии существующих синапсов и увеличения их эффективности, у осетров в данном случае развитие реакции приспособления осуществляется преимущественно по пути неосинаптогенеза [15]. Не исключается возможность, что 30-е сутки наблюдения совпадают со сроком завершения адаптивных возможностей клеток нервной ткани и началом развитием дезадаптации. В этом случае представленный вариант изменения синаптоархитектоники в функциональном отношении является отражением несовершенной синаптической пластичности переднего мозга осетров первой опытной группы.

Для изучения роли свободнорадикальных процессов в механизмах нейропластичности и возможности их управления использовали антиоксидант «Тиофан». Результаты исследования образцов мозга осетров второй опытной группы показали достоверное снижение процентного содержания терминалей со светлым типом деструкции по сравнению с аналогичным показателем осетров группы сравнения (первая опытная группа). Связывая данный феномен со специфическими свойствами используемого антиоксиданта, становится понятным, что указанные признаки гидротермической дистрофии у рыб первой и второй опытных групп обусловлены реализацией свободнорадикального механизма повреждения периферических отделов нейрона. Использование данного подхода позволяет считать, что

в условиях 30-суточной температурной нагрузки ограничение антиоксидантом «Тиофан» свободнорадикальной активности в ткани головного мозга осетров препятствует деструкции крупных синапсов с дивергентным и конвергентным типами устройства синаптического аппарата. Реорганизация синаптоархитектоники при применении антирадикальной защиты мозга проявляется в гипертрофии сохранившихся синапсов, рекомбинации синаптической зоны с изоляцией и формированием двух или более активных зон контакта, инвагинациями синаптической мембраны (рис. б). Расщепление синаптического устройства с образованием перфорированных синаптических мембран обуславливает усложнение пространственной организации синаптических устройств, преимущественно по дивергентному типу.

Расхождение фрагментов активных зон контактов, увеличение процентного содержания положительно изогнутых контактов с асимметричным типом проекции синаптической мембраны, по сравнению с аналогичными показателями рыб первой опытной группы, превышение более чем в восемь раз длины синаптического контакта и обилие пулов СП, готовых к экзоцитозу, дают все основания утверждать об увеличении эффективности синаптического входа у рыб второй опытной группы по сравнению с осетрами первой опытной группы (рис. б). Данный вид перестройки синаптоархитектоники позволяет оптимизировать пути информационного потока по нейрональной сети и дает преимущества реализации поискового поведения. Одним из его параметров является скорость перемещения особей в пространстве, которая на 27,8 % превышала аналогичный показатель осетров группы сравнения.

