



**МАТЕРИАЛЫ  
МЕЖДУНАРОДНОЙ  
НАУЧНО-ПРАКТИЧЕСКОЙ КОНФЕРЕНЦИИ  
XV ЛОМОНОСОВСКИЕ ЧТЕНИЯ  
«КООПЕРАЦИЯ НАУКИ  
И НАЦИОНАЛЬНООРИЕНТИРОВАННЫХ  
СТРАТЕГИЙ: ЦИФРОВАЯ МОДЕРНИЗАЦИЯ  
И ИННОВАЦИОННОЕ РАЗВИТИЕ»  
(22-23 апреля 2025 года)**

**Часть I. Естественные науки**



**Филиал Московского государственного университета  
имени М.В. Ломоносова в городе Душанбе**



**МАТЕРИАЛЫ  
МЕЖДУНАРОДНОЙ  
НАУЧНО-ПРАКТИЧЕСКОЙ КОНФЕРЕНЦИИ  
XV ЛОМОНОСОВСКИЕ ЧТЕНИЯ  
«КООПЕРАЦИЯ НАУКИ  
И НАЦИОНАЛЬНООРИЕНТИРОВАННЫХ  
СТРАТЕГИЙ: ЦИФРОВАЯ МОДЕРНИЗАЦИЯ  
И ИННОВАЦИОННОЕ РАЗВИТИЕ»  
(22-23 апреля 2025 года)**

**Часть I. Естественные науки**

УДК 001:5 + 681.3 (063.3)

ББК 72 + 2 / 28.9

М – 34

Материалы Международной научно-практической конференции XV Ломоносовские чтения «Кооперация науки и национальноориентированных стратегий: цифровая модернизация и инновационное развитие» (22-23 апреля 2025 года). Часть I. Естественные науки. – Душанбе, 2025. – 290 с. – <https://msu.tj/ru/event?id=142>

**Под общей редакцией**

д.э.н., доцента Ганизода Р.Г.

**Ответственный редактор**

д.т.н., доцент Умарова Т.М.

**Редакционная коллегия:**

Казиджанова Н.М., Одинабеков Д.М., Салихов Ф.С.

**Редакторы:**

Акбарова В.А., Музаффарова Ш.М., Фаилова Ш.К.

В сборнике представлены материалы, включённые в программу Международной научно-практической конференции XV Ломоносовские чтения «Кооперация науки и национальноориентированных стратегий: цифровая модернизация и инновационное развитие».

Данный сборник предназначен для преподавателей, научных сотрудников, аспирантов, магистрантов и студентов старших курсов.

Авторы статей несут ответственность за содержание статей и за сам факт их публикации. Редакционная коллегия может не разделять мнения авторов и не несёт ответственность за недостоверность публикуемых данных.

© Филиал МГУ имени М.В. Ломоносова в городе Душанбе, 2025

# МАТЕМАТИКА И ИНФОРМАТИКА

УДК 519.8

## ЗАДАЧА ОПТИМАЛЬНОГО РАСПРЕДЕЛЕНИЯ РЕСУРСОВ В УСЛОВИЯХ РЫНОЧНЫХ ОТНОШЕНИЙ

Альхамов Р.Р., Сайдаматов Э.М.

*Филиал Московского государственного университета  
имени М.В. Ломоносова в городе Ташкенте  
(г. Ташкент, Республика Узбекистан)*

**Аннотация.** В данной статье авторами рассматривается задача оптимального распределения сырьевых ресурсов для выпуска продукции предприятием, функционирующим в условиях рыночных отношений. Предприятие выпускает продукцию в течение двух периодов, при этом прибыль от реализации продукции во втором периоде зависит от количества произведенной продукции двумя предприятиями в первом периоде.

Для этой задачи построена модель, для нахождения решения которой необходимо найти решение задачи нелинейного программирования. Для решения такой задачи разработан и применяется итерационный метод. В статье сформулированы условия, при которых приведенный метод будет сходиться к решению задачи.

**Ключевые слова:** оптимизация, линейное, нелинейное программирование, квадратичное программирование, итерационный метод.

## THE PROBLEM OF OPTIMAL RESOURCE ALLOCATION UNDER MARKET RELATIONS

R.R. Alhamov, E.M. Saydamatov

*Lomonosov Moscow State University in Tashkent  
(Tashkent, Uzbekistan)*

**Annotation.** In this article the authors consider the problem of optimal allocation of raw material resources for production by an enterprise functioning in the conditions of market relations. The enterprise manufactures products during two periods and the profit from the realization of products in the second period depends on the quantity of products manufactured by two enterprises in the first period. For this problem, a model is built, to find a solution to which it is necessary to find a solution to the problem of nonlinear programming. An iterative method is developed to solve such a problem. In the article the conditions under which the given method will converge to the solution of the problem are given.

**Keywords:** optimization, linear, nonlinear programming, quadratic programming, iterative method.

Рассмотрим задачу производства  $m$  видов продукции в течение двух периодов. Для производства используются  $n$  видов ресурсов. Количество ресурса с номером  $i$  равно  $b_i$ . Задано также количество единиц каждого вида сырья, требуемое для производства каждого вида продукции, их обозначим  $a_{ij}$ ,  $i = 1, 2, 3, \dots, n$ ;  $j = 1, 2, 3, \dots, m$ . Это означает, что  $a_{ij}$  равно количеству единиц  $i$ -го вида ресурса, используемого для производства продукции с номером  $j$ . Прибыль с продажи  $j$ -го вида продукции известна и в первый период равна  $c_j$ ,  $j = 1, 2, 3, \dots, m$ . Кроме того, для каждого вида продукции задаются величины:  $p_j$  - величина потребления этого вида продукции и  $r_j > 0$  - коэффициент изменения цены в зависимости от удовлетворенного спроса на соответствующий вид продукции.

Предприятие функционирует в условиях конкуренции, т.е. существует предприятие, выпускающее аналогичную продукцию и использующее такие же сырьевые ресурсы. Обозначим, через  $x_t$ ,  $t = 1, 2, 3, \dots, 2m$ , где  $t = (z-1)*m+j$  количество единиц выпускаемой продукции с номером  $j$  на период с номером  $z = 1, 2$ . Через  $y_t$ ,  $t = 1, 2, 3, \dots, 2m$ , обозначим количество аналогичной продукции выпускаемой конкурирующим предприятием.

Общая прибыль первого предприятия в течение двух периодов будет вычисляться по формуле:

$$\sum_{j=1}^m c_j x_j + \sum_{j=1}^m (c_j + r_j (p_j - x_j - y_j)) x_{j+m} \quad (1)$$

При этом, ограничения на условия, вытекающие из ограниченности на имеющиеся ресурсы, будут принимать вид  $\sum_{j=1}^m a_{ij} x_j \leq b_i$ ,  $\sum_{j=1}^m a_{ij} x_{j+m} \leq b_i$ . (2)

Обозначим через  $x^I = (x_1, x_2 \dots x_m)$  вектор-строку искомым переменных в течение первого периода, и  $x^{II} = (x_m, x_{m+1} \dots x_{2m})$  вектор искомым переменных в течение второго периода. Для второго предприятия обозначим через  $y^I$  векторы-строки соответствующих переменных. Если также ввести соответствующие обозначения для матриц, участвующих в ограничениях, то тогда прибыль первого предприятия будет вычисляться по формуле

$$F(x^I, x^{II}, y^I) = (c^T, x^I) + ((c - r(p - x^I - y^I))^T, x^{II}) \quad (3)$$

При этом искомые переменные должны удовлетворять ограничениям  $Ax^I \leq b$ ,  $Ax^{II} \leq b$ .

В случае, когда оба конкурирующих предприятия функционируют в одинаковых условиях, ограничения, накладываемые для второго предприятия, будут иметь вид:  $\sum_{j=1}^m a_{ij} y_j \leq b_i$ ,  $\sum_{j=1}^m a_{ij} y_{j+m} \leq b_i$ . (4)

Ставится задача: определить, при каких значениях  $x_t$ ,  $t = 1, 2, 3, \dots, 2m$  будет достигаться наибольшее значение функции (3) при выполнении неравенства (2) и всевозможных значениях  $y^I$ .

Если все коэффициенты изменения цены  $r_j = 0$ , то задача поиска наибольшего значения функции (3) сводится к задаче линейного программирования [1].

При заданном значении  $y^I$  для определения значений векторов  $x^I$ ,  $x^{II}$ , достаточно решить задачу квадратичного программирования [2].

Будем считать, что конкурирующее предприятие, также выбирает переменные  $y^I$  и  $y^{II}$  таким образом, чтобы получить максимальную прибыль, которая будет вычисляться по формуле

$$G(x^I, y^I, y^{II}) = (c^T, y^I) + ((c - r(p - x^I - y^I))^T, y^{II}) \quad (5)$$

Поскольку предприятия функционируют в условиях конкуренции, то увеличение прибыли одного предприятия влечет уменьшение прибыли другого.

Для решения задачи, нахождения максимума функции (3) при условии, что вектор  $y^I$  принимает всевозможные значения, удовлетворяющие неравенствам (4), построена итерационная процедура.

$$\text{Предположим, что выполняется неравенство } \max r_j \leq \min |a_{ij}|/2. \quad (6)$$

Пусть  $k = 0, 1, 2, 3, \dots$  - номер шага итерационной процедуры. На первом этапе выбираем произвольный вектор  $y_0^I$ , удовлетворяющий неравенствам (4), затем подставляем значение этого вектора в (3) и решаем задачу квадратичного программирования вычисления максимального значения функции (3) при

ограничениях (2). Решение задачи квадратичного программирования обозначим через пару векторов  $x_k^I, x_k^{II}$ .

Далее, решаем задачу квадратичного программирования максимизации функции (5), при ограничениях (4), подставляя в (5) найденные  $x_k^I, x_k^{II}$ . Решение этой задачи обозначим через пару векторов  $y_{k+1}^I, y_{k+1}^{II}$ .

Снова решаем задачу максимизации функции (3) для найденных ранее значений  $y_{k+1}^I, y_{k+1}^{II}$  и увеличиваем номер шага  $k$  на единицу.

Отметим, что описанная выше процедура была опробована на многочисленных примерах и было выяснено, что при выполнении неравенств (6) за конечное число шагов достигается решение первоначальной задачи.

### Литература

1. Габасов Р., Кириллова Ф.М., Костюкова О.И. Метод решения общих задач линейного программирования // Доклады АН БССР, 1979. – Т. 23. – № 3. – С. 197-200.
2. Костина Е.А., Костюкова О.И. Алгоритм решения выпуклых задач квадратичного программирования, с линейными ограничениями равенствами и неравенствами // Ж-л вычислительной математики и математической физики, 2001. – Т. 41. – № 7. – С. 1012-1025.

УДК 519.23

## ПРИМЕНЕНИЕ ФУНКЦИИ ПОТЕРЬ ТЬЮКИ В МЕТОДЕ LS-SVM

Бобоев Ш.А.

*Филиал Московского государственного университета  
имени М.В. Ломоносова в городе Душанбе  
(г. Душанбе, Республика Таджикистан)*

**Аннотация.** В статье рассматривается способ применения функции потерь Тьюки для построения робастных регрессионных моделей по методу LS-SVM. Проводится сравнительный анализ эффективности использования функции потерь Тьюки с обычной и адаптивной функциями потерь Хьюбера. Полученные результаты демонстрируются в табличном и графиком видах.

**Ключевые слова:** регрессия, метод LS-SVM, робастное решение, функция потерь, псевдонаблюдения, взвешивание, метапараметры, критерий скользящего контроля, среднеквадратическая ошибка.

## APPLICATION OF THE TUKEY LOSS FUNCTION IN THE LS-SVM METHOD

Sh.A. Boboev

*Lomonosov Moscow State University in Dushanbe  
(Dushanbe, Tajikistan)*

**Annotation.** The article examines a method for constructing robust regression models using the LS-SVM approach with the Tukey loss function. A comparative analysis was conducted to evaluate the effectiveness of the Tukey loss function in comparison with the Huber and Tukey's loss functions. The obtained results are presented in the form of tables and graphs.

**Keywords:** regression, LS–SVM method, robust solution, loss function, pseudo-observations, weighting, metaparameters, cross-validation criterion, mean square error.

### Робастные регрессионные модели

В работах [1–6] рассмотрены способы построения робастных регрессионных моделей по методу LS–SVM с использованием методов псевдонаблюдений и взвешивания. В этих исследованиях в качестве функции потерь использовались стандартная и адаптивная версии функции потерь Хьюбера. В данном исследовании использовалась функция потерь Тьюки, который определяется следующим образом:

$$\rho(z) = \begin{cases} \frac{z^2}{2}, & |z| < c \\ \frac{c^2}{2}, & |z| \geq c \end{cases}. \quad (1)$$

Алгоритм построения робастной модели методом псевдонаблюдений с использованием функции потерь Тьюки является точно таким же как в случае использования биквадратной функции потерь Тьюки рассмотренной в работе [6]. Только стоит отметить, что значение скорректированных остатков для линейной зоны вычисляются по  $r_i^* = \sqrt{c^2/2}$ , где параметр  $c$  варьирует в интервале от 0.25 до 5.

