

НЕЙРОСЕТЕВОЕ ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ДИНАМИКИ ОЗОнового СЛОЯ

И.Ю. Сакаш^а, Ю.П. Ланкин^б

^аСибирский государственный технологический университет, г. Красноярск

^бИнститут биофизики СО РАН, г. Красноярск

Настоящая работа посвящена изучению озонового слоя Земли, предохраняющего все живое от солнечной радиации. Подобные исследования атмосферы нашей планеты получили широкую известность в связи с проблемой так называемых "озоновых дыр". Использование обучаемых искусственных нейронных сетей, разрабатываемых на основе аналогий с нейронными сетями мозга, позволяет продвинуться в направлении построения модели виртуальной атмосферы и дает надежду как на улучшение понимания происходящих в ней процессов, так и на повышение качества климатических и погодных прогнозов.

Атмосфера является сложно структурированной, неравновесной, высокодинамичной средой. Она поддерживает не только свою собственную устойчивость (как целостное системное образование), но и активно взаимодействует с биосферой, являясь средой обитания живых организмов. В силу высокой сложности атмосферных процессов, изучение и моделирование атмосферы представляет непростую задачу, которая плохо поддается решению традиционными методами. Из-за вынужденной громоздкости моделей возникают серьезные трудности с отражением в них механизмов происходящих процессов, и модели приобретают имитационный характер [1].

В силу сложности анализа и упрощения систем дифференциальных уравнений, обычно используемых в атмосферных моделях, во многих случаях может оказаться предпочтителен альтернативный вариант имитационного моделирования, подразумевающего использование нейронных сетей или адаптивных моделей [2]. Кроме того, нейросетевая обработка дает исследователю возможность получить общее понимание нелинейных закономерностей, заложенных внутри атмосферных данных. Помимо всего прочего, такое понимание существенно облегчает переход к традиционному моделированию на основе систем дифференциальных уравнений, когда в этом возникает необходимость.

Комплекс проведенных ранее исследований позволил сделать вывод о перспективности моделирования динамики общего содержания озона (ОСО) с использованием нейронных сетей [3].

Цель настоящей работы – построение локальных прогнозных моделей среднесуточных колебаний озонового слоя Земли в рамках недельного периода на основе слоистых нейронных сетей.

Особенности слоистых нейросетей в том, что не функционируют во времени, что, с одной стороны, затрудняет моделирование, а с другой - дает возможность получения результата в течение всего одной итерации.

В исследованиях использовались данные о глобальном содержании озона в атмосфере с сайта НАСА <ftp://toms.gsfc.nasa.gov/pub/eptoms/data/>, получаемые со спутника EP/TOMS прибором TOMS (Total Ozone Mapping Spectrometer).

Прогноз 4 значений ОСО

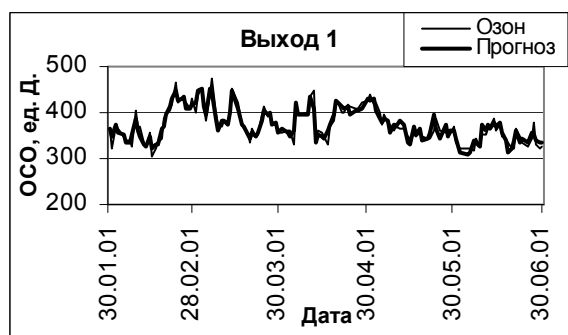
Для изучения среднесуточных колебаний общего содержания озона (ОСО) были взяты данные спутниковых измерений, полученные над городом Томск (56° сев. ш., 84° вост. д.; Россия), с 30 января по 30 июня 2001 г.

При построении моделей среднесуточных значений озона применялась, созданная на основе алгоритма программа "Модель", встроенная в электронную таблицу Excel.

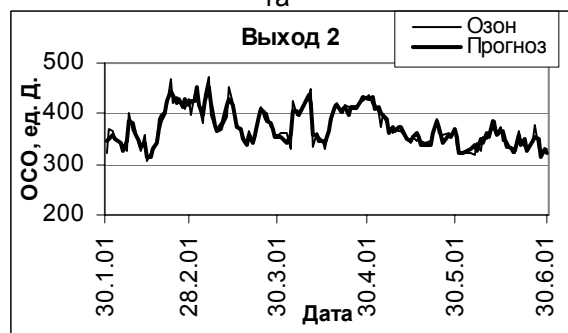
В большинстве предыдущих работ при моделировании ставилась задача генерации нейросетью значения общего содержания озона одной последующей точки на заданный день по нескольким (от трех до шести) предыдущим.

В данном разделе при обучении ставилась задача генерации нейросетью 4 значений общего содержания озона для четырех заданных суток по 22-м предыдущим значениям.