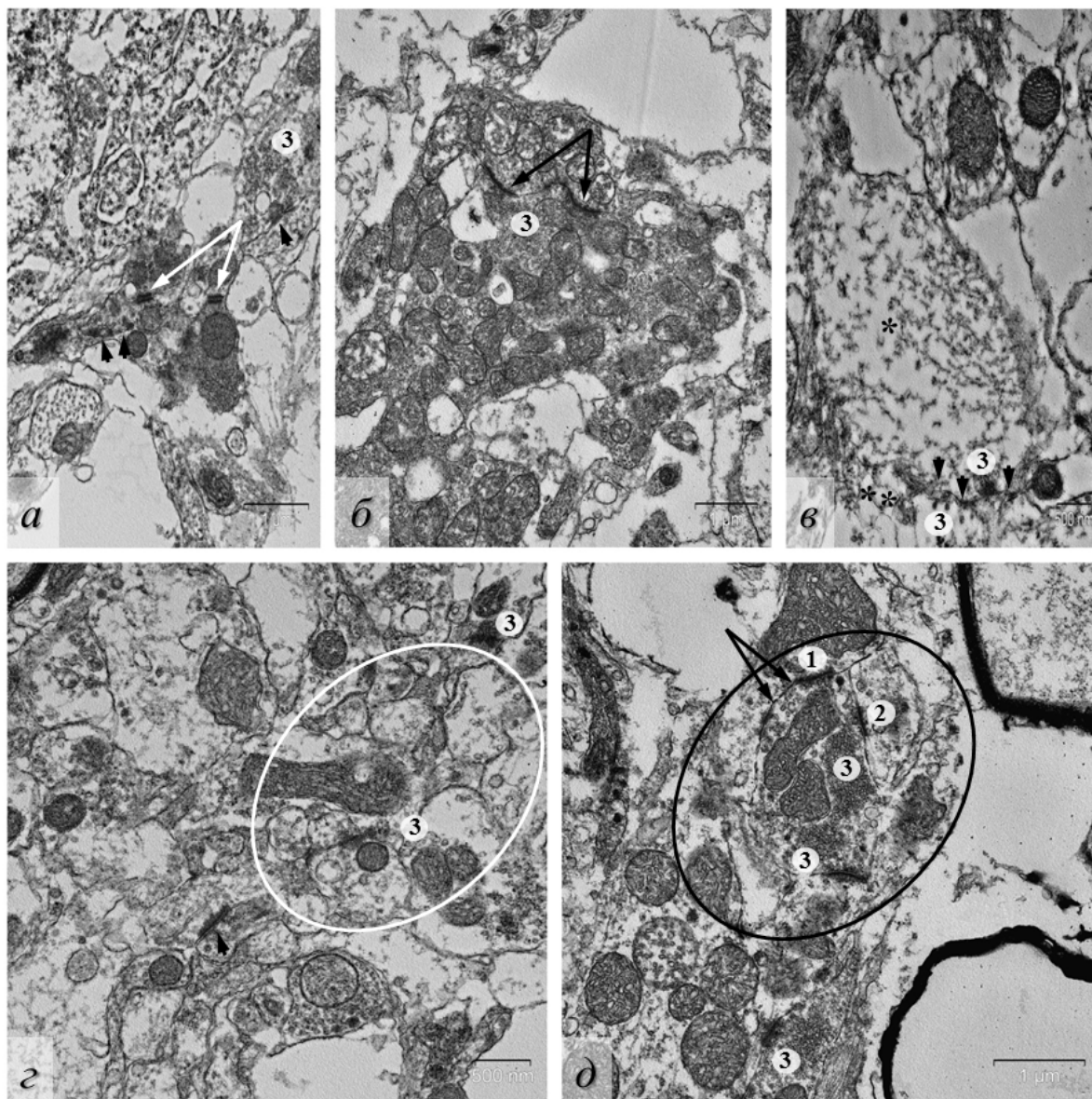


Рис. Ультраструктурная организация синаптических устройств нейронов переднего мозга сибирского осетра

Fig. Ultrastructural organization of synaptic means of the forebrain neurons of Siberian sturgeon

a – 1-я опытная группа; *б* – 2-я опытная группа; *в* – 3-я опытная группа; *г* – 4-я опытная группа; *д* – контрольная группа. Аксошиповый перфорированный синапс с дивергентным типом усложнения пространственной организации обозначен *овалом темного цвета*; с конвергентным типом – *овалом белого цвета*. 1 – ассиметричный контакт; 2 – симметричный контакт; 3 – синаптические пузырьки. Темной стрелкой обозначено расхождение зон контакта в перфорированном синапсе; белая стрелка – простой неперфорированный синапс с плоской плоскостью проекции; темная головка стрелки – простой перфорированный синапс; одна звездочка – светлый тип деструкции пресинаптической терминали; две звездочки – постсинаптическая терминаль.

Полученные результаты позволяют считать, что в условиях действия стресс-фактора и использования антиоксиданта «Тиофан» синаптическая пластичность переднего мозга развивается в направлении гипертрофии синапсов с сохранением сложных синаптических устройств, трансформацией простых неперфорированных синапсов в перфорированные с инвагинацией в области перфорации и увеличением длины синаптической мембраны. В отличие от рыб первой опытной группы механизм синаптической пластичности у осетров второй опытной группы преимущественно реализуется путем реорганизации существующих синапсов и в меньшей степени за счет неосинаптогенеза. При нагрузке организма осетров третьей опытной группы катионами свинца наиболее выраженные процессы нарушения водно-ионного гомеостаза затрагивают терминалы нейронов и сложные синаптические устройства дивергентного и конвергентного типов (табл.). Высокие показатели процентного содержания простых неперфорированных симметричных и функционально незрелых межнейронных соединений с плоской плоскостью синаптического контакта указывают на несовершенство пластической реорганизации нейронной сети переднего мозга. Аналогично осетрам первой опытной группы с моделированием стрессового воздействия в основе синаптической пластичности головного мозга осетров третьей опытной группы лежат рекомбинация сложных синапсов и неосинаптогенез. Деструкция крупных синапсов, специализированных парамембранных образований плотных проекций пресинаптической решетки и постсинаптического материала, а также низкие значения длины синаптического контакта и дефицит всех пулов СП, указывают на несостоятельность транзитерной активности таких нейронов (рис. в). Судя по показателям, приведенным в таблице,

процесс передачи информации в переднем мозге осетров третьей опытной группы осуществляется преимущественно за счет функциональной активности средних и незрелых мелких синапсов.