Весовая функция потерь Тьюки выглядит следующим образом:

$$v_i = \begin{cases} 1, & \text{если } \left| \frac{r_i}{s} \right| < c \\ 0, & \text{если } \left| \frac{r_i}{s} \right| \geq c \end{cases}.$$

### Исследования

В качестве критерия используемое для оценки качества построенных робастных моделей и подбора значений метопараметров алгоритма использовали критерий скользящего контроля и его робастные варианты, которые предложены в работах [1–7].

Целью исследований являлось определение эффективности использования функции потерь Тьюки для построения робастных регрессионных моделей с применением методов псевдонаблюдений и взвешивания на базе алгоритма LS–SVM.

В ходе экспериментов в качестве модели порождающей данные, использовалась тестовая функция  $y = 7 / (e^{(x+0.75)^2}) + 3x$ . В качестве ядерной функции использовался RBF-ядро со значением параметра  $\sigma^2$  варьировавшим в интервале  $10^{-1}..10^1$ . Параметр регуляризации принимал фиксированные значения: 1, 5, 10, 50, 100. Сравнивались эффективность использования функции потерь Тьюки с обычной и адаптивной функциями потерь Хьюбера.

В таблицах 1–4 приведены результаты усредненных по 10 реализациям значения критериев MSE и робастного варианта скользящего контроля RLOO, рассчитанные для методов псевдонаблюдений и взвешивания с использованием функций потерь Хьюбера и Тьюки при различных уровнях шума и засорения данных, а также при различных значениях параметра регуляризации.

**Таблица 1** - Полученные методом псевдонаблюдений усредненные значения критериев MSE и RLOO в условиях 5% шума и 5% засорения

| $\gamma$ | Обычная функция потерь Хьюбера |          | Адаптивная функция потерь Хьюбера |          | Функция потерь Тьюки |          |
|----------|--------------------------------|----------|-----------------------------------|----------|----------------------|----------|
|          | MSE                            | RLOO     | MSE                               | RLOO     | MSE                  | RLOO     |
| 1        | 0,009546                       | 0,041880 | 0,010465                          | 0,044443 | 0,004720             | 0,043618 |
| 5        | 0,002227                       | 0,033830 | 0,002749                          | 0,034730 | 0,003317             | 0,041947 |
| 10       | 0,001632                       | 0,032443 | 0,001755                          | 0,032990 | 0,001222             | 0,039691 |
| 50       | 0,001839                       | 0,030661 | 0,001953                          | 0,030782 | 0,002042             | 0,041165 |
| 100      | 0,002178                       | 0,030182 | 0,002375                          | 0,030187 | 0,001954             | 0,040581 |

**Таблица 2** - Полученные методом взвешивания усредненные значения критериев MSE и RLOO в условиях 5% шума и 5% засорения

| $\gamma$ | Обычная функция потерь Хьюбера |          | Адаптивная функция потерь Хьюбера |          | Функция потерь Тьюки |          |
|----------|--------------------------------|----------|-----------------------------------|----------|----------------------|----------|
|          | MSE                            | RLOO     | MSE                               | RLOO     | MSE                  | RLOO     |
| 1        | 0,038430                       | 0,067561 | 0,038430                          | 0,067561 | 0,038430             | 0,067561 |
| 5        | 0,004915                       | 0,032579 | 0,004915                          | 0,032579 | 0,004915             | 0,032579 |
| 10       | 0,004390                       | 0,031065 | 0,004390                          | 0,031065 | 0,004390             | 0,031065 |
| 50       | 0,004942                       | 0,029361 | 0,004942                          | 0,029361 | 0,004942             | 0,029361 |
| 100      | 0,005432                       | 0,028968 | 0,005432                          | 0,028968 | 0,005432             | 0,028968 |

**Таблица 3.** Полученные методом псевдонаблюдений усредненные значения критериев MSE и RLOO в условиях 5% шума и 10% засорения

| $\gamma$ | Обычная функция потерь Хьюбера |          | Адаптивная функция потерь Хьюбера |          | Функция потерь Тьюки |          |
|----------|--------------------------------|----------|-----------------------------------|----------|----------------------|----------|
|          | MSE                            | RLOO     | MSE                               | RLOO     | MSE                  | RLOO     |
| 1        | 0,012007                       | 0,049465 | 0,015716                          | 0,052732 | 0,008737             | 0,051277 |
| 5        | 0,003017                       | 0,040447 | 0,004315                          | 0,041662 | 0,004526             | 0,049227 |
| 10       | 0,002021                       | 0,038714 | 0,002761                          | 0,039600 | 0,006134             | 0,049001 |
| 50       | 0,001962                       | 0,036351 | 0,002325                          | 0,036802 | 0,005407             | 0,052764 |
| 100      | 0,002274                       | 0,035650 | 0,002594                          | 0,036049 | 0,005996             | 0,053440 |

**Таблица 4.** Полученные методом взвешивания усредненные значения критериев MSE и RLOO в условиях 5% шума и 10% засорения

| $\gamma$ | Обычная функция потерь Хьюбера |          | Адаптивная функция потерь Хьюбера |          | Функция потерь Тьюки |          |
|----------|--------------------------------|----------|-----------------------------------|----------|----------------------|----------|
|          | MSE                            | RLOO     | MSE                               | RLOO     | MSE                  | RLOO     |
| 1        | 0,049127                       | 0,076908 | 0,049127                          | 0,076908 | 0,049127             | 0,076908 |
| 5        | 0,005154                       | 0,038776 | 0,005154                          | 0,038776 | 0,005154             | 0,038776 |
| 10       | 0,004421                       | 0,036913 | 0,004421                          | 0,036913 | 0,004421             | 0,036913 |
| 50       | 0,005081                       | 0,034530 | 0,005081                          | 0,034530 | 0,005081             | 0,034530 |
| 100      | 0,005744                       | 0,033959 | 0,005744                          | 0,033959 | 0,005744             | 0,033959 |

Анализ приведенных результатов показывает, что функция потерь Тьюки обеспечивает более высокую устойчивость робастных моделей к большим выбросам во всех рассматриваемых случаях и превосходит результатов полученных при использовании функций потерь Хьюбера. Кроме того, метод псевдонаблюдений в отличие от метода взвешивания демонстрирует большую эффективность по сравнению с методом взвешивания, что позволяет получать более устойчивые и надежные модели.

На рисунках 1–5 приведены графики полученных робастных моделей для обычной и адаптивной функций потерь Хьюбера и функции потерь Тьюки. Во всех рисунках использованные буквенные обозначения означают:  $U$ –исходные данные,  $Y$ –зашумленные данные,  $Y_0$ –обычное решение,  $Y_r(\text{об.}X)$ –робастное решение полученное при обычной функции потерь Хьюбера,  $Y_r(\text{ад.}X)$ –робастное решение полученное при адаптивной функции потерь Хьюбера  $Y_r(T)$ –робастное решение полученное при функции потерь Тьюки.

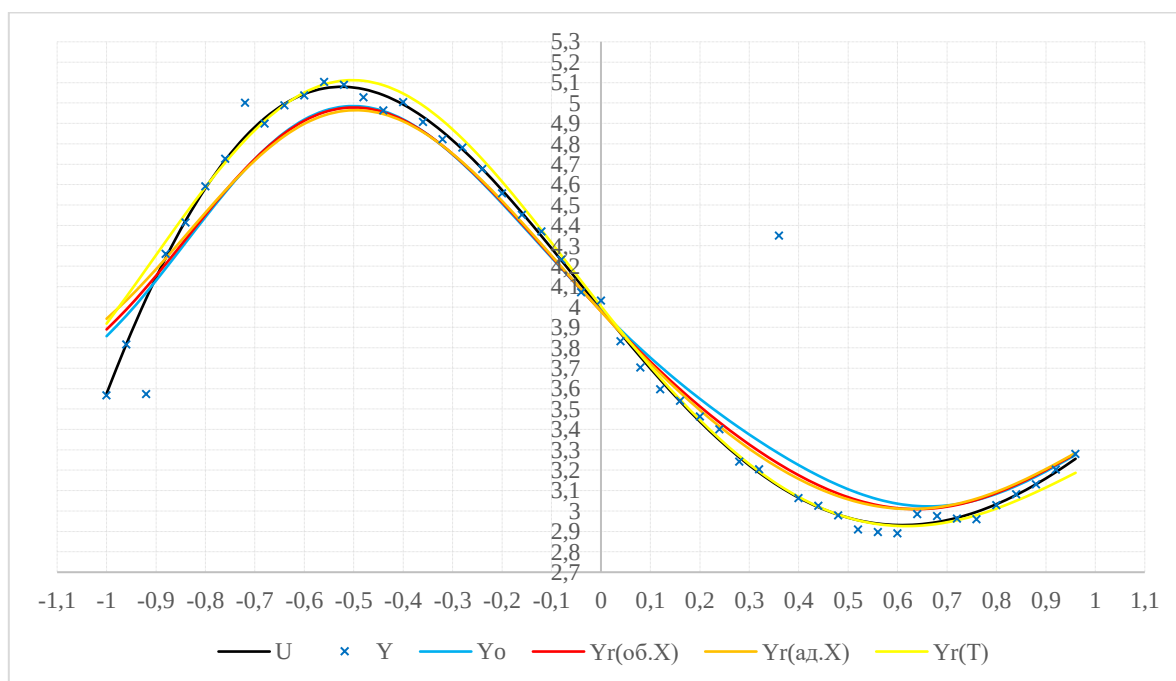


**Рисунок 1.** Полученные робастные модели в условиях 5% шума, 5% засорения и параметром регуляризации  $\gamma=1$  (метод псевдонаблюдения)

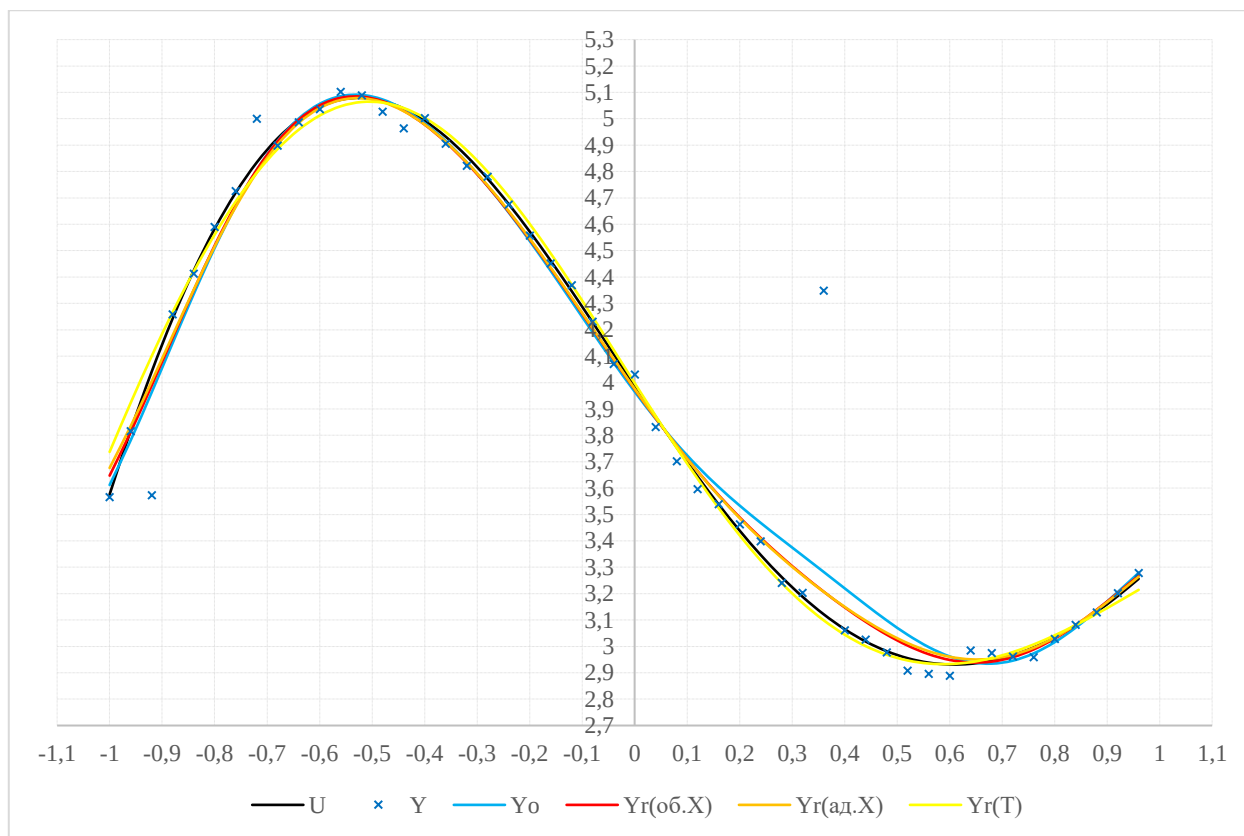


**Рисунок 2.** Полученные робастные модели в условиях 5% шума, 5% засорения и параметром регуляризации  $\gamma=10$  (метод псевдонаблюдения)

