

НЕЙРОСЕТЕВОЕ РЕШЕНИЕ ЗАДАЧИ ВЛИЯНИЯ РАЗЛИЧНЫХ ФАКТОРОВ НА РЕАЛИЗАЦИЮ НУЛЕВОЙ МАКРОФАЗЫ РОСТА И РАЗВИТИЯ РАСТЕНИЙ ДЛЯ СОДЕЙСТВИЯ В ОБЕСПЕЧЕНИИ ПРОДОВОЛЬСТВЕННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ В УСЛОВИЯХ ЧРЕЗВЫЧАЙНЫХ СИТУАЦИЙ

О.В. Швецова.

**Санкт-Петербургский государственный технологический институт
(технический университет).**

А.В. Иванов, кандидат технических наук;

Г.К. Ивахнюк, доктор химических наук, профессор.

Санкт-Петербургский университет ГПС МЧС России.

Г.Г. Родионов, доктор медицинских наук.

**Всероссийский центр экстренной и радиационной медицины
им. А.М. Никифорова**

Рассмотрена проблема влияния химических и электрофизических факторов на биологические процессы нулевой макрофазы роста и развития растений. Предложена нейросетевая модель, позволяющая проанализировать чувствительность к различным переменным в процессе формирования сети, установить связи между ними и визуализировать результаты путем построения объемной многофакторной диаграммы.

Ключевые слова: регрессионный анализ, нейросетевая модель, многофакторный анализ, моделирование биологических процессов

NEURAL NETWORK SOLUTION OF THE PROBLEM OF THE INFLUENCE OF VARIOUS FACTORS ON THE IMPLEMENTATION OF THE ZERO MACROPHASE GROWTH AND DEVELOPMENT OF PLANTS FOR ASSISTANCE IN ENSURING OF FOOD SECURITY IN EMERGENCIES

O.V. Shvetsova. Saint-Petersburg state technological institute (technical university).

A.V. Ivanov; G.K. Ivakhnyuk. Saint-Petersburg university of State fire service of EMERCOM of Russia.

G.G. Rodionov. All-Russian center of emergency and radiation medicine of the name A.M. Nikiforov

The problem of influence of chemical and physical factors on biological processes zero macrophase growth and development of plants is considered. Neural network model is proposed, that allows to analyze the sensitivity to different variables in the process of forming a network, to establish links between them and visualize the results by plotting the volumetric multivariate chart.

Keywords: regression analysis, neural network model, multivariate analysis, modeling of biological processes

На сегодняшний день перед растениеводством – основным сектором сельского хозяйства – стоит ряд актуальных проблем и важнейших задач, в частности и в области обеспечения безопасности в чрезвычайных ситуациях (ЧС), требующих безотлагательного решения:

1. Создание и развитие систем первоочередного жизнеобеспечения пострадавшего населения в ЧС различного характера, а также разработка мероприятий для минимизации их последствий в области обеспечения продовольствием при поставарийном развитии пострадавших территорий.

2. Освоение новых отдаленных, труднодоступных, преимущественно каменистых, скалистых, горных и островных территорий.

3. Ускорение темпов выращивания и увеличение урожайности (продуктивности) сельскохозяйственных культур в неблагоприятных и экстремальных климатических условиях, в районах с низким естественным плодородием почв, на ограниченных изолированных территориях, а также в зонах рискованного земледелия, в районах, непригодных для ведения сельского хозяйства (северные регионы, пустынные и засушливые местности, солончаки и др.).

4. Наиболее эффективное и рациональное использование ресурсов (удобрений, посевных площадей, семенного материала и др.) для производства зеленой биомассы.

5. Содействие в импортозамещении и обеспечении национальной продовольственной безопасности (особенно при формировании отечественного семенного фонда).