Использование антиоксидантной защиты организма осетров четвертой опытной группы в условиях нагрузки катионами свинца приводит к снижению в 2,1 раза процентного содержания терминалей с признаками гидропической дистрофии. В нервной ткани осетров данной группы регистрируется низкий уровень содержания простых неперфорированных межнейронных соединений, а также превышение процентного содержания простых перфорированных и крупных, сложных синаптических устройств на 63,7 %, 39,2 % и 29,9 % по сравнению с аналогичными показателями осетров третьей опытной группы. Как показывают результаты исследования, обеспечение антиоксидантом «Тиофан» способности ограничивать разрушение крупных и сложных синапсов, реализация синаптической пластичности в переднем мозге осетров четвертой опытной группы осуществляется путем их гипертрофии, последующим расщеплением неперфорированных контактов и далее их трансформацией в простые перфорированные синапсы (рис. з). Для нервной ткани осетров четвертой опытной группы характерно достоверно высокое содержание синаптических устройств с асимметричным типом и положительно изогнутой плоскостью проекции контакта, длина которого на 51,1 % превышает значения осетров группы сравнения (третья опытная группа). Особенностью образцов переднего мозга рыб данной группы является преобладание синаптических устройств с развитым постсинаптическим уплотнением, широкой синаптической щелью и обилием мелких электроннепрозрачных



СП, характерных для глутаматэргических возбуждающих синапсов (рис. 2). Полученные результаты указывают на функциональные преимущества организации нейронной сети у рыб четвертой опытной группы по сравнению с третьей опытной группой. Это подтверждает сравнительный анализ скорости перемещения осетров обеих опытных групп в водной среде. У осетров четвертой опытной группы данный показатель превышал на 38,6 % исследуемый показатель осетров третьей опытной группы.

При сравнении влияния двух видов нагрузки на организм осетров первой и третьей опытных групп становится совершенно очевидным, что при изменении параметров среды обитания осетров путем колебаний гидротермического режима или уровня содержания катионов свинца в среде нейроны имеют принципиально схожий механизм адаптивной реорганизации синапсов. Различия касаются лишь качественной стороны этих преобразований и функциональной эффективности перестройки терминального звена нейронов в ответ на изменение факторов внешней среды. При этом синаптическая пластичность мозга осетров в обеих опытных группах является несовершенной. Фактически это означает, что 30-е сутки воздействия являются временной точкой завершения адаптации и развития функциональной несостоятельности клеток нервной ткани переднего мозга.

Полученные фактические данные обосновывают высокую эффективность применения антиоксиданта «Тиофан» для управления процессами синаптической пластичности переднего мозга осетров. Необходимо отметить, что повышение уровня свободнорадикальной активности происходит не только в процессе развития местного или общего адаптационного синдрома при стрессе. Известно, что результатом воздействия ионов металлов на

ферментативное звено электронно-транспортной системы в митохондриях является разобщение окислительного фосфорилирования и генерация АМК [13]. Как при стрессе, так и при нагрузке организма катионами свинца повышение уровня СПОЛ приводит к свободно-радикальному повреждению миелиновой оболочки отростков нейронов, плазматической мембраны нейронов, мембранных органелл и нарушению водно-ионного гомеостаза в терминалах нейронов. С нашей точки зрения, снижение в образцах мозга осетров четвертой опытной группы процентного содержания терминалей со светлым типом деструкции является не только результатом специфической антиоксидантной активности «Тиофан». Установлено, что катионы свинца обладают высоким сродством к *SH*-группировкам белков, в том числе *Na/K*-АТФазы плазматической мембраны нейронов, пируватоксидазной системы, содержащей ковалентно-связанный дитиоловый кофактор – липоевую кислоту, подавляют окисление пировиноградной и α -кетоглутаровой кислот за счет связывания *SH*-групп дигидролипоилдегидрогеназы, а также нарушают транспорт неорганического фосфата через мембрану митохондрий [16]. В обоих случаях результатом является нарушение водно-солевого обмена в клетке, которое проявляется в форме гидропической дистрофии. При исследовании образцов тканей головного мозга осетров третьей и четвертой опытных групп методом атомно-эмиссионного анализа установлено, что использование антиоксиданта «Тиофан» приводит к достоверному снижению содержания ионов свинца в тканях головного мозга осетров четвертой опытной группы по сравнению с третьей опытной группой. Уникальная структура молекулы антиоксидантного соединения не только ограничивает активность свободнорадикального про-



цесса в клетках нервной ткани, но и внутриклеточные молекулярные маршруты катионов свинца, что позволяет позиционировать его как средство специфической и неспецифической защиты клеток нервной ткани при нагрузке катионами свинца.