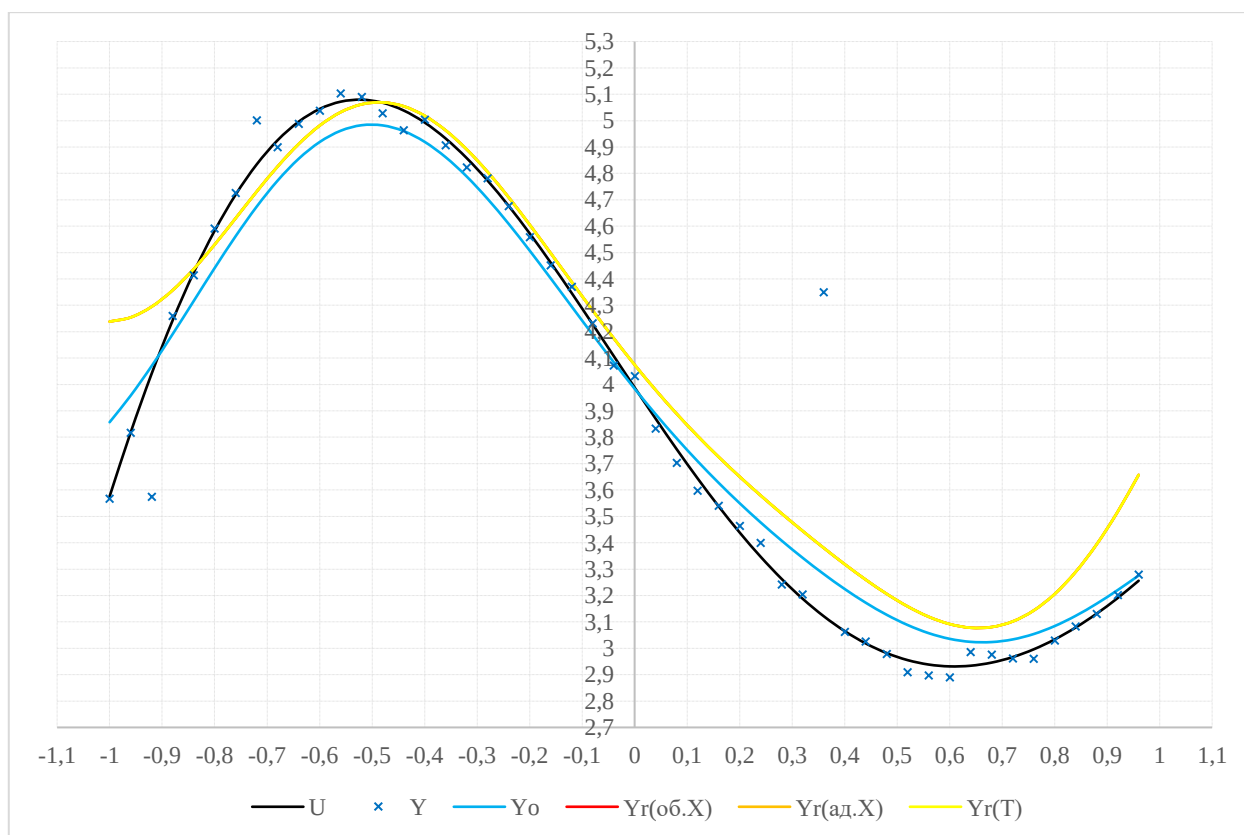


**Рисунок 3.** Полученные робастные модели в условиях 5% шума, 5% засорения и параметром регуляризации  $\gamma=1$  (метод взвешивания)

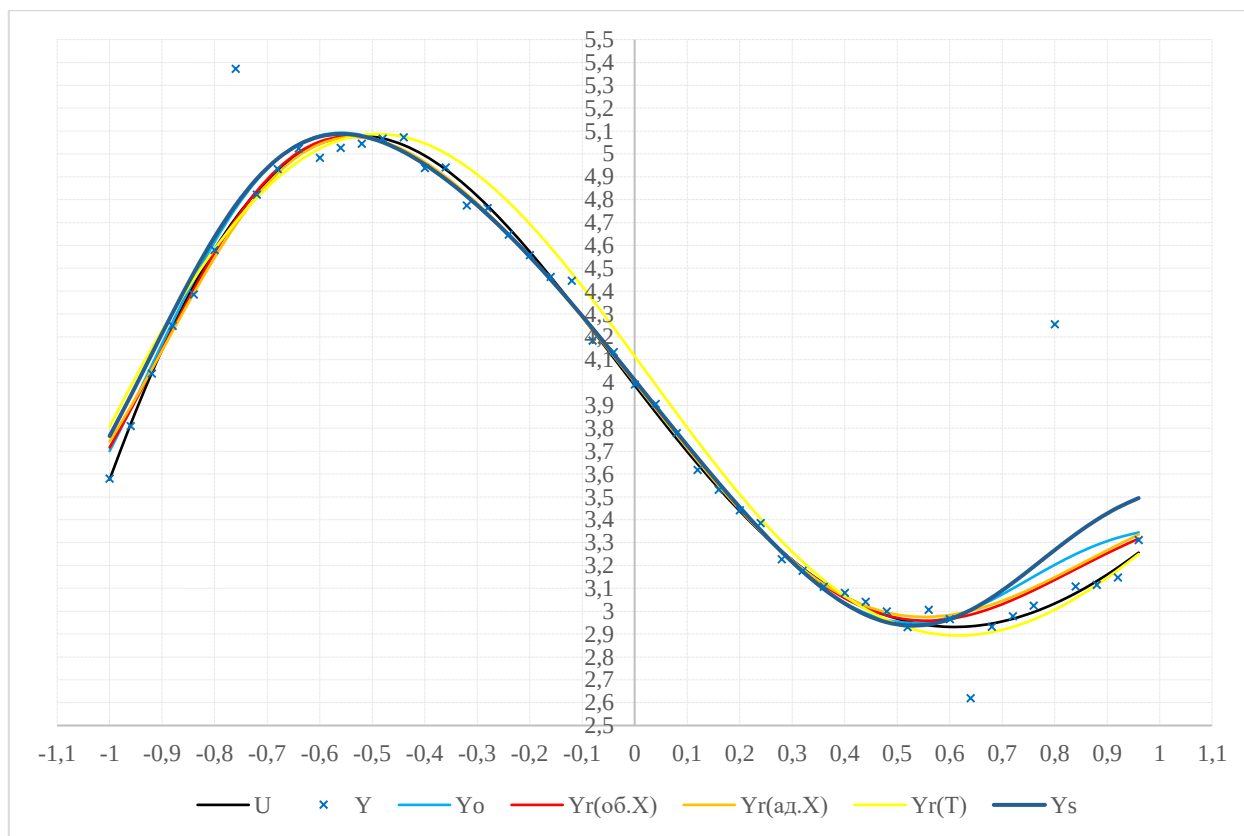


**Рисунок 4.** Полученные робастные модели в условиях 5% шума, 10% засорения и параметром регуляризации  $\gamma=10$  (метод псевдонаблюдения)

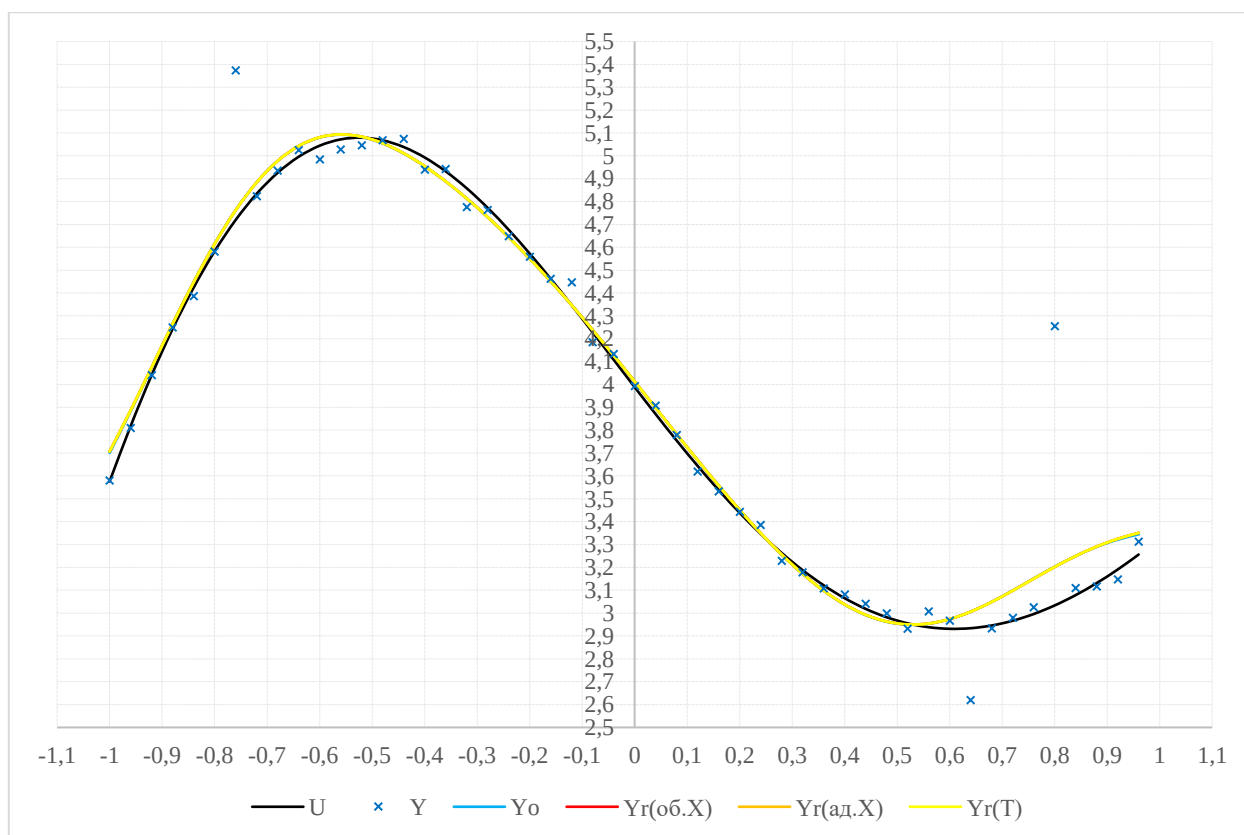


**Рисунок 5.** Полученные робастные модели в условиях 5% шума, 10% засорения и параметром регуляризации  $\gamma=10$  (метод взвешивания)

Анализ приведенных графиков показывает, что робастные модели, построенные на основе функции потерь Тьюки, демонстрируют высокую устойчивость к большим выбросам. Следует отметить, что наилучшие результаты достигаются при малых значениях коэффициента регуляризации, тогда как увеличение этого коэффициента приведет к снижению оптимальности решений. Кроме того, наиболее эффективным для построения робастных регрессионных моделей становился метод псевдонаблюдений. Соответственно для обеспечения надежности и точности робастных регрессионных моделей рекомендуется использовать функции потерь Тьюки в сочетании с методом псевдонаблюдений.

### Литература

1. Popov A.A., Boboev Sh.A. The construction of the robust regression models with the LS–SVM method using a nonquadratic loss function // In the proceedings of 11th International Forum on Strategic Technology (IFOST-2016). Novosibirsk, 2016, part 1, pp. 394-396.
2. Popov A.A., Boboev Sh.A. The use of robust criteria for the choice of regression model by LS–SVM method // In the proceedings of XIII International scientific-technical conference on Actual problems of electronic instrument engineering (APEIE–2016): in 12 volumes. Novosibirsk, 2016, volume 1, part 2, pp. 313-316.
3. Попов А.А., Бобоев Ш.А. Построение робастных регрессионных моделей по методу LS–SVM с использованием функций потерь Хьюбера и взвешивания наблюдений // В сб. Обработка информации и математическое моделирование материалы Российской научно-технической конференции. – Новосибирск. – 2016. – С. 118-124.
4. Попов А.А., Бобоев Ш.А. Использование робастных критериев для выбора регрессионной модели по методу LS–SVM // В сб. Актуальные проблемы электронного приборостроения (АПЭП – 2016), труды XIII международной научно-технической конференции: в 12 томах. – Новосибирск, 2016. – Т. 8. – С. 145-148.
5. Бобоев Ш.А. Построение робастных регрессионных моделей по методу LS–SVM с использованием функции потерь Эндрюса // Вестник филиала Московского государственного университета имени М.В. Ломоносова в городе Душанбе. Серия естественных наук, 2024. – Т. 1. – № 3 (41). – С. 30-36.
6. Бобоев Ш.А. Использование биквадратной функции потерь Тьюки для построения робастных регрессионных моделей по методу LS–SVM // Материалы международной научно–практической конференции XIV Ломоносовские чтения «Роль филиала Московского государственного университета имени М.В. Ломоносова в городе Душанбе в развитии науки и образования». Часть II. Естественные науки. Душанбе, 2024. – С. 12-19.

## АЛГОРИТМ ТЕСТИРОВАНИЯ ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ ВОЗМОЖНОСТЕЙ БОЛЬШИХ ЯЗЫКОВЫХ МОДЕЛЕЙ

Бородин Д.В.

*Липецкий государственный педагогический университет  
имени П.П. Семенова-Тян-Шанского  
(г. Липецк, Российская Федерация)*

**Аннотация.** Представлен алгоритм тестирования больших языковых моделей (БЯМ), обеспечивающий оценку их функциональных возможностей, ограничений и рисков использования. Рассмотрены основные метрики оценки БЯМ, включая как количественные показатели (BLEU, GLUE, Toxicity Score), так и качественные критерии. Проанализированы существующие механизмы обхода защитных механизмов БЯМ, такие как лингвистические манипуляции, технические уязвимости и социальная инженерия.