Необходимой предпосылкой выполнения вышеизложенных задач является интенсификация питания растений нулевой макрофазы роста и развития, так как эта стадия является наиболее ответственной в онтогенезе и имеет ключевое значение, данный этап представляет собой стартовый процесс, определяющий становление растения и темпы его дальнейшего развития. Именно на ранней стадии, в этот критический период, растение наиболее чувствительно и менее всего устойчиво к воздействию факторов внешней среды.

В работе [1] достаточно подробно рассмотрена возможность интенсификации питания растений нулевой макрофазы роста и развития минеральными соединениями углерода (на примере CaCO_3 и $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$) химическим (связанным с использованием буферных растворов разного качественного и количественного состава) и электрофизическим (основанным на подведении к системе переменного электрического частотно-модулируемого сигнала [2]) методами при их выращивании гидропонным способом.

Целью настоящей работы является создание нейросетевой модели, позволяющей проанализировать чувствительность к различным переменным в процессе формирования сети, установить связи между ними и визуализировать результаты путем построения объемной многофакторной диаграммы.

Необходимо отметить, что в качестве исходных данных рассматривались только лучшие результаты в своей группе, категории по итогам ранее проведенных исследований:

- 1) минеральное соединение углерода – CaCO_3 ;
- 2) биологические объекты вегетационных опытов – семена овса обыкновенного (посевного);
- 3) буферный раствор – фосфатный;
- 4) воздействие переменного частотно-модулируемого сигнала (ПЧМС): на каждый компонент системы «поливочный раствор – семена – минеральное соединение углерода» (совместная обработка); непосредственное подведение сигнала к растительным объектам и минеральному соединению углерода при его растворении.

Значения переменных (табл. 1):

X1 – время воздействия на систему ПЧМС, мин;

X2 – pH исходного раствора;

X3 – равновесная концентрация ионов HCO_3^- в исходном растворе, ммоль/л;

X4 – растворимость CaCO_3 , ммоль/л;

X5 – осмотическая концентрация исходного раствора, ммоль/кг H_2O ;

X6 – наличие фильтрата CaCO_3 , %;

X7 – pH фильтрата CaCO_3 ;

X8 – равновесная концентрация ионов HCO_3^- в фильтрате, ммоль/л;

X9 – время вегетационного опыта, сут;

Y – доля семян овса обыкновенного, давших корни, %.

Таблица 1. Таблица значений

№ п/п	X1	X2	X3	X4	X5	X6	X7	X8	X9	Y
1–5	Проращивание в воде без химических добавок и без воздействия ПЧМС									
6–25	Проращивание в воде при воздействии ПЧМС									
26–30	Проращивание в фильтрате CaCO ₃ (растворитель – вода) без воздействия ПЧМС									
31–50	Проращивание в фильтрате CaCO ₃ (растворитель – вода) при воздействии ПЧМС									
51–75	Проращивание в фосфатном буферном растворе без воздействия ПЧМС									
76–100	Проращивание в фильтрате CaCO ₃ (растворитель – фосфатный буферный раствор) без воздействия ПЧМС									
101–105	Проращивание в фильтрате CaCO ₃ : комбинация лучших результатов (буферный раствор + воздействие ПЧМС)									

При анализе данных в программном продукте Statistica [3], исходя из определенных зависимостей Y от переменной X9 в сочетании с переменными X1–X8, были получены сведения, на основании которых можно сделать вывод о значительном влиянии факторов X1...X9 на значение доли семян, давших корни. Вместе с тем сделать однозначные выводы о влиянии совокупности факторов на биологический процесс не представляется возможным без применения многофакторного анализа.

Для решения задачи прогноза проращиваемости семян с учетом исследуемых факторов и создания регрессионной модели использовался метод нейронных сетей, активно применяемый в имитационном моделировании в различных отраслях народного хозяйства, позволяющий проигрывать различные сценарии при прогнозировании и тем самым повышать качество процесса принятия решений разнообразных производственных задач [4–6].