Заключение

В работе исследована реакция терминальных отделов нейронов переднего мозга осетров на изменение параметров среды обитания. В связи с тем, что данный отдел центральной нервной системы отвечает за реализацию важнейших физиологических процессов в организме рыб, изучение его адаптивного потенциала на клеточном и онтогенетическом уровнях позволило подойти к пониманию причин снижения численности осетровых в естественных условиях обитания. Результаты работы позволили выявить дифференциальный уровень синаптической пластичности нейронов переднего мозга сибирского осетра при изменении параметров температурного режима среды обитания и превышении содержания ионов свинца в воде. Полученные данные дают все основания считать, что развитие

адаптационных реакций в нейронах ограничивается временными рамками. Судя по полученным данным, 30 суток наблюдения являются периодом, когда в ответ на действие факторов окружающей среды формирование нейропластичности происходит по пути неосинаптогенеза. Мелкие синапсы с упрощенной организацией синаптического устройства, как показывают исследования, не обеспечивают работу нейронной сети на уровне осетров контрольной группы. В случае колебаний гидротермического режима среды обитания и нагрузки организма осетров катионами свинца изменения терминальных отделов нейронов имеют признаки свободнорадикального повреждения. Использование в исследовании антиоксидантного соединения с уникальной молекулярной структурой снижает развитие сублетального повреждения нейронов и направляет развитие синаптической пластичности по пути рекомбинации сложных синапсов конвергентного и дивергентного типов с образованием нескольких активных зон и усложнением организации синаптических устройств.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Aramli M. S., Kalbassi M. R., Nazari R. M.** Comparative study of sex steroid levels of persian sturgeon, *Acipenser persicus* males in responding negative and positive to LHRH-A2 hormone // Journal of Aquaculture Research & Development. – 10 April 2013. – Vol. 4 (3). DOI: <http://dx.doi.org/10.4172/2155-9546.1000177> (дата обращения 11.01.2016)
2. **Doroshov S. I., Cech Jr. J. J.** Sturgeon: physiology of sturgeon // Encyclopedia of Fish Physiology: From Genome to Environment. – London: Elsevier, 2011. – P. 1800–1806.
3. **Eslamloo K., Falahatkar B.** Variations of some physiological and immunological parameters in Siberian sturgeon (*Acipenser baerii* Brandt, 1869) Subjected to an Acute Stressor // Journal of Applied Animal Welfare Science. – 2014. – Vol. 17, No. 1. – P. 29–42.
4. **King G. D., Chapman J. M., Cooke S. J., Suski C. D.** Stress in the neighborhood: Tissue glucocorticoids relative to stream quality for five species of fish // Science of The Total Environment. – 2016. – Vol. 547. – P. 87–94.
5. **Rajkov J., Shao Z., Berrebi P.** Evolution of polyploidy and functional diploidization in sturgeons: microsatellite analysis in 10 sturgeon species // Journal of Heredity. – 2014. – Vol. 105 (4). – P. 521–531.



