

**Министерство образования и науки Российской Федерации  
Национальный исследовательский Томский государственный университет  
Томское областное отделение Русского географического общества  
Томское отделение Российского геологического общества**

# **СОВРЕМЕННЫЕ ПРОБЛЕМЫ ГЕОГРАФИИ И ГЕОЛОГИИ**

**К 100-летию открытия естественного отделения  
в Томском государственном университете**

**Материалы  
IV Всероссийской научно-практической конференции с международным участием**

**Том I**



**Томск  
16–19 октября 2017**

**ПРИМЕНЕНИЕ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ ДЛЯ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ  
СРЕДНЕСУТОЧНЫХ УРОВНЕЙ ВОДЫ В РЕКАХ (НА ПРИМЕРЕ РЕК ОБЬ И ТОМЬ)**

*Земцов В.А., Шевчук К.Р.*

*Национальный исследовательский Томский государственный университет, г. Томск*

*Аннотация.* Статья посвящена краткосрочному прогнозированию среднесуточных уровней воды р. Обь у п. Молчаново в период половодья с помощью искусственных нейронных сетей. Разработана и апробирована на независимом материале методика прогнозирования по среднесуточным уровням воды р. Обь в п. Победа и р. Томь в г. Томске (пристань) с заблаговременностью двое суток для многоводных лет. Приведен пример прогнозирования уровней воды в 2015 г. на независимом материале с хорошей точностью.

*Ключевые слова:* река Обь, среднесуточные уровни половодья, нейронные сети, прогнозирование.

**APPLICATION OF NEURAL NETWORKS TO PREDICT DAILY AVERAGE WATER  
LEVELS IN RIVERS (BY THE EXAMPLE OF THE RIVERS OB AND TOM)**

*Zemtsov V.A., Shevchuk K.R.*

*National Research Tomsk State University, Tomsk*

*Abstract.* The article is devoted to short-term forecasting of mean daily flood water levels in the Ob River at Molchanovo settlement using artificial neural networks. The forecast technique is developed and tested on a basis of independent data - daily water levels of the Ob River at Pobeda settlement and the Tom River at Tomsk river passenger terminal with the lead time of two days for the high water years. An example of predicting flood water levels for 2015 with good quality using independent data is presented.

*Key words:* the Ob River, daily flood water levels, artificial neural networks, forecasting.

При прогнозировании экстремальных гидрологических ситуаций применение искусственных нейронных сетей может позволить существенно усовершенствовать процесс, когда необходимо принимать оперативные решения по ликвидации или предупреждению чрезвычайных ситуаций, вызванных экстремальными гидрологическими ситуациями на водном объекте [5; 9; 10].

Цель работы: краткосрочный прогноз среднесуточных уровней воды и весеннего половодья в п. Молчаново методом соответственных уровней [6] с применением искусственных нейронных сетей (ИНС). Цель достигается с помощью решения следующих задач: 1) определение входных створов и времени добегающего от них до замыкающего створа; 2) формирование матрицы исходных данных и построение ИНС; 3) эксперименты с ИНС для многоводных лет, выбор оптимальной модели; 4) проверочные прогнозы.

Поселок Молчаново расположен на Средней Оби в 120 км ниже по течению от устья р. Томь. Максимум половодья на р. Обь у п. Молчаново формируется при наложении первой волны половодья р. Обь выше по течению и первой волны половодья р. Томь [4; 7].

Исходный материал представляет собой среднесуточные уровни воды с 01.04 по 31.07 за многоводные годы периода 1979–2015 гг. (1979, 1985, 1992, 2001, 2004, 2007, 2013, 2015 гг., всего 8 лет) в следующих створах: р. Томь – г. Томск (пристань), р. Обь – п. Победа; р. Обь – п. Молчаново. Расстояние между замыкающим створом участка п. Молчаново и входным створом п. Победа на Оби составляет 165 км, расстояние между п. Молчаново и другим входным створом Томск (пристань) равно 188 км.