Нейронная сеть имеет девять входных нейронов, что соответствует количеству исследуемых входных факторов. В выходном слое имеется один нейрон, соответствующий параметру – доле семян, давших корни. В процессе обучения данные в виде переменных X1–X9 предъявляются сети, которая формирует веса связей между нейронами так, чтобы выходной сигнал был наиболее близок к значению выходного фактора. Обучение проводилось с количеством циклов не менее 20 000. Обучение нейронных сетей заканчивалось, когда достигалось среднее значение ошибки 10^{-6} .

При анализе данных были построены нейронные сети с параметрами, указанными в табл. 2, 3. Аббревиатура MLP имеет значение «многослойный персептрон», представляющий собой объединение нейронов в сеть из нескольких слоев.

Таблица 2. Параметры нейронных сетей (в программном продукте Statistica)

Index	Net. name	Training perf.	Test perf.	Validation perf.	Training error
4	MLP 9-7-1	0,998414	0,995911	0,997089	0,611653
11	MLP 9-12-1	0,998304	0,996316	0,996505	0,654069
49	MLP 9-15-1	0,998320	0,994836	0,997194	0,649624
92	MLP 9-15-1	0,998318	0,997632	0,997103	0,649081

Таблица 3. Параметры нейронных сетей (в программном продукте Statistica)

Index	Test error	Validation error	Training algorithm	Hidden activation	Output activation
4	1,41280	1,771179	BFGS 146	Exponential	Logistic
11	1,36026	2,073547	BFGS 150	Exponential	Tanh
49	1,75594	1,663531	BFGS 145	Exponential	Logistic
92	0,94084	2,326242	BFGS 94	Tanh	Exponential

Исходя из полученных результатов, построена диаграмма рассеяния полученных данных сетей. Выходные значения сети в целом расположены в пределах полученной последовательности, что говорит о совпадении расчетных величин с целевыми значениями (рис. 1).

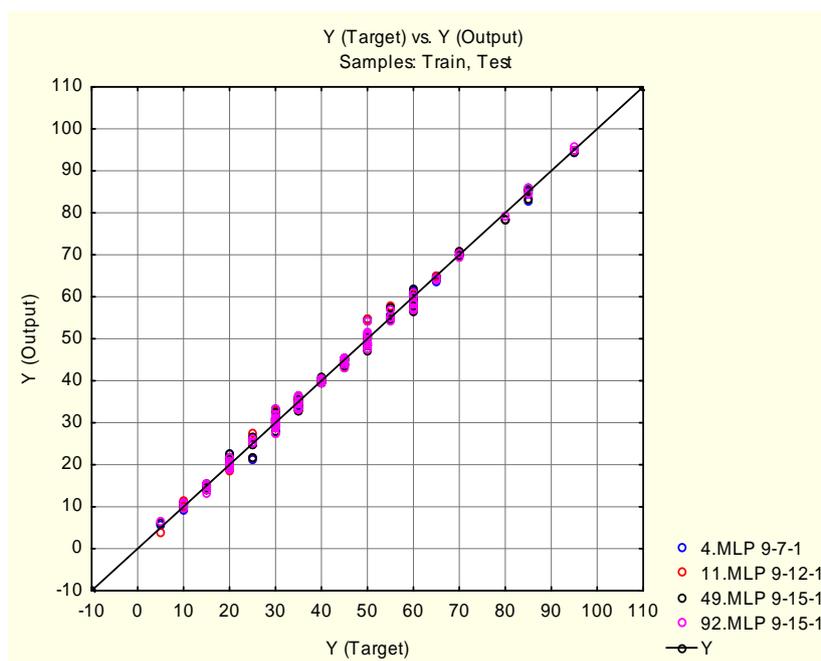


Рис. 1. Диаграмма рассеяния полученных данных сетей

При анализе чувствительности переменных выявлены величины, характеризующие важность переменных X1–X9 (табл. 4). К ним относятся:

- pH исходного раствора (X2);
- растворимость CaCO_3 (X4);
- осмотическая концентрация исходного раствора (X5);
- наличие фильтрата CaCO_3 (X6).