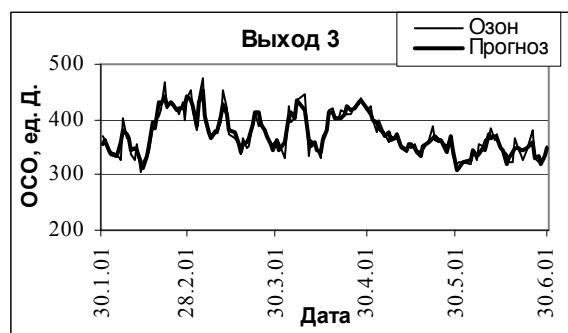
Обучение нейросети велось на промежутке с 30.01.2001 по 25.06.2001, а прогноз выполнялся на тестовом участке с 26.06.2001 по 30.06.2001.



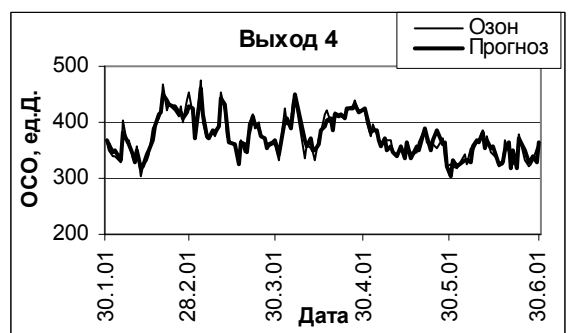
1а



1б



1в



1г

Рисунок 1 – а Прогноз среднесуточных значений ОСО на период с 26 по 30 июня 2001 г. по обучающей выборке с 30 января по 25 июня 2001 г. над г. Томск. (а – кривые факт и прогноз ОСО для первого прогнозируемого значения, б - для второго, в - для третьего, г - для четвертого прогнозируемого значения)

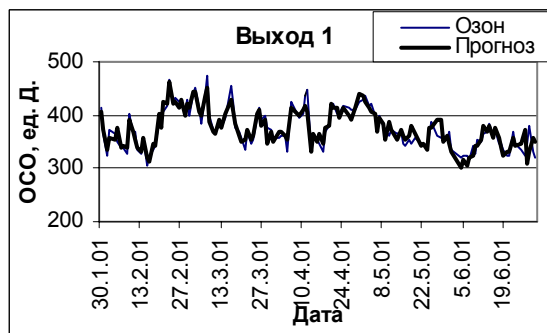
Обучающая выборка состояла из 135 значений, а тест включал 5 среднесуточных значений. Нейронная сеть состояла из 10 нейронов.

Результат прогнозирования концентрации озона приведен на рисунке 1.

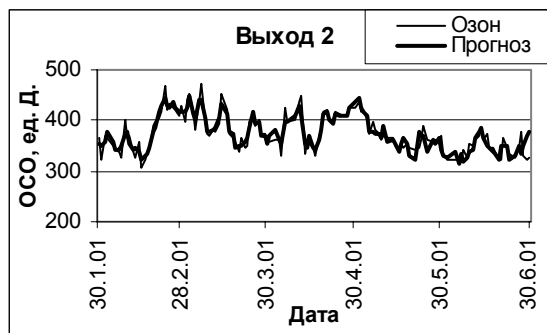
На рисунке 1а представлены графики прогноза среднесуточных значений ОСО за период с 30 января по 30 июня 2001 для первой прогнозируемой точки (коэффициент корреляции между прогнозной кривой и фактической составил $R = 0.95$), на рисунке 1б – для второй прогнозируемой точки ($R = 0.95$), на рисунке 1с – для третьей прогнозируемой точки ($R = 0.95$), 1д – для четвертой прогнозируемой точки ($R = 0.94$).

Прогноз 5 значений ОСО

Здесь при обучении ставилась задача генерации нейросетью 5 значений общего содержания озона для пяти заданных суток по 21-му предыдущему значению. Обучение нейросети велось на промежутке с 30.01.2001 по 25.06.2001, а прогноз выполнялся на тестовом участке с 26.06.2001 по 30.06.2001. Обучающая выборка состояла из 135 значений, а тест включал 5 среднесуточных значений. Нейронная сеть состояла из 10 нейронов. Результат прогнозирования концентрации озона приведен на рисунке 2.

