Оригинальная статья
https://doi.org/10.26897/1997-6011-2025-3-77-84
УДК 556.54:004.42

РАЗРАБОТКА ПРОГРАММЫ ДЛЯ АНАЛИЗА, ОЦЕНКИ И ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ЭВТРОФИКАЦИИ ВОДОЕМОВ НА ЯЗЫКЕ ПРОГРАММИРОВАНИЯ PYTHON

А.В. Евграфов[1]✉, Д.А. Москвичев[1], М.В. Климахина[2]

[1] ФГБОУ ВО «Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева»; Институт механики и энергетики имени В.П. Горячкина; 127434, г. Москва, Тимирязевская ул., 49, Россия

[2] ФГБОУ ВО «Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева»; Технологический колледж; 127434, г. Москва, Тимирязевская ул., 49, Россия

Аннотация. В статье рассматривается разработка программного обеспечения для анализа, оценки и прогнозирования эвтрофикации водоемов с использованием языка программирования Python. Эвтрофикация – это процесс, характеризующийся избыточным накоплением питательных веществ в водоемах, что приводит к ухудшению качества воды и негативным последствиям для экосистемы. Разработано программное обеспечение для персонального компьютера, которое использует методы машинного обучения и статистического анализа для обработки данных о химическом составе воды: содержание в ней минеральных веществ, водородные показатели pH и температура, которая влияет на эвтрофикацию водных объектов. Программа состоит из модулей сбора данных и предварительной обработки, которые основаны на эмпирических моделях, позволяющих составить сценарий развития ситуации. Основное внимание уделяется разработке интуитивно понятного интерфейса, который позволяет пользователям без глубоких знаний в программировании взаимодействовать с инструментом. Представлены результаты тестирования программы на данных, полученных по результатам наблюдения и отбора проб за 2023-2024 гг. из Нижнего фермского пруда. Сравнение результатов, оценка точности прогнозирования с помощью программы с полученными экспериментальными данными за два года исследований показывают эффективность разработанного программного обеспечения. Расхождение между расчетными и экспериментальными данными составило не более 5%, что говорит о возможности использования данного инструмента для прогнозных расчетов и составления сценария развития экологической обстановки, применения превентивных мер для предотвращения или минимизации цветения водных объектов. Таким образом, программное обеспечение – полезный инструмент для экологов, исследователей и органов управления водными ресурсами, способствующий более эффективному управлению водоемами и сохранению их экосистем.

Ключевые слова: разработка программного обеспечения, оценка, прогнозирование, качество воды, эвтрофикации водоемов, программирование

Формат цитирования: Евграфов А.В., Москвичев Д.А., Климахина М.В. Разработка программы для анализа, оценки и прогнозирования эвтрофикации водоемов на языке программирования Python // Природообустройство. 2025. № 3. С. 77-84. https://doi.org/10.26897/1997-6011-2025-3-77-84

Original article

DEVELOPMENT OF A PROGRAM FOR THE ANALYSIS, ASSESSMENT AND FORECASTING OF EUTROPHICATION OF WATER BODIES IN THE PYTHON PROGRAMMING LANGUAGE

A.V. Evgrafov[1]✉, D.A. Moskvichev[1], M.V. Klimakhina[2]

[1] Timiryazev Russian Agrarian University– Goryachkin Institute of Mechanics and Power Engineering; 49 Timiryazevskaya St., Moscow, 127434, Russia

[2] Timiryazev Russian Agrarian University – Moscow Agricultural Academy; College of Technology, 49 Timiryazevskaya St., Moscow, 127434, Russia

Abstract. This article discusses the development of software for the analysis, assessment and forecasting of water bodies eutrophication using the Python programming language. Eutrophication is a process characterized by excessive accumulation of nutrients in water bodies, which leads to deterioration in water quality and negative consequences for the ecosystem. As part of the work, software for a personal computer was developed that uses machine learning and statistical analysis methods to process data on the chemical composition of water: the content of minerals, hydrogen pH and temperature, which affects

© Евграфов А.В., Москвичев Д.А., Климахина М.В., 2025

the eutrophication of water bodies. The program consists of data collection and pre-processing modules, which are based on empirical models that allow you to create a scenario for the development of the situation. The main focus is on the development of an intuitive interface that allows users without deep knowledge of programming to interact with the tool. The article also presents the results of testing the program on the data obtained from observations and sampling for 2023-2024 from the lower farm pond. Comparison of the results, assessment of the forecasting accuracy using the program with the experimental data obtained over two years of research show the effectiveness of the developed software. The discrepancy between the calculated and experimental data was no more than 5%, which indicates the possibility of using this tool for predictive calculations and drawing up a scenario for the development of the environmental situation, the use of preventive measures to prevent or minimize the bloom of water bodies. Thus, the software is a useful tool for ecologists, researchers and water resources management authorities, contributes to more efficient management of water bodies and the preservation of their ecosystems.