Необходимо отметить, что растворимость CaCO_3 (X4) неразрывно связана с pH фильтрата CaCO_3 (X7) и равновесной концентрацией ионов HCO_3^- в фильтрате (X8).

Наряду с указанными параметрами определенный вес в процессе формирования сети имеет время воздействия на систему ПЧМС (X1).

Таблица 4. Ранжирование переменных по значимости вклада

Index	Параметры нейронной сети	Вклад переменных X1–X9								
		X4	X2	X1	X6	X5	X8	X7	X3	X9
4	MLP 9-7-1	X4	X2	X1	X6	X5	X8	X7	X3	X9
		318,7801	197,4457	180,5700	89,01057	74,77716	66,54451	47,92466	29,55206	22,78711
11	MLP 9-12-1	X7	X6	X4	X5	X2	X1	X8	X9	X3
		2613,941	1414,386	458,3612	162,8183	98,24367	54,25301	43,98102	21,80488	8,986018
49	MLP 9-15-1	X4	X2	X8	X5	X7	X1	X6	X3	X9
		185,5635	61,34638	52,92494	47,20553	47,09051	33,08415	22,88861	20,84418	20,15902
92	MLP 9-15-1	X5	X6	X2	X4	X1	X7	X9	X8	X3
		142,1744	108,0205	70,01517	50,40833	49,03479	36,09580	23,56648	19,02638	3,455029

Полученные результаты визуализированы путем построения объемных многофакторных диаграмм, представленных на рис. 2–4.

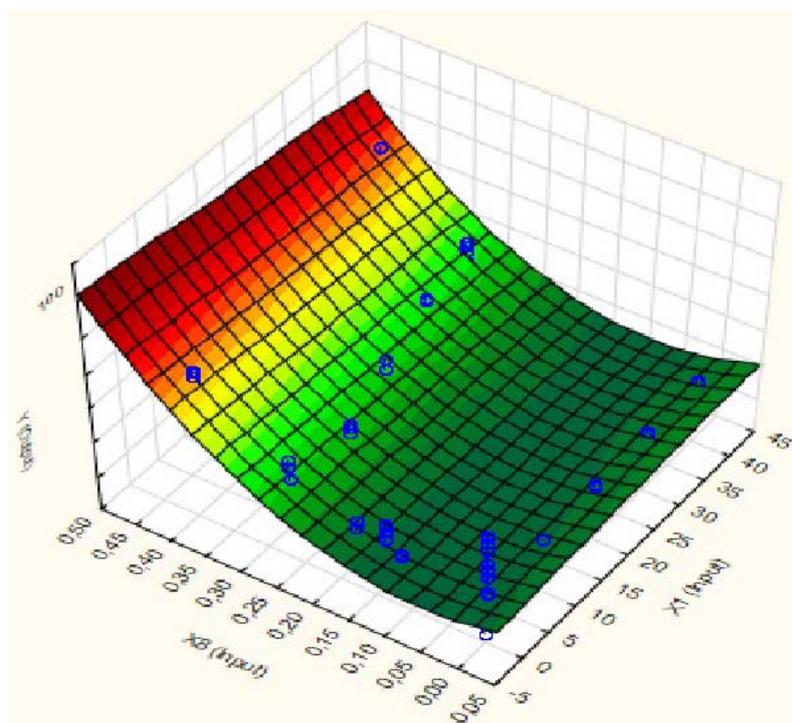


Рис. 2. Зависимость доли семян овса обыкновенного, давших корни, (Y) от переменных X1 и X8 в нейросетевой модели (4)