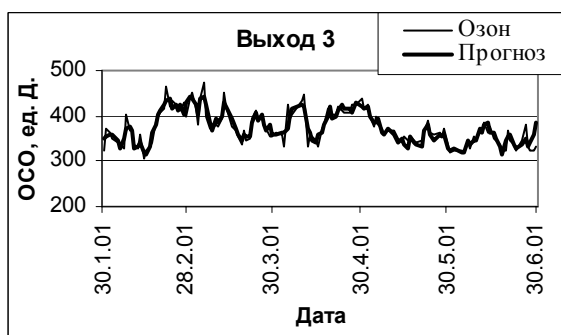


2а

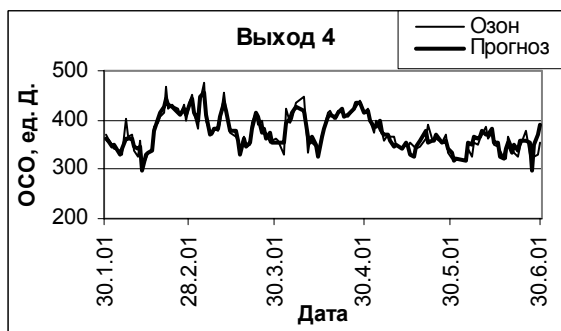


2б

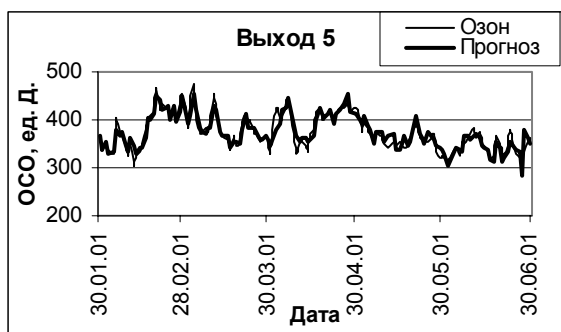
НЕЙРОСЕТЕВОЕ ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ДИНАМИКИ ОЗОнового СЛОЯ



2в



2г



2д

Рисунок 2 – Прогноз среднесуточных значений ОСО на период с 26 по 30 июня 2001 г. по обучающей выборке с 30 января по 25 июня 2001 г. над г. Томск. (а – кривые факт и прогноз ОСО для первого прогнозируемого значения, б - для второго, в - для третьего, г - для четвертого; д - для пятого прогнозируемого значения)

На рисунке 2а представлены графики прогноза среднесуточных значений ОСО за период с 30 января по 30 июня 2001 для первой прогнозируемой точки (коэффициент корреляции между прогнозной кривой и фактической составил $R = 0.92$), на рисунке 2б – для второй прогнозируемой точки ($R = 0.93$), на рисунке 2с – для третьей прогнозируемой точки ($R = 0.91$), 2д – для четвертой прогнозируемой точки ($R = 0.91$), на

рисунке 2е – для пятой прогнозируемой точки ($R = 0,91$).

Прогноз 6 значений ОСО

При обучении ставилась задача генерации нейросетью 6 значений общего содержания озона для шести заданных суток по 21-му предыдущим значениям. Обучение нейросети велось на промежутке с 30.01.2001 по 25.06.2001, а прогноз выполнялся на тестовом участке с 26.06.2001 по 30.06.2001. Обучающая выборка состояла из 135 значений, а тест включал 5 среднесуточных значений. Нейронная сеть состояла из 10 нейронов. Результат прогнозирования концентрации озона приведен на рисунке 3.

На рисунке 3а представлены графики прогноза среднесуточных значений ОСО за период с 30 января по 30 июня 2001 для первой прогнозируемой точки (коэффициент корреляции между прогнозной кривой и фактической составил $R = 0.92$), на рисунке 3б – для второй прогнозируемой точки ($R = 0.92$), на рисунке 3с – для третьей прогнозируемой точки ($R = 0.89$), 3д – для четвертой прогнозируемой точки ($R = 0.91$), на рисунке 3е – для пятой прогнозируемой точки ($R = 0.92$), 3ф – для шестой прогнозируемой точки ($R = 0.89$).

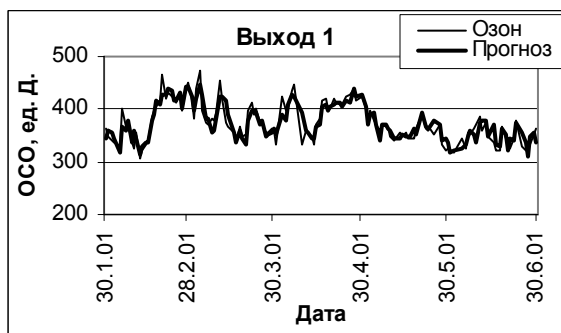
Заключение

В этой работе получены результаты построения локальных прогнозных моделей на основе нейронных сетей.

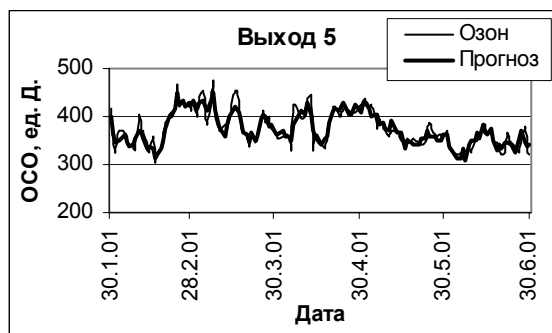
Несмотря на сложность поведения изучаемого объекта, нейросетевая модель демонстрирует достаточно неплохие результаты прогноза на указанный период.