6. **Ruban G. I.** The Siberian sturgeon *Acipenser baerii* Brandt. Species structure and ecology. World Sturgeon Conservation Society. Special Publication Series No. 1. – Norderstedt. Germany, 2005. – 203 p.
7. **Silvestre F., Linares-Casenave J., Doroshov S. I., Kültz D.** A proteomic analysis of green and white sturgeon larvae exposed to heat stress and selenium // *Science of The Total Environment*. – 2010. – Vol. 408 (16). – P. 3176–3188.
8. **Tian Z.-H., Xu S.-G., Wang W., Hu H.-X., Ma G.-Q.** Effects of acute thermal stress on HSP70 mRNA, physiology and nonspecific immunity in Siberian sturgeon (*Acipenser baerii*) // *Acta Hydrobiologica Sinica*. – 2013. – Vol. 37, No. 2. – P. 344–350.
9. **Zhang XM, Wu WH, Li LM, Ma XF, Chen JP.** Genetic variation and relationships of seven sturgeon species and ten interspecific hybrids // *Genetics Selection Evolution*. – 2013. – Vol. 45. DOI: <http://dx.doi.org/10.1186/1297-9686-45-21> (дата обращения 11.01.2016)
10. **Голованов В. К., Голованова И. Л.** Температурный оптимум и верхняя температурная граница жизнедеятельности осетровых видов рыб // *Вестник Астраханского государственного технического университета. Серия: Рыбное хозяйство*. – 2015. – № 3. – С. 110–118.
11. **Лошенко В. И., Сахаров А. В., Просенко А. Е., Остапенко В. А.** Роль свободнорадикального механизма в реализации адаптивных реакций сибирского осетра при моделировании колебаний гидротермического режима // *Вестник Тверского государственного университета. Сер. : Биология и экология*. – 2016. – № 1. – С. 7–14.
12. **Лошенко В. И., Сахаров А. В., Просенко А. Е., Рябчикова Е. И.** Экспериментальное обоснование роли активных метаболитов кислорода в формировании экотоксичности в акватории приплотинного участка гидроэлектростанции [Электронный ресурс] // *Современные проблемы науки и образования*. – 2014. – № 5. URL: <http://www.science-education.ru/119-14564> (дата обращения 11.01.2016)
13. **Мартиневич Г. Г., Черенкевич С. Н.** Окислительно-восстановительные процессы в клетках. – Минск: БГУ, 2008. – 159 с.
14. **Рубан Г. И., Ходоревская Р. П., Кошелев В. Н.** О состоянии осетровых в России // *Астраханский вестник экологического образования*. – 2015. – № 1 (31). – С. 42–50.
15. **Семченко В. В., Степанов С. С., Боголепов Н. Н.** Синаптическая пластичность головного мозга (фундаментальные и прикладные аспекты). – Омск: Омская областная типография, 2008. – 408 с.
16. **Хавинсон В. Х.** Свободнорадикальное окисление и старение. – СПб.: Наука, 2003. – 327 с.



DOI: [10.15293/2226-3365.1603.14](https://doi.org/10.15293/2226-3365.1603.14)

Vitalina Igorevna Loshenko, Senior Lecturer of the Department of Zoology and Biology Teaching Methods, Novosibirsk State Pedagogical University, Novosibirsk, Russian Federation.

ORCID ID: <http://orcid.org/0000-0001-7137-2424>

E-mail: vitalina_loshenk@mail.ru

Andrey Valentinovich Sakharov, Doctor of Biological Sciences, Professor, Head of Department of Zoology and Biology Teaching Methods, Novosibirsk State Pedagogical University, Novosibirsk, Russian Federation.

ORCID ID: <http://orcid.org/0000-0002-5076-2113>

E-mail: asakharov142@rambler.ru

Elena Ivanovna Ryabchikova, Doctor of Biological Sciences, Professor, Head of the Group of Microscopy, Institute of Chemical Biology and Fundamental Medicine Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, Novosibirsk, Russian Federation.

ORCID ID: <http://orcid.org/0000-0003-4714-1524>

E-mail: lenryab@yandex.ru

Alexandr Evgenievich Prosenko, Doctor of Chemical Sciences, Professor, Head of Department of Chemistry, Novosibirsk State Pedagogical University, Novosibirsk, Russian Federation.

ORCID ID: <http://orcid.org/0000-0002-5167-4094>

E-mail: chemistry@ngs.ru

SYNAPTIC BRAIN PLASTICITY OF SIBERIAN STURGEON IN CHANGING THE PARAMETERS OF INFORMATIONAL ENVIRONMENT

Abstract

This article presents the results of experimental modeling which demonstrated the influence of fluctuations in hydrothermal regime and lead levels exceeding in the environment on the state of terminal parts of forebrain neurons in Siberian sturgeon. The purpose of this work is to investigate synaptic forebrain plasticity in Siberian sturgeon within changing parameters of informational environment. According to the obtained results, an influence of environmental factors leads to adaptive remodeling of synaptic means. Throughout thirty days of exposure the adaptive change of synaptoarchitectonics has been identified as incomplete. This was proved by the methods of morphology and physiology on the cellular and ontogenetic levels. The significant role of free radical mechanism was demonstrated on the realization of synaptic forebrain plasticity in Siberian sturgeon. The use of the new generation multi-functional sulfur-containing antioxidant «Thiophane» during the realization of reactions of the adaptation syndrome allows to regulate the level of free radical activity in neurons. In conclusion, the authors justify the possibility of using antioxidant «Thiophane» for control of synaptic forebrain plasticity in sturgeons in conditions of changing the environmental factors.

