

УДК 504.7
ГРНТИ 87.15.15

МОДЕЛИРОВАНИЕ ДИНАМИКИ УРОВНЯ ЗАГРЯЗНЕНИЯ ВОДНЫХ ОБЪЕКТОВ ГЛИНОЗЕМНЫМ ПРОИЗВОДСТВОМ

Пиляева Ольга Владимировна

к.т.н., доцент кафедры агроинженерии

Беляков Алексей Андреевич

к.т.н., доцент кафедры агроинженерии

ФГБОУ ВО Красноярский ГАУ Ачинский филиал

Россия, г. Ачинск

Аннотация: Мониторинг качества водных объектов является составной частью общего мониторинга безопасности, который представляет собой систему наблюдений и контроля, проводимых регулярно по определенной программе для оценки состояния сооружений, анализа происходящих в них процессов и своевременного выявления тенденций их изменения. В статье построена математическая модель динамики уровня загрязнения водных объектов, а в частности, реки Чулым.

Ключевые слова: моделирование, уровень загрязнения, водные объекты, регрессионный анализ, уровень детерминации.

MODELING OF POLLUTION LEVEL DYNAMICS WATER BODIES BY ALUMINA PRODUCTION

Pilyaeva Olga Vladimirovna

Ph.D., associate professor of the department of Agroengineering

Belyakov Alexey Andreevich

Ph.D., associate professor of the department of Agroengineering

Achinsk branch of the Krasnoyarsk State Agrarian University

Russia, the city of Achinsk

Abstract: Monitoring the quality of water bodies is an integral part of general safety monitoring, which is a system of observations and control carried out regularly according to a specific program to assess the state of structures, analyze the processes occurring in them and timely identify trends in their change. The article builds a mathematical model of the dynamics of the level of pollution of water bodies, and in particular, the Chulyum River.

Key words: modeling, pollution level, water bodies, regression analysis, determination level.

Загрязнение поверхностных вод связано прежде всего со сбросом загрязненных сточных вод в водные поверхностные объекты в результате ведения хозяйственной деятельности, поступлением в водные объекты загрязняющих веществ с талым и ливневым поверхностным стоком. Ачинский глиноземный комбинат ведет экологический мониторинг, систематически внедряет новые технологии очистки, исключая сброс загрязняющих веществ в водоемы. Используя результаты лабораторных анализов и данные из государственного доклада о состоянии и охране окружающей среды в Красноярском крае, нами были выбраны несколько показателей, по которым составлено моделирование динамики уровня загрязнения водных объектов.

Таблица 1 – Ранжирование и определение обобщённого факторного показателя, влияющего на уровни загрязнения реки основными идентифицируемыми веществами

Год	Na2Oob		pH		Al		Na2Osv		Обобщ.	
	мкг/г	ранг	мкг/г	ранг	мкг/г	ранг	мкг/г	ранг	сумма рангов	Усл. ед.
2016	95,8	6	8,4	4	0,3	2	4,3	5	17	6
2017	88,1	1	7,9	1	0,2	1	0,3	1	4	1
2018	89,2	3	8,1	3	0,7	4	0,8	4	14	4
2019	91,5	4	8	2	0,6	3	0,3	1	10	2
2020	97,6	5	8,1	3	0,7	4	0,5	3	15	5
2021	88,9	2	8	2	0,8	5	0,4	2	11	3

Модель динамики уровня загрязнения в период 2016–2021 гг. состоит из пяти расчётных схем, соответствующих четырём видам загрязняющих веществ: Na2Oob, pH, Al, Na2Osv и обобщённой схемы.

1. Схема определения уровня загрязнения (y , мкг) веществом Na2Oob в динамике по годам (x_1 , год) и в зависимости от величины обобщённого факторного показателя процесса (x_2 , усл. ед.) представляется следующей функцией регрессии (рис. 1):

$$y = b_0 + b_1(x_1 - 2015) + b_2(x_1 - 2015)^2 + b_3x_2 + b_4x_2^2,$$

где

$b_0 = 84.19666667$, $b_1 = 7.636666667$, $b_2 = -0.78625$, $b_3 = -9.238958333$, $b_4 = 1.660625$ — коэффициенты регрессии, найденные с использованием компьютерного пакета DataFit.