Keywords: software development, assessment, forecasting, water quality, eutrophication of water bodies, programming

Format of citation: Evgrafov A.V., Moskvichev D.A., M.V. Klimakhina. Development of a program for the analysis, assessment and forecasting of eutrophication of water bodies in the Python programming language // Prirodoobustrojstvo. 2025. № 3. P. 77-84. https://doi.org/10.26897/1997-6011-2025-3-77-84

Введение. Современные экосистемы водоемов сталкиваются с серьезными вызовами, связанными с эвтрофикацией – процессом, который приводит к ухудшению качества воды и негативным последствиям для биологического разнообразия [1]. Основная угроза эвтрофикации заключается в том, что это явление труднообратимо. Оно изменяет тип круговорота веществ с пастбищного на детритный, что в свою очередь упрощает биотическую структуру экосистемы и уменьшает количество видов водных организмов. В отличие от естественного антропогенное эвтрофирование происходит быстрее ввиду увеличения массы веществ, участвующих в биохимических процессах, и нарастающей нагрузки биогенными веществами. Также стоит отметить, что некоторые виды водорослей, способствующие эвтрофикации водоемов, могут быть ядовитыми для флоры и фауны [2]. Цветение водоемов представляет опасность как для животных, так и для человека. Если водоросли попадают в организм, они выделяют нейротоксины и гепатотоксины, которые могут привести к серьезному отравлению. Примером воздействия токсинов из водорослей на человека служит отравление моллюсками [3]. Биотоксины, образующиеся во время цветения водорослей, накапливаются в моллюсках (мидиях, устрицах), что делает эти продукты небезопасными для людей. Случаи паралитического, нейротоксического и диарейного отравления моллюсками также имеют место. Другие морские организмы могут быть переносчиками таких токсинов.

В условиях растущего антропогенного давления и изменения климата необходимость в эффективных инструментах для анализа и прогнозирования этого явления становится все более актуальной. В данной статье представлена разработка программного обеспечения на языке Python, которое направлено на решение этой проблемы [4]. Программа сочетает в себе передовые методы машинного обучения и статистического анализа, что позволяет не только обрабатывать данные о качестве воды, но и строить точные прогнозы на основе собранной информации. Мы акцентируем внимание на создании удобного интерфейса, который делает инструмент доступным для пользователей с различным уровнем подготовки.

В ходе работы проведено тестирование программы на реальных данных, что позволило оценить ее эффективность и точность прогнозов. Результаты показывают, что разработанное решение может стать важным шагом к более устойчивому управлению водными ресурсами и сохранению экосистем, открывая новые горизонты для дальнейших исследований в этой области.

Материалы и методы исследований. Эвтрофикация водоемов представляет собой серьезную экологическую проблему, вызванную избыточным накоплением питательных веществ – таких, как азот и фосфор [5]. Этот процесс приводит к ухудшению качества воды, цветению водорослей и снижению уровня кислорода, что негативно сказывается на состоянии водной флоры и фауны. Для анализа и мониторинга эвтрофикации разработаны различные методы, которые помогают оценить состояние водоемов и прогнозировать возможные изменения.

Одним из наиболее распространенных методов является использование статистического анализа, который позволяет выявить зависимости между уровнями питательных веществ и состоянием экосистемы [6]. Этот подход включает в себя сбор данных о качестве воды – таких, как

концентрация нитратов, фосфатов, температура и pH. На основе этих данных можно строить модели, которые помогают прогнозировать развитие эвтрофикации.

Машинное обучение также находит широкое применение при анализе эвтрофикации. Алгоритмы – такие, как регрессионные модели и деревья решений, позволяют обрабатывать большие объемы данных и выявлять сложные паттерны, которые могут быть неочевидными при традиционном анализе. Эти методы могут использоваться для создания предсказательных моделей, которые помогают в управлении водными ресурсами.

Кроме того, современные технологии дистанционного зондирования предоставляют возможность мониторинга состояния водоемов в реальном времени. С помощью спутниковых снимков и других сенсоров можно отслеживать изменения в экосистемах и оперативно реагировать на потенциальные угрозы.

Таким образом, интеграция различных методов анализа, включая статистику, машинное обучение и дистанционное зондирование, создает мощные инструменты для оценки и прогнозирования эвтрофикации. Эти подходы способствуют более эффективному управлению водными ресурсами и сохранению экосистем, что особенно важно в условиях глобальных изменений климата и антропогенного воздействия.

