

УДК 004.8.032.26:[597.442-113.32:551.463.3]
ББК 32.818:[28.693.324-72:28.901.1]

A. С. Мартьянов, Д. А. Бедняков, А. А. Невалённая

**НЕЙРОСЕТЕВОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ
ВОЗДЕЙСТВИЯ ОСМОТИЧЕСКОГО ДАВЛЕНИЯ
НА УРОВЕНЬ АКТИВНОСТИ α -АМИЛАЗЫ
СЛИЗИСТОЙ ОБОЛОЧКИ КИШЕЧНИКА РУССКОГО ОСЕТРА**

A. S. Martyanov, D. A. Bednyakov, A. A. Nevalennaya

**SIMULATION OF THE INFLUENCE OF OSMOTIC PRESSURE
ON THE LEVEL OF α -AMYLASE ACTIVITY
OF THE INTESTINE OF RUSSIAN STURGEON
BY MEANS OF NEURAL NETWORK**

Задача исследований – моделирование воздействия осмотического давления окружающей среды на изменение уровня активности α -амилазы слизистой оболочки кишечника русского осетра (*Acipenser güldenstädtii* Brandt). Для решения задачи использован аппарат нейронных сетей. Построенная модель относится к нейронным сетям типа «многослойный персептрон» и обладает достаточно прозрачной структурой. Исследованы закономерности указанного воздействия, создана модель, обладающая высокой аппроксимирующей и обобщающей способностью. Сделан вывод о перспективности применяемого подхода в исследованиях адаптаций пищеварительной системы гидробионтов к воздействию экологических факторов с оговорками, касающимися используемого показателя точности моделирования.

Ключевые слова: осмотическое давление, пищеварительные ферменты, русский осетр, нейронные сети, многослойный персептрон.

The article is devoted to the simulation of the influence of environmental osmotic pressure on the changes of the level of α -amylase activity of mucous tunic of the intestine of Russian sturgeon (*Acipenser güldenstädtii* Brandt). For the solving of this problem the apparatus of neural networks is used. The designed model can be classified as multilayer perceptrone and has rather transparent structure. The conformities of this influence are examined and the model with high approximating and generalizing properties is created. The conclusion about high availability of application of the approach in the studies of adaptations of the digestive system of aquatic organisms to the influence of environmental factors with some qualifications about used rate of exactness of the simulation is made.

Key words: osmotic pressure, digestive enzymes, Russian sturgeon, neural networks, multilayer perceptrone.

В настоящее время биологическими науками, в том числе физиологией пищеварения, накоплено огромное количество данных по воздействию факторов окружающей среды на физиологические показатели организма. Однако по ряду причин описание воздействия (даже количественное) относительно редко давало возможность прогноза количественного изменения изучаемого показателя при изменении интенсивности воздействия того или иного фактора на организм. Отчасти это связано с комплексностью воздействия факторов окружающей среды на организм в естественных условиях, следствием чего является трудность выявления и анализа причинно-следственных связей между влияющим агентом и происходящими изменениями. Другой важной причиной является сложность самих данных связей, зачастую не позволяющих описать их (даже при изолированном действии какого-либо фактора) конкретной функциональной зависимостью. Одним из решений данной проблемы может стать построение непараметрических нелинейных моделей, способных аппроксимировать подобные зависимости при достаточном объеме обучающей выборки. К таким моделям можно отнести, в частности, нейронные сети, обладающие способностью к обучению на выборке данных и к нелинейной аппроксимации практически любой непрерывной функции [1–3].

По всей вероятности, нейросетевой подход является весьма перспективным направлением, в частности, при анализе воздействия факторов среды на пищеварительные ферменты рыб. Искусственные нейронные сети в настоящее время находят ряд применений в биологических

и медицинских науках [4–6], в том числе в качестве инструмента исследований и моделирования. Разнообразные (за исключением осмотического) воздействия на данный показатель уже были неоднократно изучены [7–9]. Однако количественные прогнозы в данной области, несомненно, пригодятся в разработке и улучшении состава кормовых смесей, а также будут способствовать формированию более точных представлений о динамике физиологических показателей пищеварения рыб в естественных условиях при каких-либо изменениях окружающей среды.

Цель исследований – анализ возможности применения нейронной сети типа многослойного персептрона для прогнозирования изменений уровня активности α -амилазы слизистой оболочки кишечника русского осетра при воздействии на данный фермент осмотического давления.

Объектами исследования служили половозрелые самки русского осетра (*Acipenser guldentstiidii*), выловленные в Северном Каспии. Из слизистой оболочки, отделяемой от кишечника, либо пилорической железы с помощью специального скребка готовили гомогенат в разведении 1 : 100. Все эксперименты проводили в условиях *in vitro* при температуре +25 °С. При изучении влияния осмотического давления на указанные ферменты гомогенат и субстрат готовили при помощи растворов хлорида натрия с кратно уменьшающейся концентрацией (от 0,05 до 20 %). Активность ферментов определяли с использованием стандартных физиолого-биохимических методик [10].