Нейронные сети позволяют получить сложные нелинейные связи между переменными (предикторами и предиктантом) [1]. Построение ИНС осуществлялось с помощью пакета STATISTICA Neural Network [2]. Массив исходных данных формируется в виде матрицы со строками, соответствующими датам наблюдений, и столбцами – среднесуточными значени-

ями предикторов со сдвигками на время добегания от 2 до 4 суток (уровни воды на р. Томь – г. Томск (пристань) и р. Обь – п. Победа) и предиктанта (р. Обь – п. Молчаново). В качестве предикторов также использовались уровни воды в п. Молчаново со сдвижкой во времени 2 и 3 суток. Всего использовались данные по 7 годам наблюдений в период половодья, общая длина ряда 826 значений.

При построении связей между предикторами и предиктантом проводились эксперименты с множественной линейной моделью регрессии ИНС двухслойный перцептрон с обратным распространением ошибки. Исходные данные были предварительно нормированы для исключения масштабного эффекта по принципу *minimax* [2]. Обучение сети заключается в подборе весовых коэффициентов, на которые умножаются предикторы.

Стратегия построения модели ИНС заключается в следующем. Вся выборка по строкам случайным образом делится на 3 части: 1) обучающая, по которой строится модель, 2) верификационная, по которой уточняются параметры сети и 3) тестовая, применяемая для расчета на независимом материале. Показатели точности совпадения рассчитанных по сети значений предиктанта должны быть в итоге близкими для всех трёх частей исходной выборки. Дополнительно рассчитывался многоводный 2015 г. отдельно только в тестовом режиме.

В ходе обучения и работы ИНС было установлено время добегания для наиболее точного прогноза, которое для всех участков разное. Время добегания от створа р. Томь – г. Томск (пристань) и от р. Обь – п. Победа до замыкающего створа р. Обь п. Молчаново распределяется в пределах 2 – 4 суток.

Наименьшую стандартную погрешность аппроксимации (16,5 см) дала ИНС с 4 входами: уровень воды в Томске наблюдавшийся на 2, 3 суток ранее и Победе наблюдавшийся на 2 суток ранее прогнозируемого в Молчаново, а также уровни в Молчаново за 2 суток до прогнозной даты (рис. 1). Последний из перечисленных предикторов позволяет точнее учесть запас воды в русле Оби на участке.

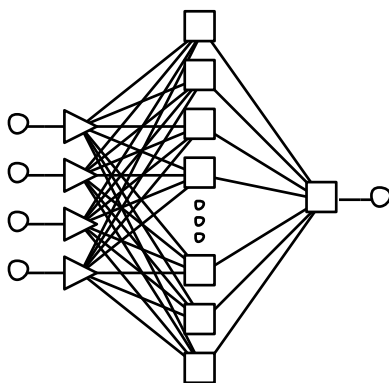


Рисунок 1 – Структура нейронной сети

Выполнены проверочные прогнозы по полученной сети для 2015 г. Стандартная погрешность прогноза ежедневных уровней у п. Молчаново с заблаговременностью 2 суток составила 15,3 см, отношение ее к среднему квадратическому отклонению изменения прогнозируемой величины за 2 суток от среднего изменения (33,3 см) составило 0,46, то есть оценка методики получилась хорошей [3]. О точности независимого прогноза за все дни половодья по полученной нейронной сети свидетельствует рисунок 2.