Для разработки программы необходимо собрать данные о водоемах. Это могут быть данные из открытых источников – таких, как государственные экологические службы, а также данные, полученные в результате полевых исследований [8]. Данные должны быть очищены и подготовлены для анализа, что включает в себя обработку пропусков, нормализацию и преобразование переменных.

Программа разрабатывается с использованием библиотек Python – таких, как Pandas для обработки данных, Matplotlib и Seaborn для визуализации, а также Scikit-learn для применения методов машинного обучения [7]. Основные этапы разработки включают в себя:

– импорт необходимых библиотек;

– загрузку и предварительную обработку данных;

– анализ данных с использованием статистических методов;

– построение моделей для прогнозирования эвтрофикации;

– визуализацию результатов.

Эмпирическая модель программы для анализа, оценки и прогнозирования эвтрофикации водоемов представлена в виде блок-схемы на рисунке 1.

Таким образом алгоритм работы включает в себя:

– сбор данных – сбор экспериментальных данных по параметрам воды (температура, pH, концентрация нитратов, фосфатов, ХПК, прозрачность, биомасса фитопланктона) за определенный период;

– предобработку данных – очистку данных (удаление пропусков, аномалий), нормализацию данных (если необходимо);

– анализ данных – вычисление статистических показателей (средние, медианы, стандартные отклонения), построение графиков для визуализации изменений параметров;

– оценку состояния водоема – определение уровня эвтрофикации на основе собранных данных (например, по критериям, установленным в научной литературе), классификацию состояния водоема (например, от «чистого» до «сильно загрязненного»);

– прогнозирование – использование методов машинного обучения (например, регрессию, деревья решений) для прогнозирования будущих изменений параметров, обучение модели на исторических данных;

– вывод результатов – отображение результатов анализа и прогнозов, генерацию отчетов.

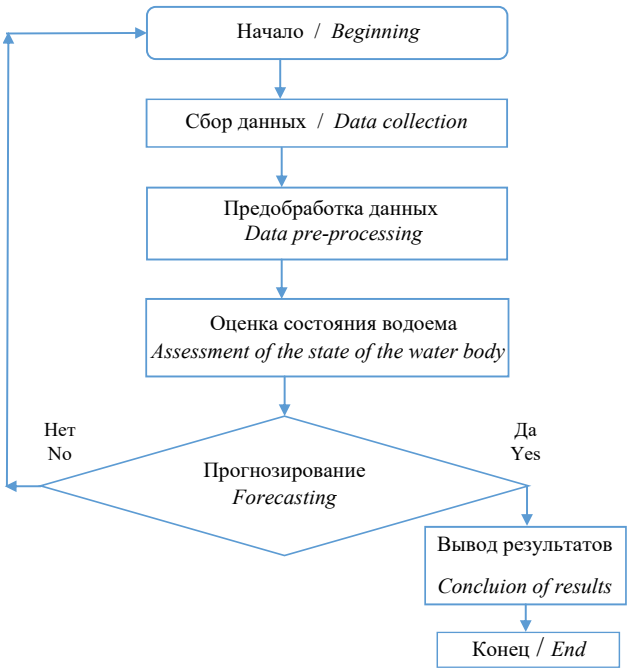

Рис. 1. **Блок-схема программы для анализа, оценки и прогнозирования эвтрофикации водоемов**

Fig. 1. **Flowchart of the program for epy analysis, assessment and prediction of eutrophication of water bodies**