Экспериментальная выборка была представлена 66 точками данных. Из них 40 использовались для обучения, по 13 примеров были задействованы для формирования контрольной и тестовой выборок [1]. Цикл обучения составил 60 эпох, результаты продемонстрированы на рис. 1. Для аппроксимации зависимости был сформирован многослойный персептрон с одним промежуточным слоем. Входной переменной служило осмотическое давление среды (кПа), выходной – относительный показатель изменения уровня активности исследуемого фермента (отношение наблюдаемого уровня активности к среднему его значению в физиологическом растворе Рингера для холоднокровных животных). Число нейронов в промежуточном слое было выбрано равным трем.

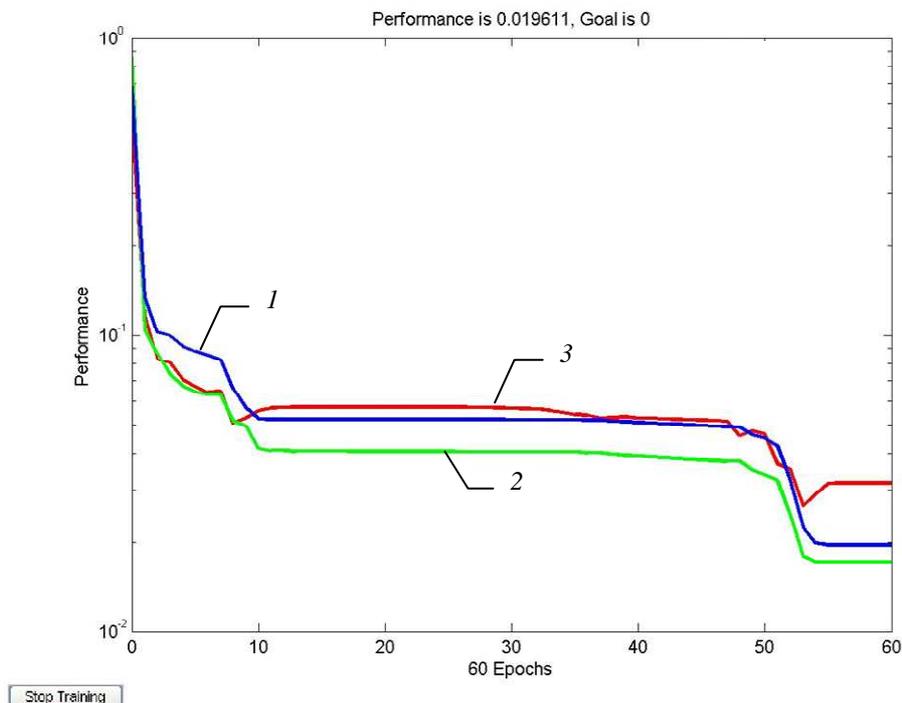


Рис. 1. Изменение среднеквадратической ошибки в ходе обучения многослойного персептрона: 1 – для обучающей выборки, 2 – для контрольной, 3 – для тестовой. По горизонтальной оси отложены эпохи обучения, по вертикальной – значения ошибки

Уменьшение ошибки на контрольной, а главное, тестовой выборках позволяет говорить о достаточно хорошем качестве обучения сети, прежде всего – отсутствии эффекта переобучения. Результирующая среднеквадратическая ошибка составила:

- для обучающей выборки – $1,99 \cdot 10^{-2}$;
- для контрольной выборки – $1,71 \cdot 10^{-2}$;
- для тестовой выборки – $2,91 \cdot 10^{-2}$.

Эти данные позволяют говорить о достаточно высокой точности аппроксимации исследуемой зависимости. Однако для подтверждения точности результатов был дополнительно проведен регрессионный анализ для каждой из выборок; анализировались линейная регрессия и корреляция между экспериментальными данными и вычисленными многослойным перцептроном значениями. Результаты продемонстрированы на рис. 2.

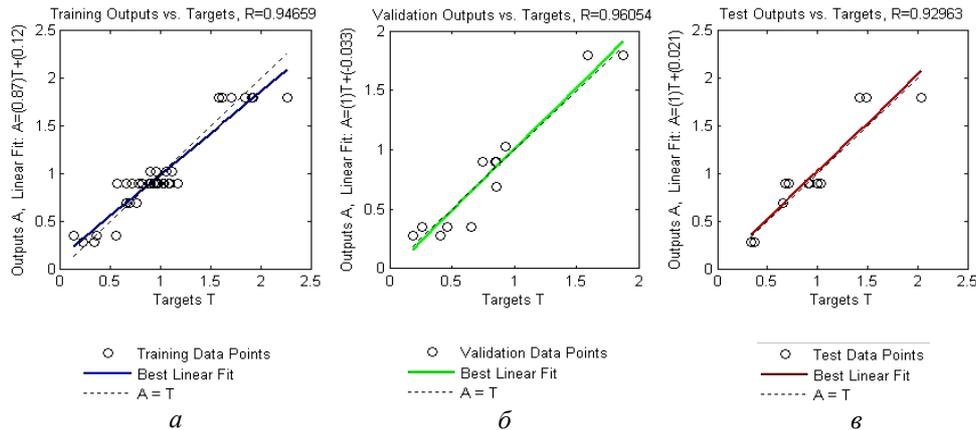


Рис. 2. Результаты регрессионного анализа экспериментальных данных относительно вычисляемого выхода сети. Слева – результаты относительно обучающей выборки, в центре – контрольной, справа – тестовой. Кружками обозначены данные соответствующих выборок, штриховая линия – линия равенства данных физического (Т) и вычислительного (А) экспериментов