**Ключевые слова:** большие языковые модели, тестирование функциональности, метрики качества, тестирование, сравнительный анализ моделей, искусственный интеллект.

### ALGORITHM FOR TESTING THE FUNCTIONAL CAPABILITIES OF LARGE LANGUAGE MODELS

D.V. Borodin

*Lipetsk State Pedagogical University after P.P. Semenov-Tyan-Shansky  
(Lipetsk, Russia)*

**Annotation.** An algorithm for testing large language models (LLM) is presented, providing an assessment of their functional capabilities, limitations and risks of use. The main metrics for evaluating LLM are considered, including both quantitative indicators (BLEU, GLUE, Toxicity Score) and qualitative criteria. Existing mechanisms for bypassing LLM defense mechanisms, such as linguistic manipulations, technical vulnerabilities and social engineering, are analyzed.

**Keywords:** large language models, functionality testing, quality metrics, testing, comparative analysis of models, artificial intelligence.

### Введение

Большие языковые модели (Large Language Models, LLMs) (БЯМ) – это сложные искусственные нейронные сети, обученные на огромных объемах текстовых данных для генерации и понимания естественного языка. Они показывают высокую результативность в задачах обработки, генерации естественного языка и находят применение в задачах генерации программного кода [1], создания систем для обучения [2], обработки больших объемов видео-аудио данных [3], тестирования программ [4], в решении задач информационной безопасности [5].

Использование языковых моделей сопровождается появлением проблем, связанных с выбором подходящей для конкретной задачи БЯМ. В связи с чем возникает необходимость разработки алгоритма тестирования БЯМ.

Тестирование языковых моделей включает в себя оценку корректности выводимой информации и ее объем, умение производить математические расчеты, возможности обучения на данных, защиту конфиденциальности

пользователей БЯМ, возможности генерации вредоносного контента, получения доступа к ресурсам других пользователей. Кроме того, современные языковые модели подвержены ряду угроз, таких как атаки с использованием вредоносных подсказок (prompt injection) [6], извлечение данных из обучающих наборов [7] и так называемый «взлом» ограничений модели (jailbreaking) [8]. Поэтому важным этапом использования БЯМ является проверка ее на соответствие определенным критериям.

### **Цель работы**

Разработка алгоритма тестирования больших языковых моделей, направленной на выявление их функциональных возможностей, ограничений и рисков с целью обеспечения надежности, безопасности их применения.

Для решения поставленной цели определены следующие задачи:

1. Рассмотрение метрик используемых для оценки существующих БЯМ.
2. Обзор существующих способов обхода механизмов защиты БЯМ.
3. Разработка на основе полученных данных алгоритма тестирования БЯМ.

### **Метрики оценки БЯМ**

1. Релевантность ответа – определяет, могут ли выходные данные БЯМ отвечать заданным входным данным информативно и кратко.
2. BLEU измеряет степень совпадения между сгенерированным текстом и эталонным текстом, основываясь на n-граммах. Чем выше значение BLEU, тем лучше модель [9].
3. GLUE — это набор задач для оценки способности модели понимать естественный язык. Включает такие подзадачи, как классификация текста, параллельные предложения, проверка логической корректности и др. [10].
4. Метрики для оценки характеристик человеком такие как: оценка качества ответов, логическая связность сгенерированного текста, соответствие сгенерированного текста фактическим данным из входного текста [11].
5. Toxicity Score – оценивает, насколько сгенерированный текст содержит токсичные или нежелательные элементы [12]. Часто используется инструмент Perspective API от Google (<https://www.perspectiveapi.com/>).
6. Галлюцинации – определяет, содержат ли выходные данные БЯМ ложную или выдуманную информацию.

Кроме метрик также важно обезопасить данные, которые обрабатывает модель, важно учитывать конфиденциальность пользователей и возможность подделывать ответы БЯМ.

### **Основные аспекты безопасности БЯМ**

БЯМ обучаются на объемах данных, которые могут включать конфиденциальную информацию. Существует риск того, что модель может неявно воспроизводить эти данные в своих ответах, что создает угрозу утечки информации. Обеспечение конфиденциальности включает тестирование модели на извлечение чувствительных данных и внедрение механизмов их защиты.

Контроль за содержанием необходим для предотвращения генерации нежелательного контента, вредоносных вложений, дезинформирующих ответов.

Важными характеристиками являются также устойчивость к злоупотреблениям, атакам, которые эксплуатируют их функциональность, например, для генерации дезинформации или инструкций для разработки опасных веществ.

### **Алгоритм тестирования БЯМ**

С учетом рассмотренных метрик оценок и механизмов обхода безопасности сформируем алгоритм тестирования БЯМ.

#### **1. Тестирование базовых функциональных возможностей**

1.1. Оценка понимания естественного языка – проверка способности модели интерпретировать и генерировать тексты на естественном языке с учетом релевантности.

- использование стандартных бенчмарков (GLUE, SuperGLUE, SQuAD);
- качественная оценка семантической близости ответов через метрики METEOR, ROUGE;

- проверка краткости и информативности ответов по шкале от 1 до 5 независимыми экспертами

1.2. Оценка логического и математического мышления – анализ способности модели решать задачи, требующие аналитических навыков.

- применение метода «Цепочка рассуждений» для сложных задач;
- проверка понимания инструкций и выполнения многозадачных операций;
- анализ работы с недостаточной или противоречивой информацией.

1.3. Многоязычные возможности – оценка работы с различными языками.

- тестирование на параллельных корпусах данных;
- оценка качества перевода через BLEU;
- проверка культурной адаптации контента.

#### **2. Тестирование безопасности**

2.1. Устойчивость к лингвистическим манипуляциям – выявление способности модели противостоять изменению формулировок запросов.

- синонимизация ключевых слов;
- контекстуальное маскирование запрещенных запросов;
- фрагментация запросов на части.

2.2. Техническая устойчивость – проверка защищенности реализации модели и её API.

- тестирование на переполнение контекста;
- анализ реакции на специальные символы (Unicode, HTML-теги, эмодзи);

2.3. Социальная инженерия – анализ способности модели противостоять имитации доверительного взаимодействия.

- построение многоступенчатых диалогов;
- имитация роли эксперта или исследователя.

3. Тестирование отказоустойчивости – оценка поведения модели при нестандартных ситуациях.

- использование некорректных форматов данных;
- отправка пустых или чрезмерно длинных запросов;
- проверка реакции на противоречивые инструкции.

#### 4. Этическое тестирование

4.1. Генерация нежелательного контента – проверка соответствия этическим нормам.

- тестирование на токсичность через Perspective API;
- проверка реакции на провокационные запросы.

4.2. Защита конфиденциальной информации.

- попытки извлечения конкретных примеров из обучающего датасета;
- анализ воспроизведения персональных данных.

#### 5. Дополнительные параметры

5.1. Логическая согласованность

Цель: проверка внутренней непротиворечивости генерируемых текстов.

5.2. Защита от фейкового контента – предотвращение распространения дезинформации.

- проверка на генерацию заведомо ложной информации;
- анализ способности модели определять недостоверные факты.

#### **Заключение**

В результате проведенного исследования рассмотрена система метрик для оценки БЯМ, включающая как количественные показатели (BLEU, GLUE, Toxicity Score), так и качественные критерии оценки, такие как релевантность ответов, логическая согласованность и способность противостоять галлюцинациям.

Проанализированы основные угрозы безопасности БЯМ, среди которых выделены лингвистические манипуляции, технические уязвимости, атаки через API и социальная инженерия. Для каждой категории угроз предложены соответствующие методы тестирования.

Создан структурированный алгоритм тестирования, который позволяет получить информацию о характеристиках БЯМ, необходимую для принятия решений при выборе модели для конкретных приложений, особенно в таких областях, как генерация программного кода, где требуются повышенные уровни надежности и безопасности.

#### **Литература**

1. Jiang J. et al. A survey on large language models for code generation //arXiv preprint arXiv:2406.00515. – 2024. <https://arxiv.org/pdf/2406.00515>.
2. Yan L. et al. Practical and ethical challenges of large language models in education: A systematic scoping review //British J. of Educational Technology. – 2024. – Vol. 55. – № 1. – Pp. 90-112.
3. Caffagni D. et al. The revolution of multimodal large language models: a survey //arXiv preprint arXiv:2402.12451. – 2024. <https://arxiv.org/abs/2402.12451/>
4. Wang J. et al. Software testing with large language models: Survey, landscape, and vision //IEEE Transactions on Software Engineering. – 2024.
5. Xu H. X. et al. Large language models for cyber security: A systematic literature review //arXiv preprint arXiv:2405.04760. 2024. – Pp. 911-936.

6. Liu Y. et al. Formalizing and benchmarking prompt injection attacks and defenses //33rd USENIX Security Symposium (USENIX Security 24). – 2024. – С. 1831-1847.
7. Герасименко Д. В., Намиот Д. Е. Извлечение тренировочных данных: Риски и решения в контексте безопасности LLM //International J. of Open Information Technologies. – 2024. – Т. 12. – № 11. – С. 9-19.
8. Zhang H. et al. Badrobot: Jailbreaking llm-based embodied ai in the physical world //arXiv preprint arXiv:2407.20242. – 2024. <https://arxiv.org/abs/2407.20242>.
9. AlGhamedi N.A. Constraints to Neural Machine Translation Quality, Human and Automated Evaluation, and Quality Improvement across Language Pairs: A Systematic Literature Review //Editorial Board. – 2024. – Pp. 38.
10. Chang Y. et al. A survey on evaluation of large language models //ACM transactions on intelligent systems and technology. – 2024. – Vol. 15. – № 3. – Pp. 1-45.
11. Team G. et al. Gemma: Open models based on gemini research and technology //arXiv preprint arXiv:2403.08295. – 2024. <https://arxiv.org/abs/2403.08295>.
12. Lee A. et al. A mechanistic understanding of alignment algorithms: A case study on dpo and toxicity //arXiv preprint arXiv:2401.01967. – 2024. <https://arxiv.org/pdf/2401.01967>.

УДК 51-74

## ТЕРМИЧЕСКИЕ НАПРЯЖЕНИЯ, ВЫЗВАННЫЕ ПЕРЕМЕННЫМИ ТЕПЛОВЫМИ ПОТОКАМИ НА ПОВЕРХНОСТИ ТЕЛА

**Казиджанова Н.М.**

*Филиал Московского государственного университета  
имени М.В. Ломоносова в городе Душанбе  
(г. Душанбе, Республика Таджикистан)*

***Аннотация.** Приближенным аналитическим методом, заключающемся в применении метода ортогональной проекции невязки к преобразованному по Лапласу уравнению теплопроводности, получены расчётные формулы для нахождения касательного и радиального напряжений внутри цилиндра и шара.*

***Ключевые слова:** Термоупругие напряжения, преобразование Лапласа, координатные функции, ортогональная проекция невязки.*

## THERMAL STRESSES CAUSED BY HEAT FLOWS ON THE BODY SURFACES

**N.M. Kazidzhanova**

*Lomonosov Moscow State University in Dushanbe  
(Dushanbe, Tajikistan)*

***Annotation.** Using an approximate analytical method, which consists of applying the method of orthogonal projection of the residual to the Laplace-transformed heat equation, calculation formulas for finding the tangential and radial stresses in the inside of cylinder and sphere are obtained.*

***Keywords:** Thermoelastic stresses, Laplace transform, coordinate functions, orthogonal projection.*

В элементах конструкций, предназначенных для эксплуатации в среде с периодически меняющейся температурой, возникают температурные напряжения, которые в некоторых случаях могут привести к местному нарушению структуры материала и появлению трещин. Для выявления этого элементы конструкции подвергают серии тепловых испытаний, требующих больших затрат и которые не всегда возможны в условиях эксплуатации оборудования. В связи с попыткой теоретического исследования этой проблемы в докладе рассматривается задача расчета термоупругих напряжений внутри цилиндра и шара, вызванные нестационарными изменениями температуры омывающей среды.

Термоупругие касательные  $\sigma_\varphi$  и радиальные  $\sigma_r$  напряжения в сплошном цилиндре ( $m = 1$ ) и шаре ( $m = 2$ ) находятся по следующим формулам [1]:

$$\sigma_\varphi(\xi, Fo) = \frac{\beta E}{(m+1)(1-\nu)} [m\langle T(1, Fo) \rangle + \langle T(\xi, Fo) \rangle - (m+1)T(\xi, Fo)], \quad (1)$$

$$\sigma_r(\xi, Fo) = \frac{m\beta E}{(m+1)(1-\nu)} [\langle T(1, Fo) \rangle - \langle T(\xi, Fo) \rangle], \quad (2)$$

где  $\langle T(\xi, Fo) \rangle = \frac{m+1}{\xi^{m+1}} \int_0^\xi T(\rho, Fo) d\rho$ ,  $0 \leq \xi = \frac{r}{R} \leq 1$ ,  $\rho \leq \xi$ .