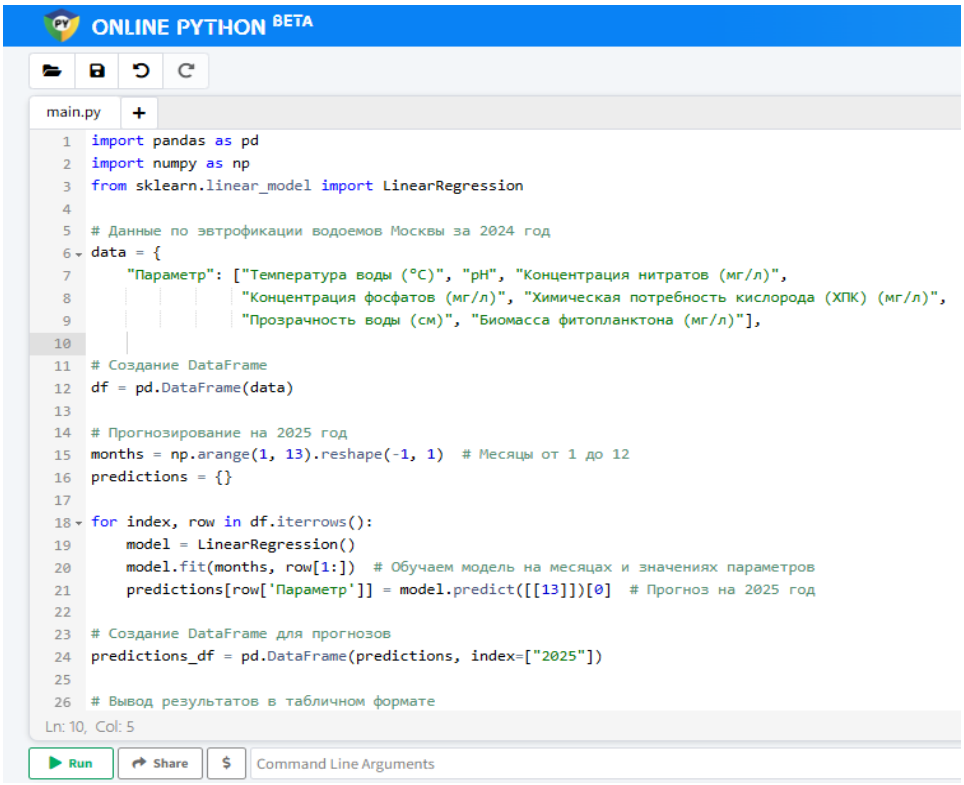

Рис. 2. **Фрагмент программы ЭВМ для анализа, оценки и прогнозирования эвтрофикации водоемов**

Fig. 2. **Fragment of a computer program for the analysis, assessment and forecasting of eutrophication of water bodies**

Для оценки эффективности разработанных моделей используются метрики – такие, как средняя абсолютная ошибка (MAE) и коэффициент детерминации -R^2. Это позволяет определить, насколько точно модель прогнозирует уровень эвтрофикации [8, 9].

На основе обученной модели можно прогнозировать изменения уровня эвтрофикации в будущем. Это позволяет принимать меры по предотвращению негативных последствий и улучшению состояния водоемов [10, 11].

На рисунке 2 представлен разработанный фрагмент программы для анализа, оценки и прогнозирования эвтрофикации водоемов.

В качестве экспериментальных данных были выбраны фермские пруды (рис. 3), расположенные в Тимирязевском районе г. Москвы, а именно Нижний фермский пруд.

Климатические данные были получены от метеостанции «Балчуг» г. Москвы. Данные по составу воды в фермских прудах определены на основании проб воды, которые отбирались еженедельно (в таблице 1 приведены средние значения за месяц).

Полученные данные по составу воды в пробах (эвтрофикации) за 2023-2024 год представлены в таблице 1.

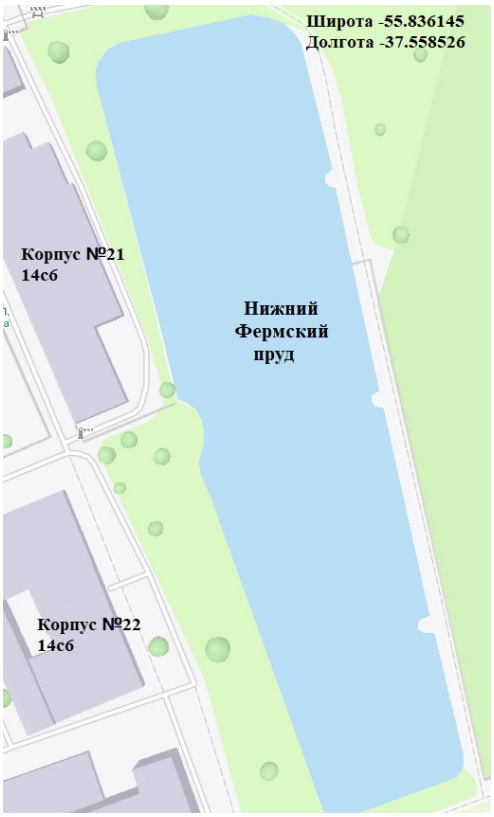

Рис. 3. **Фрагмент карты места нахождения Нижнего фермского пруда, г. Москва**

Fig. 3. **Fragment of the map of the location of the "Lower Farm pond" in Moscow**

Таблица 1. **Экспериментальные данные по эвтрофикации за 2023-2024 год**
Table 1. **Experimental data on eutrophication for 2023-2024**