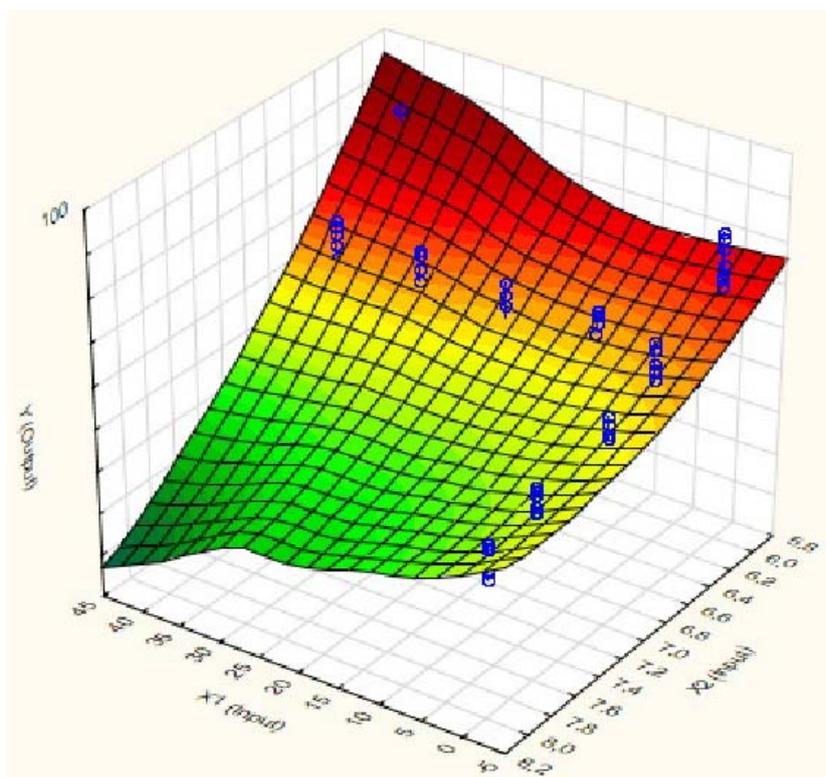


Рис. 3. Зависимость доли семян овса обыкновенного, давших корни, (Y) от переменных X1 и X2 в нейросетевой модели (4)

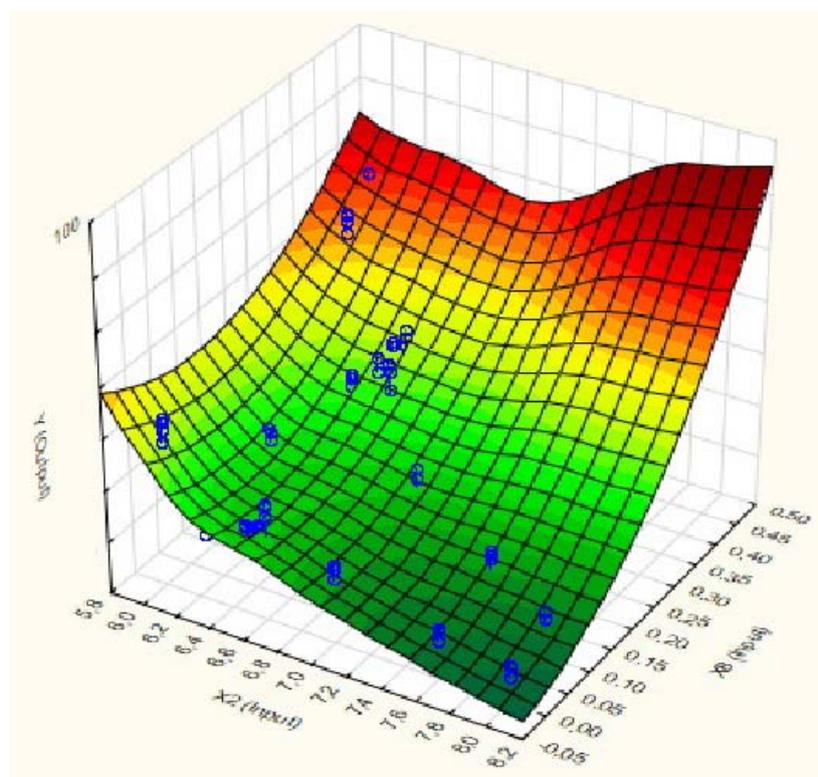


Рис. 4. Зависимость доли семян овса обыкновенного, давших корни, (Y) от переменных X2 и X8 в нейросетевой модели (4)

