

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МЕТОДА ИСКУССТВЕННЫХ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ ДЛЯ МОДЕЛИРОВАНИЯ БИОЛОГИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ ОЧИСТКИ ВОДЫ НА ОСНОВЕ РЯСКИ

А.А. Аль Кассаб, Г.А. Шевченко, Ю.Н. Черноусова

Научный руководитель: доцент, к. т. н. В.В. Тихонов
Национальный исследовательский Томский политехнический университет
E-mail: neroeyes@gmail.com

В настоящее время многие исследователи в Китае, Европе, США и других странах исследуют возможности разных видов ряски по очищению загрязненных вод и разрабатывают системы очистки сточных вод на основе этого водного растения. Использование ряски для очистки воды связано с получением полезного побочного продукта в виде биомассы ряски, которую можно использовать как белковый корм или перерабатывать в топливо для двигателей внутреннего сгорания (этиловый спирт). Использование результатов экспериментальных исследований для создания функционирующей системы очистки воды требует разработки математической модели. Построение детерминированной модели очистки сточных вод ряской связано со сложностью моделирования биохимических процессов, протекающих внутри ряски. Более удобным методом моделирования биологических систем является метод искусственных нейронных сетей. В работе приводятся результаты построения модели очистки ряской сточных вод в лабораторных условиях с использованием метода нейронных сетей.

Ряска – это маленькое, плавающее на поверхности воды, водное растение, принадлежащее к семейству *Lemnaceae*. Ряска хорошо поглощает нитраты, фосфаты, тяжелые металлы, уменьшает химическое и биологическое потребление кислорода, содержание взвешенных частиц, бактерий и других патогенных микроорганизмов в воде [1].

В США, Израиле, Бангладеше и др. странах уже более 30 лет исследуются возможности различных видов ряски очищать загрязненные воды и разрабатываются системы очистки сточных вод на основе этого водного растения [2–6]. Выбор ряски для очистки воды связан с рядом факторов: ее удобно собирать и извлекать из воды; ряска обладает высокой скоростью поглощения веществ и высокой скоростью роста биомассы; она неприхотлива к климатическим условиям; ряска содержит высокое количество крахмала и белка и поэтому ее в сыром виде можно использовать как белковый корм для рыбы, птиц и животных; биомассу ряски можно перерабатывать в этиловый спирт, который можно использовать как замену бензина [7].

Ряска, произрастающая в Сибири, устойчива к низким температурам. Для исследования возможности использования ряски для очистки сточных вод в климатических условиях Сибири в Томской области был собран из природных водоемов вид ряски *Lemna Minor*. Ряска выращивалась в лаборатории в течении месяца на субстрате, полученном из метантенка. Субстрат брался для анализа два раза в неделю (в понедельник и четверг) для определения количества поглощенных ряской питательных веществ.

Для оценки взаимосвязи параметров эксперимента был проведен анализ полученных данных с использованием метода искусственных нейронных сетей, который успешно зарекомендовал себя в моделировании процессов с участием живых организмов. Построение детерминированных моделей (на основе физических и физико-химических законов) функционирования биологических систем как правило невозможно из-за большого количества биохимических процессов в живых организмах.

Искусственная нейронная сеть – это математическая модель или ее программное воплощение, построение и функционирующее по принципу биологической нейронных сетей [8]. Элементарной единицей искусственной нейронной сети является нейрон (рис. 1). Нейроны, образующие один слой, работают параллельно. Любая нейронная сеть содержит входной слой (для задания значений независимых переменных), выходной слой (для задания или прогнозирования значений зависимой переменной) и несколько промежуточных слоев (обычно один). Искусственные нейронные сети способны обучаться на реальных данных и после обучения способны прогнозировать результат. Также они способны определять наиболее важные параметры для модели. Недостатком нейронных сетей является то, что они работают по принципу черного ящика.

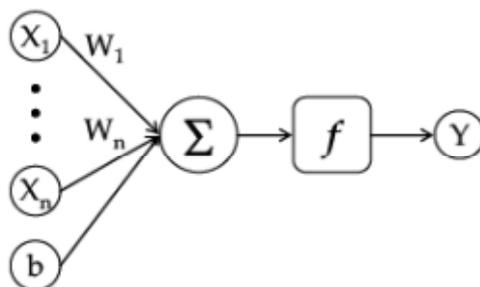


Рис. 1. Модель искусственного нейрона. x_1-x_n – входные переменные, w_1-w_n – веса переменных, Σ – сумматор, f – функция активации, Y – выходная переменная

В работах [9–11] искусственные нейронные сети использовались для моделирования процесса очистки рясковой воды.

Список литературы

1. Landolt E., Kandeler R. Biosystematic investigations in the family of duckweeds (Lemnaceae) // The family of Lemnaceae: a monographic study. – 1987. – Vol. 4. – P. 211–34.
2. Alaerts G.J., Mahbubar R., Kelderman P. Performance analysis of a full-scale duckweed-covered sewage lagoon // Water Research. – 1996. – Vol. 30, No. 4. – C. 843–852.
3. Culley D.D. et al. Production, chemical quality and use of duckweeds (Lemnaceae) in aquaculture, waste management, and animal feeds // Journal of the World Mariculture Society. – 1981. – Vol. 12, No. 2. – P. 27–49.
4. Oron G. Duckweed culture for wastewater renovation and biomass production // Agricultural water management. – 1994. – Vol. 26, No. 1–2. – P. 27–40.
5. Oron G., de-Vegt A., Porath D. Nitrogen removal and conversion by duckweed grown on waste-water // Water Research. – 1988. – Vol. 22, No. 2. – P. 179–184.
6. Van der Steen P., Brenner A., Oron G. An integrated duckweed and algae pond system for nitrogen removal and renovation // Water science and Technology. – 1998. – Vol. 38, No. 1. – P. 335–343.
7. Cheng J.J., Stomp A.M. Growing duckweed to recover nutrients from wastewaters and for production of fuel ethanol and animal feed // Clean–Soil, Air, Water. – 2009. – Vol. 37, No. 1. – P. 17–26.
8. Kasabov N.K. Foundations of neural networks, fuzzy systems, and knowledge engineering. – Marcel Alencar, 1996.
9. Khataee A.R. et al. Phytoremediation potential of duckweed (*Lemna minor* L.) in degradation of CI Acid Blue 92: Artificial neural network modeling // Ecotoxicology and environmental safety. – 2012. – Vol. 80. – P. 291–298.
10. Movafeghi A. et al. Bioremoval of CI Basic Red 46 as an azo dye from contaminated water by *Lemna minor* L.: Modeling of key factor by neural network // Environmental Progress & Sustainable Energy. – 2013. – Vol. 32, No. 4. – P. 1082–1089.
11. Torbati S. Artificial neural network modeling of biotreatment of malachite green by *Spirodela polyrhiza*: study of plant physiological responses and the dye biodegradation pathway // Process Safety and Environmental Protection. – 2016. – Vol. 99. – P. 11–19.