Параметр/Месяц *Parameter / Month*	**Январь** *January*	**Февраль** *February*	**Март** *March*	**Апрель** *April*	**Май** *May*	**Июнь** *June*	**Июль** *July*	**Август** *August*	**Сентябрь** *September*	**Октябрь** *October*	**Ноябрь** *November*	**Декабрь** *December*
2023												
Температура воды (°C) *Water temperature (°C)*	3.0	2.0	6.0	11.0	16.0	21.0	**23.0**	20.0	17.0	9.0	4.0	2.0
pH	7.1	7.0	7.2	7.5	7.7	7.9	**8.1**	8.0	7.6	7.3	7.2	7.1
Концентрация нитратов (мг/л) *Concentration of nitrates (mg / l)*	4.0	4.5	5.5	7.0	14.0	19.0	**24.0**	21.0	17.0	11.0	7.0	5.0
Концентрация фосфатов (мг/л) *Concentration of phosphates (mg / l)*	0.2	0.2	0.3	0.4	0.6	1.1	**1.6**	1.4	1.0	0.5	0.3	0.2
Химическая потребность кислорода (ХПК) (мг/л) *Chemical oxygen demand (COD) (mg / l)*	11.0	10.0	13.0	16.0	26.0	31.0	**36.0**	34.0	29.0	21.0	16.0	13.0
Прозрачность воды (см) *Water transparency (cm)*	48	52	43	38	28	22	**14**	17	26	34	44	49
Биомасса фитопланктона (мг/л) *Phytoplankton biomass (mg / l)*	12	14	17	22	48	95	**125**	115	75	38	18	14
2024												
Температура воды (°C) *Water temperature (°C)*	2.5	1.8	5.0	10.0	15.0	20.0	**22.5**	21.0	16.0	10.0	5.0	3.0
pH	7.0	6.9	7.1	7.4	7.6	7.8	**8.0**	7.9	7.5	7.2	7.1	7.0
Концентрация нитратов (мг/л) *Concentration of nitrates (mg / l)*	5.0	5.5	6.0	8.0	15.0	20.0	**25.0**	22.0	18.0	12.0	8.0	6.0
Концентрация фосфатов (мг/л) *Concentration of phosphates (mg / l)*	0.1	0.1	0.2	0.3	0.5	1.0	**1.5**	1.3	0.9	0.4	0.2	0.1
Химическая потребность кислорода (ХПК) (мг/л) *Chemical oxygen demand (COD) (mg / l)*	10.0	9.5	12.0	15.0	25.0	30.0	**35.0**	33.0	28.0	20.0	15.0	12.0
Прозрачность воды (см) *Water transparency (cm)*	50	55	45	40	30	20	**15**	18	25	35	45	50
Биомасса фитопланктона (мг/л) *Phytoplankton biomass (mg / l)*	10	12	15	20	50	100	**120**	110	80	40	20	15

Температура воды, °C, показывает изменение температуры в течение года. pH – уровень кислотности или щелочности воды, важный для оценки здоровья экосистемы. Концентрация нитратов и фосфатов – это питательные вещества, способствующие эвтрофикации и измеряющиеся как мг на 1 л (мг/л). Химическая потребность кислорода (ХПК) – параметр, который показывает количество кислорода, необходимое для разложения органических веществ. Прозрачность воды измеряется в сантиметрах и указывает на чистоту воды. Биомасса фитопланктона, мг/л, показывает уровень фитопланктона, который может увеличиваться ввиду эвтрофикации.

По данным таблицы 1, качество воды резко ухудшалось в мае как в 2023 г., так и в 2024 г., – начиналось цветение водоема.

Для проверки корректности работы программы в Phyton были проведены расчеты за 2023-2024 гг. (табл. 2). Сравнение экспериментальных и модельных данных показало, что максимальное расхождение между данными, полученными экспериментальным и расчетным путем, составили не более 10%. Это делает возможным применение данного программного комплекса для прогнозных расчетов.

Эти данные могут быть использованы для анализа тенденций эвтрофикации в фермских прудах г. Москвы, а также для разработки стратегий по управлению водными ресурсами.

При использовании программы в Phyton спрогнозированы значения эвтрофикации на 2025 г. (табл. 3).