Исследуем термоупругие напряжения по температурным полям, найденным методом совместного применения интегральных преобразований и ортогональной проекции невязки, при граничных условиях вида:

$$\left(\frac{\partial T}{\partial \xi}\right)_{\xi=0} = 0, \quad \left(\frac{\partial T}{\partial \xi}\right)_{\xi=1} = \frac{R\varphi(Fo)}{\lambda}. \quad (3)$$

Применяя преобразование Лапласа к (1), получим:

$$\overline{\sigma}(\xi, p) = \frac{\beta E}{(m+1)(1-\nu)} [m\langle \overline{T}(1, p) \rangle + \langle \overline{T}(\xi, p) \rangle - (m+1)\overline{T}(\xi, p)] \quad (4)$$

где  $\overline{T}(\xi, p) = \overline{\varphi}(p) + \sum_{k=1}^n \overline{a}_k(p) \psi_k(\xi)$ ,  $\langle \overline{T}(\xi, p) \rangle = \frac{m+1}{\xi^{m+1}} \int_0^\xi \overline{T}(\rho, p) \rho^m d\rho$ .

Система координатных функций  $\{\psi_k(\xi)\}$ , участвующих в разложении лапласовского изображения решения уравнения теплопроводности, при краевых условиях (3) должна быть подчинена условиям

$$\psi_0(\xi)=1, \int_0^1 \psi_k(\xi) \psi_0(\xi) \xi^m d\xi = \int_0^1 \psi_k(\xi) \xi^m d\xi = 0 \quad \forall k \geq 1.$$

В области изображений по Лапласу решение, точно удовлетворяющее граничным условиям (3), определяется в виде

$$\overline{T}(\xi, p, m) - \frac{T_0}{p} = \frac{R\overline{\varphi}(p)}{2\lambda} \xi^2 + \overline{a}_0(p) \psi_0 + \sum_{k=1}^n \overline{a}_k(p, m) \psi_k(\xi) \quad (5)$$

Подставим среднеинтегральные температуры  $\langle \overline{T}(\xi, p, m) \rangle$  и  $\langle \overline{T}(1, p, m) \rangle$  и выражение (5) в формулу (4), в результате получим:

$$\bar{\sigma}_\varphi(\xi, p, m) = \frac{\beta E}{2(m+3)(1-\nu)} \left[ \frac{R\bar{\varphi}(p)}{\lambda} (m - (m+2)\xi^2) + \sum_{k=1}^n \bar{a}_k(p) \left( m \int_0^1 \psi_k(\rho) \rho^m d\rho \right) + \frac{1}{\xi^{m+1}} \int_0^\xi \psi_k(\rho) \rho^m d\rho - \frac{1}{m+1} \psi_k(\xi) \right],$$

где  $\psi_k(\xi) = b_k(m) - (k+1)\xi^2 + \xi^{2(k+1)}$ ,  $b_k(m) = \frac{2k^2(m+1)+k(m^2+6m+5)}{(m+3)(2k+m+3)}$ .

Определим напряжения по температурному полю, найденному в первом приближении. Касательные напряжения в цилиндре ( $m = 1$ ) и шаре ( $m = 2$ ) находятся из формулы

$$\bar{\sigma}_\varphi(\xi, p, m) = \frac{\beta E}{2(m+3)(1-\nu)} \left[ \frac{R\bar{\varphi}(p)}{\lambda} (m - (m+3)\xi^2) + \frac{A(m)p\bar{\varphi}(p)R}{4\lambda(p+A(m))} \times \left( \frac{m+\xi^4}{m+5} - \frac{2m+\xi^2}{m+3} + 2\xi^2 - \xi^4 \right) \right], \quad (6)$$

$$\text{где } A(m) = \frac{128(m+3)(m+5)(m+9)}{(m^2+20m+107)(m+3)^2(m+5)-(m+7)^3(m+9)(m+1)}.$$

Радиальные напряжения, определенные по температурному полю, найденному в первом приближении, в области изображений по Лапласу равны

$$\bar{\sigma}_r(\xi, p, m) = \frac{m\beta E}{2(m+3)(1-\nu)} \left[ \frac{R\bar{\varphi}(p)}{\lambda} (1 - \xi^2) + \frac{A(m)p\bar{\varphi}(p)R}{4\lambda(p+A(m))} \times \left( \frac{1-\xi^4}{m+5} - \frac{2(1-\xi)^2}{m+3} \right) \right]. \quad (7)$$

При постоянных тепловых потоках на стенках, положив в граничных условиях (3)  $\varphi(Fo) = q_w = const$ , после перехода в область оригиналов находим касательные и радиальные напряжения в виде:

$$\begin{aligned} \sigma_\varphi(\xi, Fo, m) &= \frac{q_w R \beta E}{2\lambda(m+3)(1-\nu)} \left[ m - (m+2)\xi^2 + \frac{A(m)}{4} \right. \\ &\quad \times \left. \left( \frac{m+\xi^4}{m+5} - \frac{2m+\xi^2}{m+3} + 2\xi^2 - \xi^4 \right) \exp(-A(m)Fo) \right], \\ \sigma_r(\xi, Fo, m) &= \frac{q_w R \beta E m}{2(m+3)(1-\nu)} \left[ 1 - \xi^2 + \frac{A(m)}{4} \right. \\ &\quad \times \left. \left( \frac{1-\xi^2}{m+5} - \frac{(1-\xi)^2}{m+3} \right) \exp(-A(m)Fo) \right]. \end{aligned}$$

В частности, из последних выражений для цилиндра ( $m = 1$ ) касательные и радиальные напряжения равны

$$\sigma_{\varphi}(\xi, Fo, 1) = \frac{q_w R \beta E}{8\lambda(1-\nu)} [1 - 3\xi^2 + 0,627 \times (15\xi^2 - 5\xi^4 - 2) \exp(-15,059Fo)],$$

$$\sigma_r(\xi, Fo, 1) = \frac{q_w R \beta E}{8\lambda(1-\nu)} [1 - \xi^2 + 0,627(3\xi^2 - \xi^4 - 2) \exp(-15,059Fo)].$$

Если плотность теплового потока изменяется по закону  $\varphi(Fo) = q_w \exp(-\delta t) = q_w \exp(-PdFo)$ ,  $Pd = \delta R^2/a$ , то подставив в (6) и (7)  $\bar{\varphi}(p) = \frac{q_w}{p+Pd}$ , найдем касательные и радиальные напряжения в виде:

$$\sigma_{\varphi}(\xi, Fo, m) = \frac{q_w R \beta E}{2\lambda(m+3)(1-\nu)} \left[ m - (m+2)\xi^2 \exp(-PdFo) + \frac{A(m)}{4} \times \frac{A(m) \exp(-A(m)Fo) - Pd \exp(-PdFo)}{A(m) - Pd} \left( \frac{m-(m+4)\xi^4}{m+5} - \frac{2m-2(m+2)\xi^2}{m+3} \right) \right],$$

$$\sigma_r(\xi, Fo, 1) = \frac{q_w R \beta E}{2\lambda(1-\nu)(m+)} \left[ (1 - \xi^2) \exp(-PdFo) + \frac{A(m)}{4} \times \frac{A(m) \exp(-A(m)Fo) - Pd \exp(-PdFo)}{A(m) - Pd} \left( \frac{1 - \xi^4}{m+5} - \frac{2(1 - \xi)^2}{m+3} \right) \right].$$

Аналогичным способом можно получить выражения для температурных напряжений в стенке трубы, вызванные переменной температурой жидкости внутри трубы или переменным тепловым потоком на внешней поверхности с отводом теплоты жидкостью, движущейся в трубе при постоянной температуре.

### Литература

1. Паркус Г. Неустановившиеся температурные напряжения // – М.: Изд. Физматгиз, 1963. – 252 с.
2. Цой П.В. Методы расчёта задач тепло-массоперенос // – М.: Изд. Энергоатомиздат, 1984. – 416 с.

УДК 517.948

## РАЗДЕЛИМОСТЬ ДЛЯ БИГАРМОНИЧЕСКОГО ОПЕРАТОРА С МАТРИЧНЫМ ПОТЕНЦИАЛОМ В ГИЛЬБЕРТОВОМ ПРОСТРАНСТВЕ

Каримов О.Х., Набиев Д.И.

*Институт математики имени А. Джуроева  
Национальной академии наук Таджикистана  
(г. Душанбе, Республика Таджикистан)*

**Аннотация.** В работе получены новые достаточные условия разделимости для бигармонического оператора с матричным потенциалом в гильбертовом пространстве.

**Ключевые слова:** бигармонический оператор, матричный потенциал, коэрцитивные неравенства, разделимость, гильбертово пространство.

# SEPARABILITY FOR A BIHARMONIC OPERATOR WITH A MATRIX POTENTIAL IN A HILBERT SPACE

O.H. Karimov, J.I. Nabiev  
*Institute of Mathematics after A. Dzhuraev of  
National Academy of Sciences of Tajikistan  
(Dushanbe, Tajikistan)*

**Annotation.** New sufficient separability conditions are obtained for a biharmonic operator with a matrix potential in a hilbert space.

**Keywords:** biharmonic operator, matrix potential, coercive inequalities, separability, hilbert spaces.

Термин "разделимость" был введён в научную литературу в фундаментальных работах В.Н. Эверитта и М. Гирца [1, 2], где исследуются делимость оператора Штурма-Лиувилля и его степеней. Дальнейшее развитие этой теории относится К.Х. Бойматову, М. Отелбаеву и их ученикам (см. [3-5]).

Разделимость дифференциальных выражений с частными производными впервые исследовалась в работе Бойматова К.Х. [4]. Разделимость бигармонического оператора ранее исследовалось в работах [6] и [7]. В настоящей работе мы исследуем делимость бигармонического оператора другим методом, отличным от метода работы [6], и нами получены новые достаточные условия делимости этого оператора в гильбертовом пространстве.

В пространстве  $L_2(R^n)^l$ , где  $l$ -некоторое натуральное число, рассмотрим бигармонический дифференциальный оператор

$$L[u] = \Delta^2 u(x) + q(x)u(x), \quad (1)$$

где  $\Delta$ - оператор Лапласа и значения  $q(x)$  ( $x \in R^n$ ) являются положительно-определенными эрмитовыми  $(l \times l)$  матрицами. За область определения оператора (1) примем множество всех  $u(x) \in L_2(R^n)^l \cap W_{2,loc}^4(R^n)^l$  таких, что  $L[u] \in L_2(R^n)^l$ .

**Определение.** Бигармонический оператор (1) называется делимым в пространстве  $L_2(R^n)^l$ , если для всех вектор-функций  $u(x) \in L_2(R^n)^l \cap W_{2,loc}^4(R^n)^l$  таких, что  $L[u] \in L_2(R^n)^l$  выполняются включения:

$$\Delta^2 u(x) \in L_2(R^n)^l, \quad q(x)u(x) \in L_2(R^n)^l.$$

Предположим, что  $q(x) = q^*(x) \in C^1(R^n, End C^l)$ . Вводим обозначение  $F(x_1, \dots, x_n) = q^{\frac{1}{2}}(x)$ , где  $q^{\frac{1}{2}}(x)$  определяется как квадратный корень от положительно определенной эрмитовой матрицы.

Будем говорить, что матрица-функция  $q(x)$  принадлежит к классу  $N_{\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3, \sigma_4}$ , если выполняются следующие условия:

$$\left\| F^{-\frac{1}{2}}(x) \frac{\partial^2 F(x)}{\partial x_i^2} F^{-\frac{3}{2}}(x) \right\| \leq \sigma_1, \forall x \in R^n, \quad (2)$$

$$\left\| F^{-\frac{1}{2}}(x) \frac{\partial F(x)}{\partial x_i} \frac{\partial u}{\partial x_i} \right\| \leq \sigma_2 \| F^{\frac{3}{2}} u \|, \forall x \in R^n, \quad (3)$$

$$\left\| q^{-\frac{1}{2}}(x) \frac{\partial^2 q(x)}{\partial x_i^2} q^{-1}(x) \right\| \leq \sigma_3, \forall x \in R^n, \quad (4)$$

$$\left\| q^{-\frac{1}{2}}(x) \frac{\partial q(x)}{\partial x_i} \frac{\partial u}{\partial x_i} \right\| \leq \sigma_4 \|qu\|, \forall x \in R^n, \quad (5)$$

где константы  $\sigma_3$  и  $\sigma_4$  удовлетворяют неравенству

$$\frac{\sigma_3}{2} + \sigma_4 < \frac{1}{n}$$

Теперь сформулируем основной результат настоящей работы.

**Теорема.** Пусть матрица-функция  $q(x)$  принадлежит классу  $N_{\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3, \sigma_4}$ . Тогда бигармонический оператор (1) разделяется в пространстве  $L_2(R^n)^l$ , и для всех решений  $u(x) \in L_2(R^n)^l \cap W_{2,loc}^4(R^n)^l$  уравнения

$$\Delta^2 u(x) + q(x)u(x) = f(x)$$

с правой частью  $f(x) \in L_2(R^n)^l$  выполняется следующее коэрцитивное неравенство

$$\begin{aligned} & \| \Delta^2 u(x); L_2(R^n)^l \| + \| q(x)u(x); L_2(R^n)^l \| + \\ & + \left\| \sum_{i=1}^n q^{\frac{1}{2}} \frac{\partial^2 u(x)}{\partial x_i^2}; L_2(R^n)^l \right\| \leq M \| f(x); L_2(R^n)^l \|, \end{aligned}$$

где положительное число  $M$  не зависит от  $u(x)$ ,  $f(x)$ .