Дальнейшее повышение возможностей рассматриваемых нейросетевых моделей возможно благодаря использованию нейросетевого алгоритма самостоятельной адаптации [4] и нейросетевых архитектур, позволяющих эффективно вести обработку нестационарных временных рядов [5].

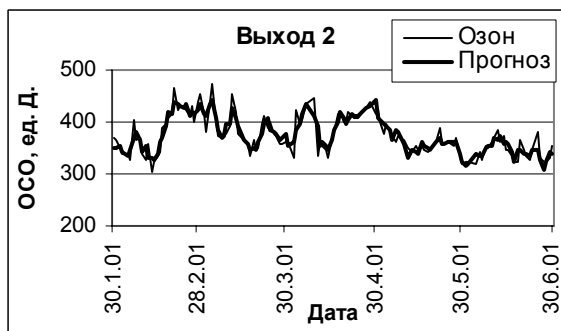
Следует подчеркнуть, что с целью оценки прогностических возможностей нейронных сетей, проводимые эксперименты выполнялись без предварительной обработки временных рядов. В частности, не выполнялось удаление трендов. Таким образом, имеется определенный резерв, использование которого обещает расширить возможности исследованных методов.



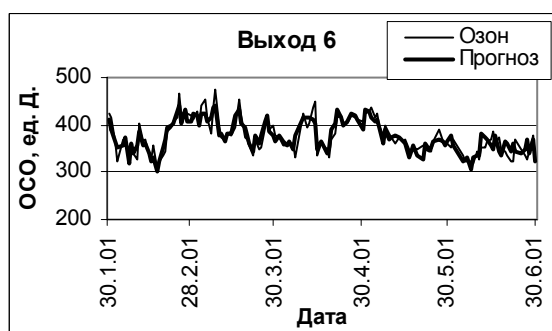
3а



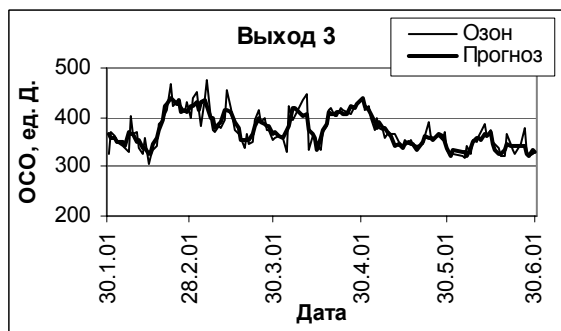
3д



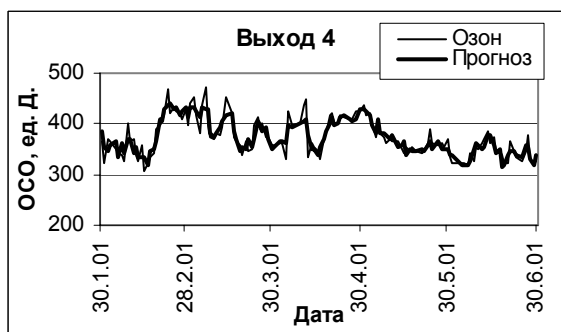
3б



3е



3в



3г

Рисунок 3 – Прогноз среднесуточных значений ОСО на период с 26 по 30 июня 2001 г. по обучающей выборке с 30 января. по 25 июня 2001 г. над г. Томск. (а – кривые факт и прогноз ОСО для первого прогнозируемого значения, б - для второго, в - для третьего, г - для четвертого; д - для пятого; е - для шестого прогнозируемого значения)

Список литературы

1. Lankin J.P. Adaptive simulation of atmospheric phenomena // SPIE, 2002.- Vol. 4678.- P.669-680.
2. Гринченко С.Н. Случайный поиск, адаптация и эволюция: от моделей биосистем к языку представления о мире // Электронный журнал "Исследовано в России", 1999. - Ч.1. - С. 1-11. - <http://zhurnal.ape.relarn.ru/articles/1999/010.pdf>.
3. Sakash I. Yu., Kashkin V.B., Lankin J.P. Correlation of TOC variations and the space-time features of general atmospheric circulation // SPIE, 2005. – Vol. 5743. – P.539-543.
4. Lankin J.P., Baskanova T.F. Algorithms of self-adaptation for atmospheric model designing // SPIE, 2004. - Vol. 5397. - P. 260-270.
5. Ланкин Ю.П., Басканова Т.Ф. Нейронные сети для сложных систем и сигналов // Ползуновский альманах, 2007 (в этом номере).