Таблица 2. **Расчетные данные по эвтрофикации за 2023-2024 год, полученные при использовании программы в Phyton**

Table 2. **Estimated eutrophication data for 2023-2024 obtained when using the program in Phyton**

Параметр/Месяц *Parameter / Month*	**Январь** *January*	**Февраль** *February*	**Март** *March*	**Апрель** *April*	**Май** *May*	**Июнь** *June*	**Июль** *July*	**Август** *August*	**Сентябрь** *September*	**Октябрь** *October*	**Ноябрь** *November*	**Декабрь** *December*
2023												
Температура воды (°С) / *Water temperature* (*°C*)	2,7	2,2	5.8	11.8	17.0	20.0	25.0	19.4	18.0	11.7	3.7	2.3
pH	7.2	6.7	7.0	7.2	7.4	8.4	8.2	8.0	7.7	7.0	7.4	6.8
Концентрация нитратов (мг/л) *Concentration of nitrates* (*mg / l*)	3.6	4.4	5.5	7.4	15.0	18.4	24.0	23.0	18.1	11.0	7.5	5.4
Концентрация фосфатов (мг/л) *Concentration of phosphates* (*mg / l*)	0.2	0.2	0.2	0.4	0.6	1.1	1.6	1.4	1.0	0.5	0.3	0.2
Химическая потребность кислорода (ХПК) (мг/л) *Chemical oxygen demand* (*COD*) (*mg / l*)	10.0	10.0	14.0	15.0	24.0	33.0	34.0	31.0	31.0	23.0	14.0	14.2
Прозрачность воды (см) *Water transparency* (*cm*)	50	54	44	37	26	23	15	18	28	34	47	53
Биомасса фитопланктона (мг/л) *Phytoplankton biomass* (*mg / l*)	11	15	15	23	45	97	111	121	81	35	16	15
2024												
Температура воды (°С) / *Water temperature* (*°C*)	2.3	1.6	4.7	11.0	17.0	19.0	23.5	23.0	15.4	9.8	5.0	2.7
pH	7.3	7.0	7.3	7.4	7.8	7.5	8.0	7.8	7.4	7.0	6.9	7.0
Концентрация нитратов (мг/л) *Concentration of nitrates* (*mg / l*)	5.0	5.0	6.4	8.3	15.0	21.5	27.4	21.0	18.5	11.7	8.7	6.4
Концентрация фосфатов (мг/л) *Concentration of phosphates* (*mg / l*)	0.1	0.1	0.2	0.3	0.5	1.0	1.5	1.3	0.9	0.4	0.2	0.1
Химическая потребность кислорода (ХПК) (мг/л) *Chemical oxygen demand* (*COD*) (*mg / l*)	11.0	8.5	11.3	16.1	23.3	33.0	36.0	30.0	29.4	20.0	14.0	11.9
Прозрачность воды (см) *Water transparency* (*°C*)	45	57	43	44	33	22	15	17	23	33	47	48
Биомасса фитопланктона (мг/л) *Phytoplankton biomass* (*mg / l*)	10	11	16	19	48	104	118	110	85	43	21	14

Таблица 3. **Полученные данные по эвтрофикации с использованием Phyton на 2025 год**

Table 3. **Obtained data on eutrophication using Phyton for 2025**

Параметр/Месяц *Parameter / Month*	**Январь** *January*	**Февраль** *February*	**Март** *March*	**Апрель** *April*	**Май** *May*	**Июнь** *June*	**Июль** *July*	**Август** *August*	**Сентябрь** *September*	**Октябрь** *October*	**Ноябрь** *November*	**Декабрь** *December*
Температура воды (°С) / *Water temperature* (*°C*)	2.5	1.8	5.0	10.0	15.0	20.0	22.5	21.0	16.0	10.0	5.0	3.0
pH	7.1	6.8	7.2	7.5	7.7	7.9	8.1	8.0	7.6	7.3	7.2	7.1
Концентрация нитратов (мг/л) *Concentration of nitrates* (*mg / l*)	5.2	5.7	6.3	8.5	16.0	21.0	26.0	23.0	19.0	12.5	8.5	6.2
Концентрация фосфатов (мг/л) *Concentration of phosphates* (*mg / l*)	0.1	0.1	0.2	0.4	0.6	1.1	1.6	1.4	1.0	0.5	0.3	0.1
Химическая потребность кислорода (ХПК) (мг/л) *Chemical oxygen demand* (*COD*) (*mg / l*)	10.5	9.8	12.5	16.0	26.0	31.0	36.0	34.0	29.0	21.0	15.5	12.5
Прозрачность воды (см) *Water transparency* (*cm*)	49	54	44	39	29	19	14	17	24	34	46	49
Биомасса фитопланктона (мг/л) *Phytoplankton biomass* (*mg / l*)	11	13	16	21	52	105	125	115	82	42	21	16

Прогнозируемое повышение температуры воды, концентрации нитратов и фосфатов, а также биомассы фитопланктона указывает на возможное ухудшение состояния водоемов, что может привести к более выраженной эвтрофикации. Увеличение химической потребности кислорода и снижение прозрачности воды также подтверждают эту тенденцию.