### Литература

1. Everitt W.N., Gierz M. Some properties of the domains of certain differential operators // Proc. London Math.Soc. 1971, vol. 23, pp. 301-324.
2. Everitt W.N., Gierz M. Some inequalities associated with certain differential operators // Math. Z. 1972, vol. 126, pp. 308-326.
3. Бойматов К.Х. Теоремы разделимости, весовые пространства и их приложения // Труды Математического института имени В.А.Стеклова АН СССР. 1984. – Т. 170. – С. 37-76.
4. Отелбаев М. Коэрцитивные оценки и теоремы разделимости для эллиптических уравнений в  $R^n$  // Труды Математического института имени В.А. Стеклова АН СССР. 1983. – Т. 161. – С. 195-217.
5. Zayed E.M. E Separation for the biharmonic differential operator in the Hilbert space associated with the existence and uniqueness theorem // J. Math. Anal. Appl. 2008, 337, pp. 659-666.
6. Каримов О.Х. О коэрцитивных свойствах и разделимости бигармонического оператора с матричным потенциалом // Уфимский математический журнал. 2017. – Т. 9. – № 1. – С. 55-62.
7. Каримов О.Х., Набиев Дж. Коэрцитивные оценки и разделимость для бигармонического оператора в весовом пространстве // Материалы международной научно-теоретической конференции на тему «Актуальные проблемы математики в современное время», посвящ. 80-летию Кулябского государственного университета им. А.Рудаки и 85-летию д.ф.-м.н., профессора Р. Акбарова, Куляб, 22 февраля 2025 г. – С. 22-24.

## О ПРОСТОТЕ ДИАССОЦИАТИВНЫХ КВАЗИГРУПП 4-го ПОРЯДКА

Комилов О.О.

*Таджикский национальный университет  
(г. Душанбе, Республика Таджикистан)*

**Аннотация.** В работе исследуются конгруэнции класса диссоциативных квазигрупп порядка 4 и степени 3. С помощью разработанной компьютерной программы проверено, что данный класс квазигрупп не имеет конгруэнции. Доказано, что этот класс квазигрупп не имеет подквазигрупп и что этот класс квазигрупп является простым.

**Ключевые слова:** диассоциативная квазигруппа, конгруэнция, нормальная конгруэнция, подквазигруппа, криптография, простая квазигруппа.

## ON THE SIMPLICITY OF 4th ORDER DISSOCIATION QUASIGROUPS

O.O. Komilov

*Tajik National University  
(Dushanbe, Tajikistan)*

**Annotation.** In this paper, congruences of the class of dissociative quasigroups of order 4 and degree 3 are investigated. Using the developed computer program, it is verified that this class of quasigroups has no congruence. It is proved that this class of quasigroups has no subquasigroups and that this class of quasigroups is simple.

**Keywords:** diassociative quasigroup, congruence, normal congruence, subquasigroup, cryptography, simple quasigroup.

Одной из наиболее подходящих алгебраических структур для создания криптосистем являются конечные простые квазигруппы, так как их структура не может быть разложена на более простые компоненты, что даёт устойчивость к алгебраическим атакам. Так как, если аргументы операции окажутся элементами подквазигруппы, тогда исходный результат не выйдет за пределы подквазигруппы и сокращается пространство перебора. Этим упрощается процесс взлома. И такие квазигруппы связаны с отсутствием нетривиальных конгруэнций. Идентификация и анализ таких квазигрупп всё еще остается проблемой исследования.

Среди важных современных работ по приложению квазигрупп в криптографии стоит отметить работы М.М. Глухова [1], В.А. Шербакова [2] и В.А. Артамонова [3, 4], что свидетельствует о растущем внимании к данной теме.

Достаточно полную информацию о теории квазигрупп можно получить из монографии В.Д. Белоусова [5] и Р. Брака [6]. Алгебраический аппарат квазигрупп был построен В.Д. Белоусовым и его школой, а квазигруппы близкие к линейным, были исследованы ранее в работах Г.Б. Белявской и А.Х. Табари [7, 8].

Приведем некоторые основные понятия.

### Определение 1.

Группоид  $(Q, \cdot)$  называется квазигруппой, если для любых  $a, b \in Q$  уравнения

$$a \cdot x = b, y \cdot a = b \quad (1)$$

всегда разрешимы, причём однозначно. Квазигруппа  $(Q, \cdot)$  с единицей называется лупой [5]. Разрешимость в квазигруппах проверяется при помощи таблицы Кэли группоида  $(Q, \cdot)$ , где все элементы в каждой строке и в каждом столбце различны. В левом углу таблицы указывают знак операции (табл. 1).

**Таблица 1.** Таблица Кэли группоида  $(Q, \cdot)$

|         |          |         |          |
|---------|----------|---------|----------|
| $\cdot$ | $x_1$    | $\dots$ | $x_n$    |
| $x_1$   | $a_{11}$ | $\dots$ | $a_{1n}$ |
| $\cdot$ |          |         |          |
| $\cdot$ | $\dots$  | $\dots$ | $\dots$  |
| $\cdot$ |          |         |          |
| $x_n$   | $a_{n1}$ | $\dots$ | $a_{nn}$ |

Элементами квазигруппы  $Q$  являются  $x_1, \dots, x_n$ , каждая запись  $a_{ij}$  обозначает произведение  $x_i x_j$  в квазигруппе  $Q$ .

По таблице можно определить бинарные операции алгебраических структур, также целесообразно использовать её для идентификации квазигрупп малого порядка по тождествам и по наличию конгруэнции. Такие подходы используются автором в ранних работах [9]-[11].

Известно, что квазигруппа проста, если у неё нет собственных гомоморфизмов [12]. Также квазигруппы, не имеющие нетривиальных подквазигрупп, очевидно, являются простыми. Это определение простоты квазигруппы эквивалентно обычному определению в случае групп, а также определению, которое использовал для конечных квазигрупп Г.Н.Гаррисон [13], и определению, которое было использовано А.Альбертом [14] для луп.

### Определение 2.

Квазигруппа  $(Q, \cdot)$  называется диассоциативной степени  $k(l)$ , если в ней выполняются одновременно следующие тождества [15]:

$$[x, y^k] = ((\dots (\underbrace{xy}_{k\text{-раз}}) \dots) y) = x, \quad (2)$$

$$\{y^l, x\} = y (\dots (\underbrace{y(yx)}_{l\text{-раз}}) \dots) = x, \quad (3)$$

то есть  $[x, y^k] = x$  и  $\{y^l, x\} = x$ .

### Определение 3.

Подквазигруппа  $(H, \cdot)$  квазигруппы  $(Q, \cdot)$  называется нормальной, если существует такая нормальная конгруэнция  $\theta$  в  $(Q, \cdot)$ , что  $H$  совпадает с одним из классов конгруэнции по  $\theta$  [5].

### Определение 4.

Эквивалентность  $\theta$  является конгруэнцией группоида  $(Q, \cdot)$  [5], если следующие импликации верны для всех  $a, b, c \in Q$ :

$$a \theta b \Rightarrow (c \cdot a) \theta (c \cdot b), a \theta b \Rightarrow (a \cdot c) \theta (b \cdot c). \quad (4)$$

Конгруэнция  $\theta$  нормальна, если для всех  $x, y, z \in Q$  верны импликации:

$$(c \cdot a) \theta (c \cdot b) \Rightarrow a \theta b, (a \cdot c) \theta (b \cdot c) \Rightarrow a \theta b. \quad (5)$$

Понятие конгруэнции, фактор алгебры и гомоморфизма тесно связаны [6]. Любой гомоморфизм  $h$  группоида  $(Q, \cdot)$  определяет конгруэнцию  $\theta$  по следующему правилу:  $h(a) = h(b)$  для всех  $a, b \in Q$ . Конгруэнция  $\theta$  называется ядром гомоморфизма  $h$  и обозначается  $\ker(h)$ .

Далее в примере приведем конгруэнции некоторой квазигруппы.

**Пример 1.** Пусть  $(Q, \cdot)$  группоид представленной в следующей таблице Кэли:

**Таблица 2.** Группоид  $(Q, \cdot)$  4-го порядка

| $\cdot$ | 1 | 2 | 3 | 4 |
|---------|---|---|---|---|
| 1       | 1 | 3 | 4 | 2 |
| 2       | 3 | 1 | 2 | 4 |
| 3       | 4 | 2 | 1 | 3 |
| 4       | 2 | 4 | 3 | 1 |

Очевидно, что  $(Q, \cdot)$  квазигруппа 4-го порядка, диассоциативная степени 3 и коммутативна. То есть в  $(Q, \cdot)$  выполняются следующие тождества:

1.  $\forall x, y \in Q, ((xy)y)u = x, u(y(ux));$
2.  $\forall x, y \in Q, xy = ux.$

Для нахождения конгруэнции этой квазигруппы находим все возможные отношения эквивалентности, которые считаются разбиением  $Q$  на классы эквивалентности:

**Тривиальные разбиения** (универсальная и тождественная конгруэнция)

$\{1, 2, 3, 4\}$  - все элементы объединены в один класс эквивалентности

$\{1\}\{2\}\{3\}\{4\}$  — каждый элемент образует свой класс эквивалентности:  $\{1\}\{2\}\{3\}\{4\}$ .

**Таблица 3.** Нетривиальные разбиения

|                                                                                  |
|----------------------------------------------------------------------------------|
| Разбиение на два класса вида $\{a, b\}, \{c, d\}$ для всех возможных пар         |
| Разбиение на два класса вида $\{a, b, c\}, \{d\}$ , где $a, b, c, d \in Q$ .     |
| Разбиение на три класса вида $\{a, b\}, \{c\}, \{d\}$ , где $a, b, c, d \in Q$ . |

### Проверка согласованности с операцией

Теперь для каждого разбиения можно проверить конгруэнцию, нужно убедиться, что для любых  $a\theta b$  и  $c\theta d$  выполняются условия (4).

В нём все отношения нетривиальных разбиений не являются конгруэнциями.

В классе разбиений  $\{\{a, b\}, \{c, d\}\}$ , при  $\{\{1, 2\}, \{3, 4\}\}$ , когда  $1 \cdot 3 = 1, 2 \cdot 3 = 4$ , получим, что  $1 \not\sim 2$ . По классу  $\{\{1, 3\}, \{2, 4\}\}$  также, при  $1 \cdot 2 = 2, 3 \cdot 2 = 1$

получим  $2 \neq 1$ , в классе  $\{\{2,3\},\{1,4\}\}$ , когда  $2 \cdot 1 = 1, 3 \cdot 1 = 3$ , тогда  $1 \neq 3$ , т.е. получили также противоречие.

В то же время отношение  $\{\{a,b,c\},\{d\}\}$ , при  $\{\{1,2,3\},\{4\}\}$  не является конгруэнцией, так как  $1 \cdot 3 = 4, 2 \cdot 3 = 2$  и  $3 \cdot 3 = 1$ , где  $4 \neq 2$ , а  $2 \sim 1$ . Также при  $\{\{2,3,4\},\{1\}\}$ ,  $3 \cdot 2 = 2, 4 \cdot 2 = 4$ , где  $2 \neq 4$ . А при  $\{\{3,4,1\},\{2\}\}$  и  $\{\{4,1,2\},\{3\}\}$  также получим противоречие.

Остается только класс разбиения вида  $\{\{a,b\},\{c\},\{d\}\}$ . Легко можно проверить здесь, что в классе  $\{1,2\}$ ,  $1 \cdot 3 = 4, 2 \cdot 3 = 2$ , что даст  $4 \neq 2$ , а при  $\{1,3\}$ , получим  $1 \cdot 4 = 2, 3 \cdot 4 = 4$ , где  $2 \neq 4$ . В других комбинациях этого класса  $\{1,4\}$ ,  $\{2,3\}$ ,  $\{2,4\}$ ,  $\{3,4\}$  также получаем аналогичный отрицательный результат. Этим отвергается условие конгруэнции.

Видно, что коммутативная диассоциативная квазигруппа 4-го порядка степени 3  $(Q, \cdot)$  не имеет нетривиальных конгруэнций в виде разбиения по классам.

В работе [10] авторам были найдены все диассоциативные квазигруппы 4-го порядка степени 3. С целью классификации всех диассоциативных квазигрупп 4-го порядка по конгруэнциям составлен алгоритм и разработана программа на языке программирования. С помощью этой программы найдены все возможные классы разбиений для диассоциативных квазигрупп 4-го порядка степени 3.

Результат программы показал, что для всех диассоциативных квазигрупп порядка 4 степени 3 не существует нетривиальных конгруэнций в виде разбиения по классам из таблицы 3.

На основе этих исследований можно сформировать следующие предложение и следствие.

**Предложение.** Диассоциативная квазигруппа 4-го порядка степени 3 не имеет нетривиальных конгруэнций.

**Доказательство.** Доказательство очевидно. В квазигруппе 4-го порядка существует ровно 3 способа разбить множества на нетривиальные разбиения. Компьютерная проверка показала, что каждое из этих разбиений не является конгруэнцией, то есть для любого разбиения вида из таблицы 3 условие (4) невыполнимо.

**Следствие 1.** В каждой диассоциативной квазигруппе 4-го порядка степени 3 все нетривиальные разбиения по классам не составили конгруэнцию.