Результаты анализа (Т – данные эксперимента, А – данные, вычисленные перцептроном, R – коэффициент корреляции между Т и А):

- для обучающей выборки: $A = 0,87 \cdot T + 0,12$, $R = 0,95$;
- для контрольной выборки: $A = T - 0,033$, $R = 0,96$;
- для тестовой выборки: $A = T + 0,021$, $R = 0,93$.

Эти результаты подтверждают высокую точность прогнозирования такой, в целом достаточно простой модели и позволяют сделать вывод о возможности широкого применения нейросетевого подхода для прогнозирования физиологических показателей животных, в частности рыб. Вместе с тем необходимо отметить, что алгоритмы обучения нейронных сетей не гарантируют достижения минимально возможной ошибки, а такой показатель точности моделирования, как среднеквадратическая ошибка сети, хотя и является достаточно надежным, может быть неравномерно распределен по исследуемому диапазону воздействия.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Дьяконов В. П., Круглов В. В. MATLAB 6.5 SP1/7 SP1/7 SP2 + Simulink 5/6. Инструменты искусственного интеллекта и биоинформатики. – М.: СОЛОН-ПРЕСС, 2006. – 456 с.
2. Рутковская Д., Пилинский М., Рутковский Л. Нейронные сети, генетические алгоритмы и нечеткие системы. – М.: Горячая линия – Телеком, 2006. – С. 18–42
3. Хайкин С. Нейронные сети: полный курс – М.: Изд. дом «Вильямс», 2006. – С. 219–341.
4. Крючин О. В., Козадаев А. С., Арзамасцев А. А. Параллельные алгоритмы обучения искусственных нейронных сетей и их применение для прогнозирования численности популяции креветки в Индийском океане // Вестн. Тамбов. ун-та. Сер.: Естественные науки. – 2010. – Т. 15, вып. 5. – С. 1465–1469.
5. Руанет В. В. Нейросетевые технологии в медико-биологических исследованиях. – Тула: Изд-во ТулГУ, 2007. – 194 с.

6. Долинина О. Н., Кузьмин А. К. Отладка искусственной нейросети, основанной на трехслойном персептроне, на примере экспертной системы для офтальмологии // Вестн. Астрахан. гос. техн. ун-та. Сер.: Управление, вычислительная техника и информатика. – 2011. – № 2. – С. 80–89.
7. Невалённый А. Н., Туктаров А. В., Бедняков Д. А. Функциональная организация и адаптивная регуляция процессов пищеварения у рыб: моногр. – Изд-во АГТУ, 2003. – 152 с.
8. Кузьмина В. В. Физиолого-биохимические основы экзотрофии рыб. – М.: Наука, 2005. – 300 с.
9. Голованова И. Л., Филиппов А. А., Голованов В. К. Влияние температуры, рН и тяжелых металлов (медь, цинк) на активность карбогидраз щуки *Esox lucius* L. и ее жертвы // Вестн. Астрахан. гос. техн. ун-та. Сер.: Рыбное хозяйство. – 2011. – № 2. – С. 78–83.
10. Невалённый А. Н., Бедняков Д. А., Дзержинская И. С. Энзимология: учеб. пособие. – Астрахань: Изд-во АГТУ, 2005. – 84 с.

Статья поступила в редакцию 25.07.2012

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Мартыанов Александр Сергеевич – Астраханский государственный технический университет, центр образовательной политики; начальник отдела лицензирования; martalex.84@list.ru.

Martyanov Alexander Sergeevich – Astrakhan State Technical University, Center of Educational Policy; Head of the Department of Licensing; martalex.84@list.ru.

Бедняков Дмитрий Андреевич – Астраханский государственный технический университет; канд. биол. наук, доцент; доцент кафедры «Социально-культурный сервис и туризм»; bednyakovd@rambler.ru.

Bednyakov Dmitriy Andreevich – Astrakhan State Technical University; Candidate of Biological Sciences, Assistant Professor; Assistant Professor of the Department "Social-Cultural Service and Tourism"; bednyakovd@rambler.ru.

Невалённая Анастасия Александровна – Астраханский государственный технический университет; студентка, специальность «Товароведение и экспертиза товаров»; bednyakovd@rambler.ru.

Nevalennaya Anastasiya Aleksandrovna – Astrakhan State Technical University, Student of the Department "Commodity Research and Expertise of Goods", bednyakovd@rambler.ru.