Управление водными ресурсами и контроль за качеством воды становятся критически важными для предотвращения дальнейшей деградации экосистемы водоемов г. Москвы. Рекомендуется осуществлять регулярный мониторинг и внедрять меры по улучшению состояния водоемов.

Выводы

Разработка программы для анализа, оценки и прогнозирования эвтрофикации водоемов на языке Python является важным шагом в решении экологических проблем. Использование современных методов обработки данных и машинного обучения позволяет эффективно анализировать состояние водоемов и прогнозировать изменения, что способствует более рациональному управлению водными ресурсами. В дальнейшем планируется расширение функционала программы включая интеграцию с геоинформационными системами и разработку пользовательского интерфейса.

Список использованных источников

1. Дидманидзе О.Н. Экспериментальные исследования влияния освещения на эвтрофикацию водоемов и работу систем капельного орошения / О.Н. Дидманидзе, А.В. Евграфов, Д.А. Москвичев [и др.] // Природообустройство. 2024. № 3. С. 6-12. DOI: 10.26897/1997-6011-2024-3-6-12. EDN: OGHRMF

2. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2024683359 Российская Федерация. «Техническое обслуживание и ремонт автомобилей»: № 2024682911: заявл. 02.10.2024: опубл. 14.10.2024 / Д.А. Москвичев, А.С. Гузалов, А.В. Евграфов, Д.А. Филимонов; заявитель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева». EDN: AKVBAS

3. Зиновьева А.Е. Влияние активной реакции воды (pH) на распределение водных и прибрежно-водных растений в водоемах юга Обь-Иртышского междуречья / А.Е. Зиновьева, Д.А. Дурникин // Известия Алтайского государственного университета. 2012. № 3-2 (75). С. 21-24. EDN: PMDMCF

4. ГОСТ 31865-2012. Вода. Единица жесткости. М.: Стандартинформ, 2019.

5. Ивчатов А.Л. Химия воды и микробиология: Учебник / А.Л. Ивчатов, В.И. Малов. М.: ИНФРА-М, 2011. 216 с. EDN: QKTQGH

6. Беспалова К.В. Питьевое водоснабжение в условиях массового развития сине-зеленых водорослей на водохранилищах / К.В. Беспалова, А.В. Селезнева, В.А. Селезнев // Водное хозяйство России: проблемы, технологии, управление. 2021. № 2. С. 121-134. DOI: 10.35567/1999-4508-2021-2-9. EDN: KSKHDN

7. Москвичев Д.А. Особенности разработки компьютерной программы для систем управления тракторами сельскохозяйственного назначения на основе искусственного интеллекта / Д.А. Москвичев, Р.Т. Хакимов // АгроЭкоИнженерия. 2024. № 4(121). С. 29-37. DOI: 10.24412/2713-2641-2024-4121-29-37. EDN: OAPAPS

8. Москвичев Д.А. Применение интеллектуальных и роботизированных систем в сельском хозяйстве / Д.А. Москвичев // Международная научная конференция молодых учёных и специалистов, посвящённая 180-летию со дня рождения К.А. Тимирязева: Сборник статей, Москва, 05-07 июня 2023 года. М.: РГАУ-МСХА им. К.А. Тимирязева, 2023. С. 554-557. EDN: ZITRIM

References

1. Didmanidze O.N.. Experimental studies of the influence of lighting on the eutrophication of reservoirs and the operation of drip irrigation systems / O.N. Didmanidze, A.V. Evgrafov, D.A. Moskvichev [et al.] / /Prirodoobustrojstvo. 2024. No. 3. P. 6-12. DOI: 10.26897/1997-6011-2024-3-6-12. EDN: OGHRMF

2. Certificate of state registration of the computer program No. 2024683359 Russian Federation. "Car maintenance and repair": No. 2024682911: application 02.10.2024: published 14.10.2024 / D.A. Moskvichev, A.S. Guzalov, A.V. Evgrafov, D.A. Filimonov; applicant Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education "Russian State Agrarian University – Moscow Agricultural Academy named after C.A. Timiryazev". EDN: AKVBAS

3. Zinovieva A.E. The influence of the active reaction of water (pH) on the distribution of aquatic and coastal aquatic plants in reservoirs in the south of the Ob-Irtysh interfluve / A.E. Zinovieva, D.A. Durnikin // Proceedings of the Altai State University. 2012. No. 3-2 (75). P. 21-24. EDN: PMDMCF

4. GOST 31865-2012. Water. Unit of hardness. Moscow: Standartinform, 2019.

5. Ivchatov A.L. Water chemistry and microbiology: textbook / A.L. Ivchatov, V.I. Malov. Moscow: INFRA-M, 2011. 216 p. EDN: QKTQGH