### **Проверка конгруэнции на нормальность**

Конгруэнция нормальна, если она соответствует смежным классам по некоторой нормальной подквазигруппе:

- найти подквазигруппу, соответствующую одному из классов эквивалентности;
- проверить, что классы эквивалентности совпадают со смежными классами по этой подквазигруппе.

То есть,  $a \theta b \leftrightarrow a \cdot N = b \cdot N$ , где  $a \cdot N = \{a \cdot n | n \in N\}$  - правый смежный класс элемента  $a$  по подквазигруппе  $N$  (аналогично определяется левый).

Известно, что порядок подквазигрупп равен или меньше половины порядка квазигрупп [16]. Далее можно рассмотреть, является ли класс  $\{a,b\} = \{1,2\}$

подквазигруппой. Очевидно, что  $1 \cdot 1 = 3$  не принадлежит  $\{1,2\}$ , поэтому  $\{1,2\}$  не является подквазигруппой. Также очевидно, что для класса  $\{c,d\}=\{3,4\}$  результат  $3 \cdot 3 = 1$  не принадлежит  $\{3,4\}$ , поэтому и  $\{3,4\}$  не является подквазигруппой. Аналогично проверим и другие классы  $\{1,3\}$ ,  $\{2,3\}$ ,  $\{2,4\}$ . Дальнейшие проверки показали, что и другие классы так же не являются подквазигруппами.

Ранее в работе [10] было доказано, что в классе диассоциативных квазигрупп 4-го порядка степени 3 отсутствуют нетривиальные собственные подквазигруппы, поэтому она простая. Но не было доказано, что этот класс квазигрупп не имеет рассмотрим конгруэнций.

**Следствие 2.** Класс диассоциативных квазигрупп 4-го порядка степени 3 не имеет подквазигрупп, она простая и также не имеет никаких конгруэнций.

### Литература

1. Глухов М.М. О применениях квазигрупп в криптографии [Текст] /М.М. Глухов // Прикладная дискретная математика. 2008. – № 2. – С. 28-32.
2. Shcherbacov V.A. Quasigroups in cryptology [Текст] / V.A. Shcherbacov // Comput. Sci. J. Moldova. 2009, V.17, No.2, pp. 193-228.
3. Артамонов В.А. Квазигруппы и их приложения [Текст] / В.А. Артамонов // Чебышевский сборник, 2018. – Т. 19. – Вып. 2. – С. 111-122.
4. Artamonov V.A., Chakrabarti S., Pal S.K. Characterization of Polynomially Complete Quasigroups based on Latin Squares for Cryptographic Transformations / V.A. Artamonov, S. Chakrabarti, S. K. Pal // Discrete Applied Mathematics, V. 200 (2016), P. 5-17.
5. Белоусов В.Д. Элементы теории квазигрупп [Текст] / В.Д. Белоусов // Кишинев. Изд.: КГУ, 1981. – 115 с.
6. Bruck R.H. A Survey of binary systems / R.H. Bruck // Berlin:Springer Verlag. 1958. P. 185.
7. Белявская Г.Б., Табаров А.Х. Тождества с подстановками, приводящие к линейности квазигрупп [Текст] / Г.Б. Белявская., А.Х. Табаров // Дискретная математика. РАН, 2009. – Т. 21. – Вып.1. – С. 39-54.
8. Белявская Г.Б., Табаров А.Х. Характеристика линейных и алинейных квазигрупп [Текст] / Г.Б. Белявская, А.Х. Табаров // Дискретная математика, РАН, 1992. – Т. 4. – Вып. 2. – С. 142-147.
9. Табари А.Х., Комилов О.О. Изотопия и автотопия диассоциативных квазигрупп 5 - го порядка // Вестник ТНУ. Серия естественных наук. 2021. – № 1. – С. 89- 101.
10. Комилов О.О. Диассоциативные квазигруппы малого порядка // Доклады НАНТ, 2020. – Т. 63. – № 11-12. – С. 665-671.
11. Комилов О.О. Об алгоритме нахождения перестановок 9-го порядка для автотопии диассоциативных квазигрупп// Вестник филиала Московского государственного университета имени М.В. Ломоносова в городе Душанбе. Серия естественных наук. 2023. – Т. 1. – № 2(31). – С. 33-42.
12. Bruck R.H. Simple quasigroups / R.H. Bruck // Bull. Amer. Math. Soc., 1944, Vol. 50, No. 10, pp. 769-781.

13. Garrison G.N. Quasigroups / G. N. Garrison // Ann. of Math. 1940, Vol. 41, pp. 474-484.
14. Albert A.A. Quasigroups, I. / A. A. Albert // Trans. Amer. Math. Soc. 1943, vol. 54(3), pp. 507-519.
15. Табаров А.Х., Каримов Ф. Линейные квазигруппы с дополнительными тождествами [Текст] / А.Х. Табаров, Ф. Каримов // Вестник ТНУ. Серия естественных наук, 2011. – № 2. – С. 3-7.
16. Bruck R.H. Simple quasigroups / R.H. Bruck // Bull. Amer. Math. Soc., 1944, vol. 50, No. 10, pp. 769-781.

УДК 004:63

## ИСТИФОДАИ ТЕХНОЛОГИЯҲОИ РАҚАМӢ ДАР СОҲАИ КИШОВАРӢ

**Қурбонов К.Ю.<sup>1</sup>, Бадалова Б.А.<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>*Донишгоҳи миллии Тоҷикистон*

<sup>2</sup>*Донишгоҳи аграрии Тоҷикистон ба номи Ширинишох Шохтемур  
(ш. Душанбе, Ҷумҳурии Тоҷикистон)*

**Аннотатсия.** Дар мақола масъалаи истифодаи технологияҳои рақамӣ дар соҳаи кишоварзӣ мавриди омӯзиш қарор гирифтааст. Муаллиф тасдиқ менамояд, ки истифодаи технологияҳои рақамӣ дар соҳаи кишоварзӣ имкониятҳои мусоидро барои соҳа фароҳам оварда, имконият медиҳад, ки ҳосилнокии зироатҳои кишоварзӣ, боғу тоқзор, саришумори чорво, маҳсулнокии чорво афзоиш ёфта, соҳаи тухминпарварӣ ва зотпарварӣ рушд ёбад, вай ба қоҳиш додани истифодаи об, нуриҳои минералӣ, таъсир ба муҳити зист, ҳароҷот, хатарҳо ва ғайраҳо мусоидат намуда, ба баланд бардоштани самаранокӣ ва рушди устувори соҳа оварда мерасонад.

**Калидвожаҳо:** соҳаи кишоварзӣ, технологияҳои рақамӣ, технологияи дақиқи зироатчиӣ, зеҳни сунъӣ, блокчейн, Интернет ашё, фермаи доно.

## ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ЦИФРОВОЙ ТЕХНОЛОГИИ В СЕЛЬСКОМ ХОЗЯЙСТВЕ

**Курбонов К.Ю.<sup>1</sup>, Бадалова Б.А.<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>*Таджикский национальный университет*

<sup>2</sup>*Таджикский аграрный университет имени Ширинишоха Шотемура  
(г. Душанбе, Республика Таджикистан)*

**Аннотация.** В статье рассматривается задача использования цифровых технологий в сельском хозяйстве. Авторы утверждают, что использование цифровых технологий в сельском хозяйстве создает благоприятные условия для отрасли, позволяет увеличивать урожайность сельскохозяйственных культур, садов и виноградников, поголовье скота, продуктивность скота, развития семеноводческий и селекционный отрасли. Это способствует снижению потребления воды, минеральных удобрений, воздействия на окружающую среду, затрат, рисков и т. д., что приводит к повышению эффективности и устойчивому развитию отрасли.

**Ключевые слова:** сельское хозяйство, цифровые технологии, технологии точного земледелия, искусственный интеллект, блокчейн, интернет вещей, умные фермы.

## USING DIGITAL TECHNOLOGY IN AGRICULTURE

K.Y. Kurbonov<sup>1</sup>, B.A. Badalova<sup>2</sup>

*Tajik National University<sup>1</sup>*

*Tajik agrarian University named after Shirinsho Shotemur<sup>2</sup>  
(Dushanbe, Tajikistan)*

**Annotation.** The article discusses the problem of using digital technologies in agriculture. The authors argue that the use of digital technologies in agriculture creates favorable conditions for the industry, allows increasing the yield of agricultural crops, orchards and vineyards, livestock, livestock productivity, and the development of the seed and breeding industries. This helps reduce the consumption of water, mineral fertilizers, environmental impact, costs, risks, etc., which leads to increased efficiency and sustainable development of the industry.

**Keywords:** Agriculture, digital technologies, precision farming technologies, artificial intelligence, blockchain, Internet of Things, smart farms.

### Мубраи

Дар замони имрӯза барои татбиқ намудани сиёсати хирадмандонаи Асосгузори сулҳу ваҳдати миллӣ - Пешвои миллат, Президенти Ҷумҳурии Тоҷикистон муҳтарам Эмомалӣ Раҳмон, баҳри иҷрои дастури супоришҳо оид ба соҳаи кишоварзӣ, ки дар он масъалаҳои баланд бардоштани ҳосилнокии зироатҳо ва боғу тоқзор, афзун намудани саршумори чорво, рушди соҳаи тухмипарварӣ ва зотпарварӣ, азхудкунии заминҳои нава ва зиёд намудани маҳсулнокии замин самтҳои афзалиятноки соҳа ба шумор меравад, ки амалишавии онҳо аз истифодаи технологияҳои замонавӣ, аз ҷумла технологияҳои рақамӣ вобаста мебошад. Ҳалли ин масъалаҳо имконият медиҳад, ки фазаи мусоиди иқтисодӣ фароҳам оварда шуда, ҳаҷми истеҳсоли маҳсулоти кишоварзӣ афзоиш ёфта, самаранокии соҳаи кишоварзӣ афзун гардида, рушди устувор ёбад ва шумораи нави ҷойҳои корӣ афзун гардад.

Мақсади таҳқиқот аз истифодаи технологияҳои рақамӣ дар соҳаи кишоварзӣ иборат мебошад.

### Натиҷаи таҳқиқот ва муҳокимаи он

Таҷрибаи кишварҳои пешрафтаи ҷаҳон нишон медиҳад, ки барои рушди устувори соҳаи кишоварзӣ истифодаи технологияҳои рақамӣ омили асосӣ ба ҳисоб рафта, вай унсури калидӣ ва қувваи асосии пешбарандаи рушди устувори соҳаи кишоварзӣ буда, истифодаи он фазаи мусоиди иқтисодиро барои соҳа фароҳам оварда, самаранокии соҳаро афзоиш медиҳад. Вай аз пайвастиҳо, равандҳо ва дастаи додаҳо иборат буда, асоси онҳоро усулҳои ташкилии ҷамъоварӣ, таҳлил ва интиқоли додаҳо ташкил медиҳанд.

Муаллифон қайд менамоянд, ки истифодаи технологияҳои рақамӣ на танҳо самаранокӣ дар соҳаи кишоварзӣ афзоиш медиҳад, балки ҳамчун воситаи муҳими рушди устувори соҳа амал намуда, барои таъмини мувозинат дар байни ҷанбаҳои иқтисодӣ, иҷтимоӣ ва экологии соҳаи кишоварзӣ хизмат менамояд.

Ҷанбаи экологии технологияҳои рақамӣ дар соҳаи кишоварзӣ бо он ифода меёбад, ки раванди истифодаи самаранокӣ об, нуриҳои минералӣ, энергия ва ғайраҳо оптималӣ карда шуда, зарар ба муҳити зист кам карда мешавад. Масалан, бо истифодаи сенсорҳо ва низоми идоракунии додаҳо дақиқ муайян карда

мешавад, ки дар кучо ва кай нуриҳо ё об истифода карда шавад, ки миқдори умумии истифодаи ин захираҳои сарфа карда шуда, партовҳои зиёдатӣ наштавад ва ифлосшавии муҳити атроф пешгирӣ карда шавад.

Ҷанбаи иқтисодии технологияҳои рақамӣ дар соҳаи кишоварзӣ ифодагарӣ он аст, ки маҳсулнокии меҳнат ва самаранокӣ баланд бардошта шуда, ба кам кардани хароҷоти истеҳсоли оварда мерасонад, инчунин имконият медиҳад, ки тамоюлҳои рушди истеҳсолоти кишоварзӣ пешгӯӣ карда шуда, захираҳои мавҷуда самаранок тақсим карда шаванд.

Ҷанбаи иҷтимоии технологияҳои рақамӣ дар соҳаи кишоварзӣ бо он ифода карда мешавад, ки дастрасӣ ба бозорҳои рақамӣ ва занҷирҳои шаффофи таъминоти соҳа таъмин карда шуда, имконият медиҳад, ки мавқеи иқтисодӣ ва устувории соҳа муайян карда шавад ва технологияҳои таълими фосилавӣ бошад, метавонанд дастрасии кормандони соҳаро оид ба технологияҳои замонавии соҳавӣ таъмин намуда, малакаҳои сокинони деҳотро баланд бардорад [1, с. 115-116].

Технологияҳои рақамӣ дорои унсурҳои гуогуни муосир аз қабili технологияи дақиқи зироатчигӣ, зехни сунъӣ, блокчейн, Интернет ашъ, фермаҳои доно ва ғайраҳо мебошад, ки истифодаи онҳо дар соҳаи кишоварзӣ ба натиҷаҳои баландтарин оварда мерасонад.