Keywords

Siberian sturgeon, brain, stress, synaptic plasticity, adaptation, antioxidant, environmental factors.



REFERENCES

1. Aramli M. S., Kalbassi M. R., Nazari R. M. Comparative study of sex steroid levels of persian sturgeon, *Acipenser persicus* males in responding negative and positive to LHRH-A2 hormone. *Journal of Aquaculture Research & Development*. 10 April 2013, vol. 4 (3). DOI: <http://dx.doi.org/10.4172/2155-9546.1000177> (Accessed 11.01.2016)
2. Doroshov S. I., Cech Jr. J. J. Sturgeon: physiology of sturgeon. *Encyclopedia of Fish Physiology: From Genome to Environment*. London: Elsevier Publ., 2011, pp. 1800–1806.
3. Eslamloo K., Falahatkar B. Variations of some physiological and immunological parameters in Siberian sturgeon (*Acipenser baerii*, Brandt, 1869) Subjected to an Acute Stressor. *Journal of Applied Animal Welfare Science*. 2014, vol. 17, no. 1, pp. 29–42.
4. King G. D., Chapman J. M., Cooke S. J., Suski C. D. Stress in the neighborhood: Tissue glucocorticoids relative to stream quality for five species of fish. *Science of The Total Environment*. 2016, vol. 547, pp. 87–94.
5. Rajkov J., Shao Z., Berrebi P. Evolution of polyploidy and functional diploidization in sturgeons: microsatellite analysis in 10 sturgeon species. *Journal of Heredity*. 2014, vol. 105 (4), pp. 521–531.
6. Ruban G. I. *The Siberian sturgeon Acipenser baerii Brandt. Species structure and ecology*. World Sturgeon Conservation Society. Special Publication Series no. 1. Norderstedt. Germany, 2005, 203 p.
7. Silvestre F., Linares-Casenave J., Doroshov S. I., Kültz D. A proteomic analysis of green and white sturgeon larvae exposed to heat stress and selenium. *Science of The Total Environment*. 2010, vol. 408 (16), pp. 3176–3188.
8. Tian Z.-H., Xu S.-G., Wang W., Hu H.-X., Ma G.-Q. Effects of acute thermal stress on HSP70 mRNA, physiology and nonspecific immunity in Siberian sturgeon (*Acipenser baerii*). *Acta Hydrobiologica Sinica*. 2013, vol. 37, no. 2, pp. 344–350.
9. Zhang XM, Wu WH, Li LM, Ma XF, Chen JP. Genetic variation and relationships of seven sturgeon species and ten interspecific hybrids. *Genetics Selection Evolution*. 2013, Vol. 45. DOI: <http://dx.doi.org/10.1186/1297-9686-45-21> (Accessed 11.01.2016)
10. Golovanov V. K., Golovanova I. L. Temperature optimum and upper temperature limit of sturgeons vital activity. *Vestnik of Astrakhan State Technical University. Series: Fishing industry*. 2015, no. 3, pp. 110–118. (In Russian)
11. Loshenko V. I., Sakharov A. V., Prosenko A. E., Ostapenko V. A. Role of free radical mechanism in realization of the adaptive reactions of Siberian sturgeon in modeling of hydrothermal regime fluctuations. *Herald of Tver State University. Series: Biology and Ecology*, 2016, no. 1, pp. 7–14. (In Russian)
12. Loshenko V. I., Sakharov A. V., Prosenko A. E., Ryabchikova E. I. Experimental substantiation of the role of active oxygen metabolites in forming ecotoxicity effects in water of the dam site of hydroelectric power station. *Modern problems of science and education*. 2014, no. 5. (In Russian). Available at: <http://www.science-education.ru/119-14564> (Accessed 11.01.2016)
13. Martinovic G. G., Cherenkevich S. N. *Redox processes in cells*. Minsk, BSU Publ., 2008, 159 p.
14. Ruban G. I., Hodorevskaya R. P., Koshelev V. N. On the status of sturgeon in Russia. *Astrakhan bulletin of ecological education*. 2015, no. 1 (31), pp. 42–50. (In Russian)
15. Semchenko V. V., Stepanov S. S., Bogolepov N. N. *Synaptic plasticity of the brain (the fundamental and applied aspects)*. Omsk, Omsk regional printing house Publ., 2008, 408 p. (In Russian)
16. Havinson V. H. *Free radical oxidation and aging*. S. Petersburg, Science Publ., 2003, 327 p. (In Russian)