Семена имеют изначально одинаковые биологические возможности, поэтому необходимо создать определенные благоприятные внешние условия, обеспечивающие

использование необходимых ресурсов с максимальной эффективностью и способствующие раскрытию, проявлению генетически заложенных резервов, реализации внутреннего потенциала. Создание нейросетевой модели позволяет проанализировать чувствительность к различным переменным, установить связи между ними и визуализировать результаты.

С помощью вегетационных опытов было установлено, что изменение растворимости CaCO_3 коррелирует с реакцией живых растительных объектов: изменение внешних условий растворения минеральных соединений углерода сопровождается изменением в растворе концентрации гидрокарбонат ионов HCO_3^- , что вызывает сопряженное изменение доли семян, давших корни, при проращивании в данной среде.

Таким образом, для интенсификации питания растений нулевой макрофазы роста и развития необходимо проращивать семена в фильтрах труднорастворимых минеральных соединений углерода с обязательным проведением мероприятий, направленных на повышение их растворимости, в основе которых – комбинация эффективных методов химической и электрофизической природы.

Использование вычислительных инструментов нейронных сетей позволяет результативно выполнять задачи оптимизации реализации нулевой макрофазы роста и развития растений, что способствует решению ряда актуальных проблем в области обеспечения продовольственной безопасности в чрезвычайных ситуациях, в частности при разработке и организации модифицированных гидропонных тепличных хозяйств – современных, эффективных, мобильных, быстро возводимых технических комплексов модульного типа для своевременного и безотлагательного осуществления первоочередного жизнеобеспечения людей в экстремальных условиях.

Можно предположить, что дополнительное обеспечение доступным биологически значимым элементом – углеродом – будет и далее способствовать быстрому, активному росту и интенсивному развитию растений, а также реализации потенциальной активности процесса фотосинтеза, что имеет огромное практическое значение.

Литература

1. Интенсификация питания растений нулевой макрофазы роста и развития минеральными соединениями углерода химическим и электрофизическим методами / О.В. Швецова [и др.] // Известия С.-Петерб. гос. технол. ин-та (техн. ун-та). 2015. № 28 (54). С. 73–82.
2. Способ и устройство управления физико-химическими процессами в веществе и на границе раздела фаз: пат. 2479005 Рос. Федерация, МПК G 05 В 24/02, Н 03 В 28/00. / Ивахнюк Г.К., Матюхин В.Н., Клачков В.А., Шевченко А.О., Князев А.С., Иванов А.В., Родионов В.А.; заявители и патентообладатели Ивахнюк Г.К., Матюхин В.Н., Клачков В.А., Шевченко А.О. № 2011118347/08; заявл. 21.01.10; опубл. 10.04.13, Бюл. № 10. 3 с.
3. Боровиков В.П. Нейронные сети. *Statistica Neural Networks: Методология и технологии современного анализа данных*. 2-е изд., перераб. и доп. М.: Горячая линия – Телеком, 2008.
4. Кольцов Ю.В., Пермяков М.Н. Постановка задачи прогнозирования продуктивности агроэкосистем // Политематический сетевой электрон. науч. журн. Кубанского гос. аграр. ун-та. 2004. № 7 (05). URL: <http://ej.kubagro.ru/2004/05/10.htm> (дата обращения: 30.04.2015).
5. Барцев С.И., Барцева О.Д. Функционально-инвариантный подход к проблеме уникальности биологических систем: простая нейросетевая модель // ДАН. 2006. № 3. С. 394–397.
6. Заводчиков Н.Д., Спешилова Н.В., Таспаев С.С. Использование нейросетевых технологий в прогнозировании эффективности производства зерна // Известия Оренбургского гос. аграр. ун-та. 2015. № 1 (51). С. 216–219.