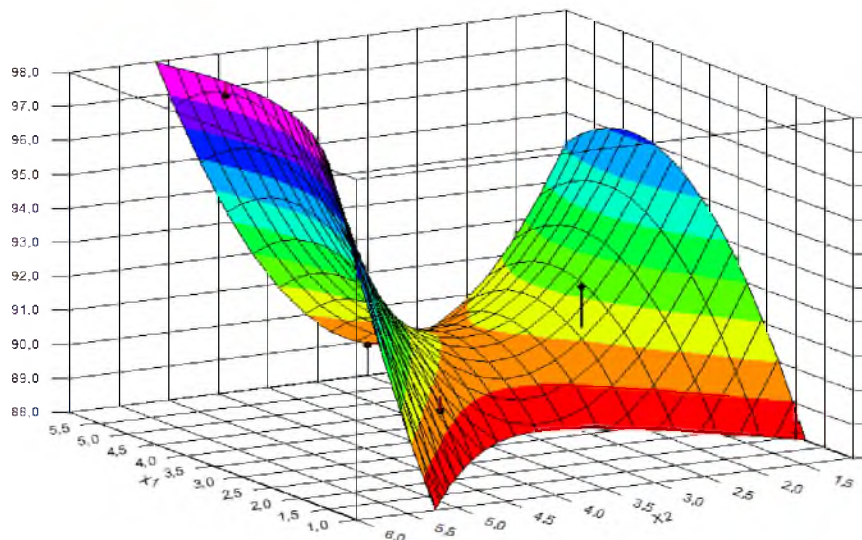


Рисунок 1 – Распределение загрязнения веществом Na2Oob в периоде 2016–2021 гг.

Методами регрессионного анализа, с использованием компьютерного пакета DataFit, установлено, что коэффициент детерминации (Coefficient of Multiple Determination) зависимости 97% > 95%, а относительная погрешность (% Error) приближения 1,28% < 5%.

2. Схема определения уровня pH в динамике по годам ($x_1, год.$) периода 2016–2021 гг. и в зависимости от величины обобщённого факторного показателя процесса ($x_2, усл. ед.$) представляется следующей функцией регрессии (рис. 2):

$$y = b_0 + b_1(x_1 - 2015) + b_2 x_2 + b_3 x_2^2 + b_4 x_2^3,$$

где $b_0 = 7.604444444$, $b_1 = -0.02888888889$, $b_2 = 0.472989418$, $b_3 = -0.1337301587$, а также $b_4 = 0.01296296296$ — коэффициенты регрессии.

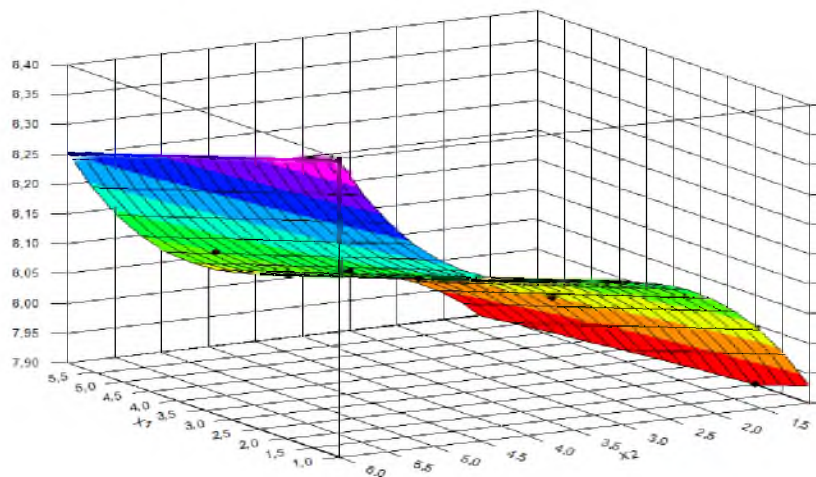


Рисунок 2 – Распределение pH в периоде 2016–2021 гг.

Коэффициент детерминации выявленной зависимости составляет $99,97\% > 95\%$, а относительная погрешность оценивается в $0,05\% < 5\%$,

3. Схема определения уровня загрязнения ($y, мкг$) веществом Al в динамике по годам ($x_1, год.$) периода 2016–2021 гг. и в зависимости от величины обобщённого факторного показателя процесса ($x_2, усл. ед.$) представляется следующей функцией регрессии (рис. 3):

$$y = b_0 + b_1 \ln(x_1 - 2015) + b_2 x_2 + b_3 x_2^2 + b_4 x_2^3,$$

где $b_0 = -0.3863320484$, $b_1 = 0.1597400001$, $b_2 = 0.5788968899$, $b_3 = -0.1085434114$, а также $b_4 = 0.00518738877$ — коэффициенты регрессии.

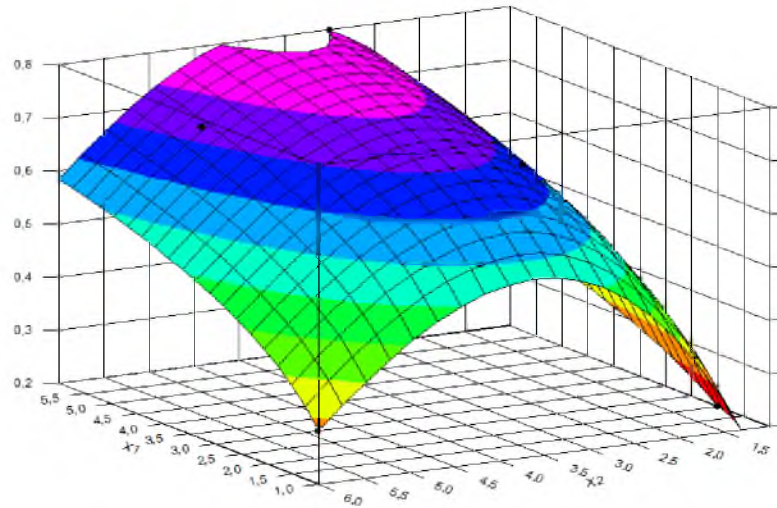


Рисунок 3 – Распределение загрязнения веществом Al в периоде 2016–2021 гг.