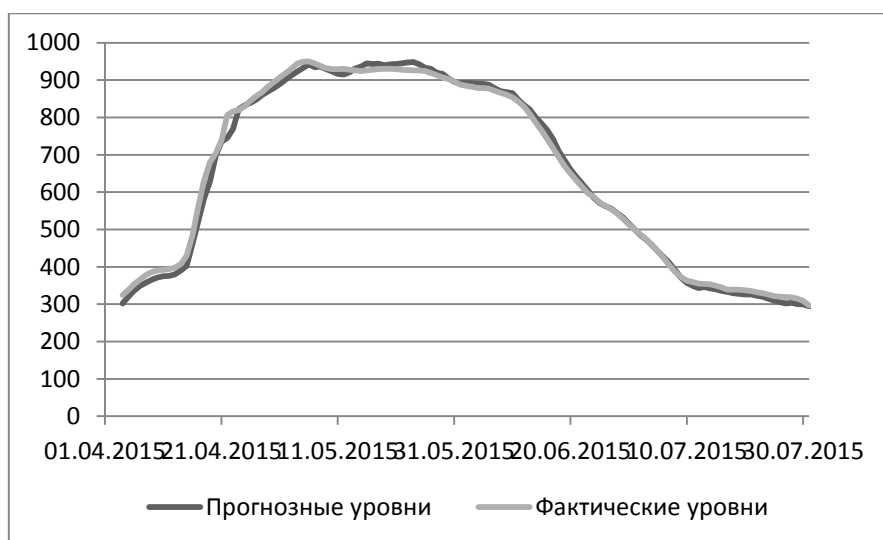


Рисунок 2 – Фактические и прогнозные уровни воды р. Обь у п. Молчаново в половодье 2015 г. При уровнях выше 870 см над нулём поста начинается затопление поймы [7]

**Заключение.** В ходе выполненной работы получен интервал времени добегающего от верхних створов расчетного участка до нижнего. Применение разработанной модели ИНС позволило получить прогноз среднесуточных уровней воды в половодье 2015 года у п. Молчаново на независимом материале с довольно высокой точностью. Оценка методики прогноза – хорошая. Модель реализована в системе STATISTICA Neural Network [2] и предлагается для прогнозирования хода среднесуточных уровней воды р. Обь у п. Молчаново с заблаговременностью 2 суток в период половодья в многоводные годы.

#### Литература

1. Аналитические технологии для прогнозирования и анализа данных [Электронный ресурс]: НейроПроект: 1999–2005. URL: <http://www.neuroproject.ru/neuro.php>
2. Боровиков В.П. Нейронные сети. Statistica Neural Networks. Методология и технологии современного анализа данных. М.: Горячая линия - Телеком, 2008. 392 с.
3. Георгиевский Ю.М., Шаночкин С.В. Гидрологические прогнозы. СПб.: изд. РГГМУ, 2007. 436 с.
4. Дюкарев А.Г., Львов Ю.А., Хмелев В.А. и др. Природные ресурсы Томской области. Новосибирск: Наука, 1991. 174 с.
5. Красногорская Н.Н., Нафикова Э.В. Разработка оперативного прогноза экстремальных гидрологических ситуаций с использованием элементов искусственного интеллекта // Materialy VII mezinarodni vedecko-prakticka conference «Dny vedy 2012». Praha, 2012. Dil. 78. S. 16.
6. Руководство по гидрологическим прогнозам: Вып.2. Краткосрочный прогноз расхода и уровня воды на реках. Л: Гидрометеиздат, 1989. 247 с.
7. Усачев В.Ф., Прокачева В.Г. Бурда Н.Ю. Характеристики затопления поймы Оби (на участке от с. Молчаново до устья). СПб.: ГГИ, 1996. 101 с.
8. Харшан А.А. Особенности формирования максимального стока в бассейнах рек со смешанным горно-равнинным рельефом // Вопросы географии. М: Мысль, 1976. Сб. 102. С. 148–156.
9. Яковенко А.А. Применение генетических алгоритмов для обучения искусственных нейронных сетей при решении задач прогнозирования временных рядов // Сборник научных трудов НГТУ, 2006. № 4(46). С. 61–66.
10. Darrell M.D., White S.F., Daly K.D. Application of neural networks to predict ice jam occurrence // Cold Regions Sci. and Technology. 2002 Vol. 35, Iss. 2. P. 115–122.