6. Bespalova K.V. Drinking water supply in conditions of mass development of blue-green algae in reservoirs / K.V. Bespalova, A.V. Selezneva, V.A. Seleznev // Russian water industry: problems, technologies, management. 2021. No. 2. pp. 121-134. DOI: 10.35567/1999-4508-2021-2-9. EDN: KSKHDN

7. Moskvichev D.A. Features of the development of a computer program for agricultural tractor control systems based on artificial intelligence / D.A. Moskvichev, R.T. Khakimov // Agroecoengineering. 2024. No. 4(121). P. 29-37. DOI: 10.24412/2713-2641-2024-4121-29-37. EDN: OAPAPS

8. Moskvichev D.A. Application of intelligent and robotic systems in agriculture / D.A. Moskvichev // International scientific conference of young scientists and specialists dedicated to the 180th anniversary of the birth of K.A. Timiryazev: Collection of articles, Moscow, 05-07 June 2023. Moscow: RGAU-MSHA named after C.A. Timiryazev, 2023. P. 554-557. EDN: ZITRIM

9. Moskvichev D.A. Improving the monitoring system of agricultural machinery / D.A. Moskvichev // Proceedings of the International Scientific Conference of young scientists

9. Москвичев Д.А. Совершенствование системы мониторинга сельскохозяйственной техники / Д.А. Москвичев // Материалы Международной научной конференции молодых учёных и специалистов, посвящённой 150-летию со дня рождения А.Я. Миловича: Сборник статей, Москва, 03-05 июня 2024 года. М.: РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева, 2024. С. 535-539. EDN: PZSLBK

10. Eremina T. Analysis of decadal dynamics of eutrophication parameters in the Eastern part of the Gulf of Finland / T. Eremina, A. Ershova, E. Lange // 8th Baltic Sea Science Congress: Book of abstracts, St. Petersburg, 22-26 августа 2011 года. St. Petersburg: Russian State Hydrometeorological University, 2011. P. 219. EDN: IXKJIS

and specialists dedicated to the 150th anniversary of the birth of A.Ya. Milovich: Collection of articles, Moscow, June 03-05, 2024. Moscow: RGAU-MSHA named after K.A. Timiryazev, 2024. P. 535-539. EDN: PZSLBK

10. Eremina T. Analysis of decadal dynamics of eutrophication parameters in the Eastern part of the Gulf of Finland / T. Eremina, A. Ershova, E. Lange // 8th Baltic Sea Science Congress: Book of abstracts, St. Petersburg, 22-26 августа 2011 года. St. Petersburg: Russian State Hydrometeorological University, 2011. P. 219. EDN: IXKJIS

Об авторах

Алексей Владимирович Евграфов, д-р техн. наук, доцент; ORSID: 0000-0002-2313-2191, AuthorID: 828739; labpoliv@list.ru

Дмитрий Александрович Москвичев, канд. техн. наук; ORSID:0009-0002-7082-4876, AuthorID: 964662, moskvichev@rgau-msha.ru 89773547973.

Марина Владимировна Климахина, канд. с.-х. наук, доцент; ORCID: 0000-0002-2673-4964, AuthorID: 1108029, mklimahina@yandex.ru

About the authors

Alexey V. Evgrafov, DSc (Eng), associate professor; ORSID: 0000-0002-2313-2191, AuthorID: 828739; labpoliv@list.ru

Dmitry A. Moskvichev, CSc (Eng), associate professor ORSID:0009-0002-7082-4876, AuthorID: 964662, moskvichev@rgau-msha.ru

Marina V. Klimakhina, CSc (Agro), associate professor, ORCID: 0000-0002-2673-4964, AuthorID: 1108029, mklimahina@yandex.ru

Критерии авторства / Authorship criteria

Евграфов А.В., Москвичев Д.А., Климахина М.В. выполнили практические и теоретические исследования, на основании которых провели обобщение и написали рукопись.имеют на статью авторское право и несут ответственность за плагиат.

Evgrafov A.V., Moskvichev D.A., M.V. Klimakhina. performed practical and theoretical research, on the basis of which they generalized and wrote a manuscript, they have copyright on the article and are responsible for plagiarism.

Конфликт интересов / Conflict of interests

Авторы заявляет об отсутствии конфликтов интересов / The authors declare no conflicts of interests

Вклад авторов / Contribution of authors

Все авторы сделали равный вклад в подготовку публикации / All authors made an equal contribution to the preparation of the publication

Поступила в редакцию / Received at the editorial office 11.03.2025
Поступила после рецензирования / Received after peer review 01.04.2025
Принята к публикации / Accepted for publication 01.04.2025