Коэффициент детерминации уравнения регрессии составляет 99,99%, а относительная погрешность оценивается в 0,04% (максимальная погрешность приходится на данные по 2017 г.)

4. Схема определения уровня загрязнения веществом Na2Osv (y , $\mu\text{кг}$) в динамике по годам (x_1 , год.) периода 2016–2021 гг. и в зависимости от величины обобщённого факторного показателя процесса (x_2 , усл.ед.) представляется следующей функцией регрессии (рис. 4):

$$y = b_0 + \frac{b_1}{x_1 - 2015} + \frac{b_2}{(x_1 - 2015)^2} + b_3 \ln x_2 + b_4 \ln^2 x_2,$$

где $b_0 = -0.7196739012$, $b_1 = 0.06394468855$, $b_2 = 3.944545109$, $b_3 = 1.441746021$, а также $b_4 = -0.4895990331$ — коэффициенты регрессии.

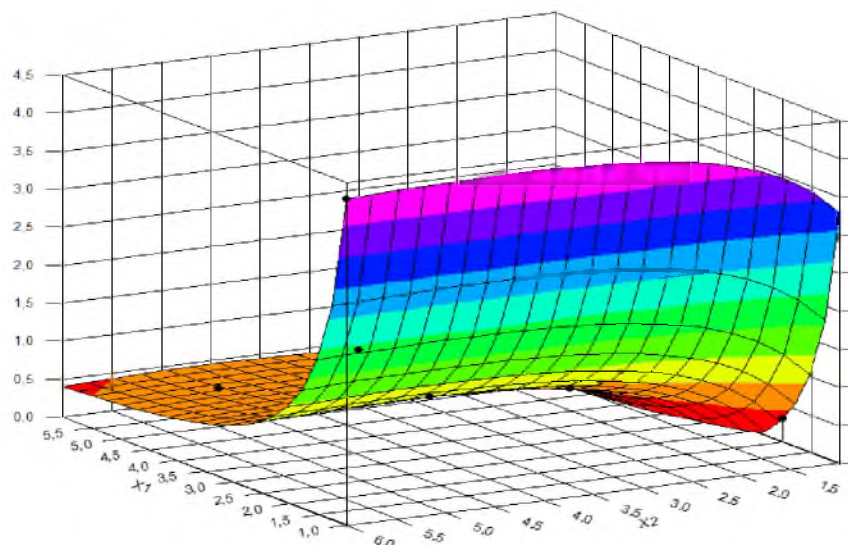


Рисунок 4 – Распределение загрязнения веществом Na2Osv в периоде 2016–2021 гг.

Коэффициент детерминации уравнения регрессии составляет 99,99%, а относительная погрешность оценивается в 0,62%.

5. Общая схема определения уровня загрязнения любым из четырёх указанных выше веществ в динамике по годам (x_1 , год.) периода 2016–2021 гг. и в зависимости от величины обобщённого факторного показателя процесса (x_2 , усл.ед.) представляется регрессионной функцией вида:

$$y = \frac{b_{-2}}{(x_1 - 2015)^2} + \frac{b_{-1}}{x_1 - 2015} + b_0 + b_1(x_1 - 2015) + b_2(x_1 - 2015)^2 + b_3 \ln(x_1 - 2015) + \\ + b_4 x_2 + b_5 x_2^2 + b_6 x_2^3 + b_7 \ln x_2 + b_8 \ln^2 x_2.$$

Выводы

В целом модель имеет высокий уровень детерминации, превышающий (по всем составляющим её схемам) 97% и низкую относительную погрешность, не превышающую 2%. Оказалось, что необходимые неравенства $97\% > 95\%$ и $2\% < 5\%$, связанные с пороговыми значениями, выполнены.

Следовательно, модель в целом и составляющие её расчётные схемы может быть использована в прогнозных целях. Если сложившиеся в период 2016–2021 гг. тенденции процесса распространения загрязняющих веществ не изменятся, то модель будет работать с погрешностью 2%. Дополнительно проверены значимости коэффициентов и адекватности всех четырёх уравнений регрессии, соответственно, по критериям (статистическим тестам) Стьюдента и Пирсона, с использованием пакета Statistics системы компьютерной математики Maple.

Список литературы:

1. Государственный доклад о состоянии и охране окружающей среды в Красноярском крае в 2020 году [Электронный ресурс]. URL: http://www.mpr.krskstate.ru/dat/bin/art_attach/17690_gosdoklad_2020.pdf (дата обращения 06.06.2022).
2. Кобзарь А.И. Прикладная математическая статистика для инженеров и научных работников / А.И. Кобзарь. – М.: Физматлит, 2012. – 816 с.
3. Сорокин О.Д. Прикладная статистика на компьютере / О.Д. Сорокин. – Новосибирск, 2004. – 162 с.