Технологияи дақиқи зироатчигӣ яке аз технологияи бештар дар соҳаи кишоварзӣ бо мақсади кам кардани хароҷот ва коҳиши хатарҳо истифода шаванда мебошад. Ин технология барои ташакули усулҳои дақиқ ва назоратшаванда истифода мебаранд ва вай имконият медиҳанд, ки обдиҳии оптималӣ, миқдори моддаҳои ғизоӣ, вақти кишту дарав, киштгардон ва ғайраҳо танзим карда шаванд. Ин равандҳо истеҳсолоти кишоварзиро самараноктар гардонид, ҳатто метавонанд барои пешгӯи намудани даромади сармоягузори ба зироатҳои мушаххас кӯмак намоянд [2, с. 297]. Вай бо ёрии зехни сунъӣ метавонанд самаранокии истифодаи захираҳо ва маҳсулнокии соҳаи кишоварзиро беҳтар намояд,

Зехни сунъӣ яке аз унсуре асосии технологияҳои рақамӣ буда, вай роботҳои мустақил, ҳавопаймоҳои бесарнишин, биниши компютерӣ, мониторинги хок ва зироатҳои кишоварзӣ, таҳлил ва пешгӯӣ ва ғайраҳо дарбар мегирад, ки истифодаи онҳо дар соҳаи кишоварзӣ ба натиҷаҳои назаррас оварда мерасонад ва онҳоро муаллиф мавриди омӯзиш қарор додааст [2, с. 295-297].

Блокчейн ин технологияҳое, ки як силсилаи пайдарпайи пайваستاи блокҳои махсус иборат буда, ҳар яки он таъиноти махсус дорад. Низомии блокчейн пайгирии занҷираи таъминотро беҳтар намуда, тарзи парвариш ва истеъмоли ғизоро тағйир дода, метавонанд таъсири муҳити зисти истеҳсоли анъанавии маҳсулотро коҳиш диҳад.

Интернет ашъ (IoT) як низомии дастгоҳҳои ҳисоббарории ба ҳам алоқаманд аст, ки метавонанд бидуни даҳолати инсон иттилоотро ба таври бесим ҷамъоварӣ ва интиқол диҳанд. Вай ҳамчун шабака, низом ё танҳо як гурӯҳи объектҳо ва дастгоҳҳои физикӣ ба Интернет ё шабакаҳои дигар пайваस्त карда мешавад. Истифодаи ин якчанд технология имконият дорад, ки иттилоотҳои объектҳои бидуни даҳолати инсон интиқол диҳад ва ё бо ҳамдигар ҳамкорӣ кунад.

Низоми Интернет ашё сенсорҳо(датчики) ва дастгоҳҳо дар бар мегирад, ки ҳамкориҳои онҳо тавассути пайвасти абрӣ амали карда мешавад. Пас аз он ки иттилоот ба абр дохил мегардад, вай тавассути воситаҳои барномавӣ коркард карда шуда, иҷрои амалҳои муайян амали карда мешавад. Низоми Интернет ашё (IoT) аз ҷаҳор ҷузъи ҷудогона зерин: дастгоҳи сенсорӣ, дастгоҳи пайваستшавӣ, воситаҳои коркарди иттилоот ва интерфейси истифодабаранда иборат мебошад ва он дар шакли формулавӣ намуди зерин дорад

$$\text{IoT} = \text{Сенсорҳо} + \text{Иттилоот} + \text{Шабакаҳо} + \text{Хизматрасониҳо}.$$

Фермаи доно як объекти кишоварзии пурра мустақили роботонидашуда мебошад, ки барои парвариши навъҳо ва зотҳои нави чорво дар речаи худкор бидуни иштироки инсон нигаронида шудааст ва дар он технологияҳои муосир барои баланд бардоштани самаранокӣ ва устувории истеҳсолоти истифода карда мешавад. Вай мустақилона таҳлили асосноки иқтисодии истеҳсолоти мақсаднок, ғаёлияти истемоли ва дигар нишондиҳандаҳои иқтисодиро бо истифодаи зеҳни сунӣ, интернет ашё, иттилооти калон, сети нейронӣ ва ғайраҳо амалӣ менамояд. Дар асоси ин таҳлил фермаи доно кадом намуд ё зоти чорворо, ки дорои нишондиҳандаҳои сифатӣ микдории хуб мебошад, парвариш карданро муайян менамояд. Ин технология имконият медиҳад, ки сабти электронӣ, ширчушӣ, муайянкунии гармӣ, вазнашӣ, ҷамъбасти автоматӣ, тақмили генетикӣ, ғизодиҳӣ, оптимизатсияи муҳити зисти чорво дар оғилхона, баҳисобгирии саломатии чорво ва ғайраҳо ба таври худкор амали карда шаванд.

### **Хулоса**

Истифодаи технологияҳои рақамӣ дар соҳаи кишоварзӣ имкониятҳои мусоидро барои соҳа фароҳам оварда, имконият медиҳад, ки ҳосилнокии зироатҳои кишоварзӣ, боғу тоқзор, саршумори чорво, маҳсулнокии чорво афзоиш ёфта, соҳаи тухмипарварӣ ва зотпарварӣ рушд ёбад, вай ба коҳиш додани истифодаи об, нуриҳои минералӣ, таъсир ба муҳити зист, хароҷот, хатарҳо ва ғайраҳо мусоидат намуда, ба баланд бардоштани самаранокӣ ва рушди устувори соҳа оварда мерасонад.

Боиси хушнуд, ки баъзеи ин технологияҳои рақамӣ дар соҳаи кишоварзӣ ҷумҳурии самаранок мавриди истифода қарор доранд.

### **Адабиёт**

1. Қурбонов К.Ю. Мавқеи технологияҳои рақамӣ дар соҳаи кишоварзӣ / К.Ю. Қурбонов // Тақмили баҳисобгирии муҳосибӣ ва низоми молиявӣ дар шароити иқтисодиёти рақамӣ (маводҳои конференсияи ҷумҳуриявии илмӣ-амалӣ), ДАТ ба номи Ш. Шотемур. 2024. – С. 115-117.
2. Қурбонов К.Ю. Истифодаи зеҳни сунӣ дар соҳаи кишоварзӣ / К.Ю. Қурбонов // Маводи конференсияи илмӣ амалӣ байналмилалӣ дар мавзӯи: «Нақши рақамикунонӣ ва низомҳои зеҳнӣ дар рушди иқтисодии Ҷумҳурии Тоҷикистон» (Бахшида ба “Бистсолаи омӯзиш ва рушди фанҳои табиатшиносӣ, дақиқ ва риёзӣ дар соҳаи илм ва маориф”, солҳои 2020-2040) 13 - декабри соли 2024, ДБССТ. 2024. – С. 295-297.

## НАҚШИ ТЕХНОЛОГИЯИ ИННОВАТСИОНӢ ДАР ФАӢОЛИЯТИ КОРХОНАӢОИ КИШОВАРЗӢ

Курбонова Ф.К.

*Донишгоҳи аграрии Тоҷикистон ба номи Шириншох Шохтемур  
(ш. Душанбе, Ҷумҳурии Тоҷикистон)*

**Аннотатсия.** Дар мақола масъалаи нақши технологияи инноватсионӣ дар фаъолияти корхонаҳои кишоварзӣ мавриди омӯзиши қарор гирифтааст. Муаллиф тасдиқ менамояд, ки дар замони муосир нақши технологияи инноватсионӣ дар фаъолияти корхонаҳои кишоварзӣ бениҳоят калон буда, истифодаи вай имконият медиҳад, ки самаранокии истеҳсолот афзоиш ёфта, назорат ва мониторинг беҳтар гардад, банақшагирию назорат таъмин карда шуда, захираҳо сарфакорона истифода гардад, маҳсулоти кишоварзии аз ҷиҳати экологӣ тозаӣ ватанӣ афзоиш ёбад, навъҳои нави растани ва дарахтони мевагӣ, зотҳои хуби чорвою навъҳои маҳсулнокиаш баланди парранда пайдо гардад.

**Калидвожаҳо:** фаъолияти корхонаҳои кишоварзӣ, технологияи инноватсионӣ, ҳосилнокии зироатҳои кишоварзӣ, навъҳои нави растани ва дарахтони мевагӣ, зотҳои хуби чорво, навъҳои маҳсулнокиаш баланди парранда.

## РОЛЬ ИННОВАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ В ДЕЯТЕЛЬНОСТИ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ

Курбонова Ф.К.

*Таджикский аграрный университет имени Шириншоха Шохтемура  
(г. Душанбе, Республика Таджикистан)*

**Аннотация.** В статье рассматривается роль инновационных технологий в деятельности сельскохозяйственных предприятий. Автор подтверждает, что в настоящее время роль инновационных технологий в деятельности сельскохозяйственных предприятий чрезвычайно велика, а их использование позволяет повысить эффективность производства, улучшить контроль и мониторинг, обеспечить планирование и надзор, экономно использовать ресурсы, увеличить выпуск отечественной экологически чистой сельскохозяйственной продукции, а также создавать новые сорта растений и плодовых деревьев, хорошие породы скота и высокопродуктивные сорта птицы.

**Ключевые слова:** деятельность сельскохозяйственных предприятий, инновационные технологии, урожайность сельскохозяйственных культур, новые сорта растений и плодовых деревьев, перспективные породы скота, высокопродуктивные породы птицы.

## THE ROLE OF INNOVATIVE TECHNOLOGIES IN THE ACTIVITIES OF AGRICULTURAL ENTERPRISES

F.K. Kurbonova

*Tajik agrarian University named after Shirinsho Shotemur  
(Dushanbe, Tajikistan)*

**Annotation.** The article examines the role of innovative technologies in the activities of agricultural enterprises. The author confirms that at present the role of innovative technologies in the activities of agricultural enterprises is extremely high, and their use allows to increase production efficiency, improve control and monitoring, ensure planning and supervision, use resources economically, increase the output of domestic environmentally friendly agricultural products, and create new varieties of plants and fruit trees, good livestock breeds and highly productive poultry breeds.

**Keywords:** activities of agricultural enterprises, innovative technologies, crop yields, new varieties of plants and fruit trees, promising livestock breeds, highly productive poultry breeds.

**Мубраммӣ.** Корхонаҳои кишоварзӣ дар Ҷумҳурии Тоҷикистон пойгоҳи асосии таъмини аҳолии мамлакат бо маҳсулоти кишоварзии аз ҷиҳати экологӣ тоза ва маҳсулотҳои аз онҳо тайёркарда шуда ва соҳаи саноат бо ашёи хом ба шумор меравад, лекин ҳосилнокии зироатҳои кишоварзӣ, маҳсулнокии чорво ва ба содирот баровардани маҳсулоти кишоварзӣ дар сатҳи зарурӣ қарор надорад. Таҷрибаи мамлакатҳои рушдёфтаи ҷаҳон нишон медиҳад, ки ҳалли ин масъалаҳо бо истифодаи технологияи инноватсионӣ вобаста буда, истифодаи онро Асосгузори сулҳу ваҳдати миллӣ – Пешвои миллат, Президенти Ҷумҳурии Тоҷикистон мухтарам Эмомалӣ Раҳмон дар пайёми худ дар бораи самтҳои асосии сиёсати дохилӣ ва хориҷии ҷумҳурӣ 28 декабри соли 2024 якбори дигар таъкид намуданд ва вай имконият медиҳад, ки ҳаҷми маҳсулоти кишоварзӣ афзун гардида, таъмини бехатарии озуқаворӣ, талаботи аҳолии мамлакат бо маҳсулоти кишоварзии аз нигоҳи экологӣ тозаи истеҳсоли ватанӣ, саноат бо ашёи хоми ҷавобгӯ ба талаботҳои меъёри стандартҳои ҷаҳонӣ, рақобатпазирӣ ба содирот баровардани маҳсулоти кишоварзӣ таъмин гардад ва вай ба рушди устувори корхонаҳои кишоварзӣ мусоидат менамояд.

**Мақсади таҳқиқот** аз таҳқиқи нақши технологияи инноватсионӣ дар фаъолияти корхонаҳои кишоварзӣ иборат мебошад.

**Натиҷаи таҳқиқот ва муҳокимаи он.** Технологияи инноватсионӣ омили муҳимест, ки ба баланд бардоштани фаъолияти самараноки корхонаҳои кишоварзӣ, истеҳсолот, мутобиқшавии онҳо ба тағйирёбии муҳити иқтимоӣ, иқтисодӣ ва экологӣ, талаботи афзояндаи истеъмолкунандагон таъсир расонида, ба баландшавии рақобатнокии маҳсулоти кишоварзӣ, ки вай талаботи асосии бозори замонавии имрӯза мебошад, мусоидат менамояд. Оид ба ин масъала дар Стратегияи миллии рушди Ҷумҳурии Тоҷикистон барои давраи то соли 2030 таъкид карда шудааст, ки «васеъ намудани саҳм дар таъмини мавҷудият ва кофӣ будани маҳсулоти хӯроквории аз ҷиҳати экологӣ тоза, сифат ва бехатарии он тавассути гузариш ба сатҳи баланди саноатикунонӣ ва рушди устувори соҳаи кишоварзӣ аз ҷорӣ намудани технологияҳои инноватсионӣ вобаста мебошад» [1], ки амали намудани вай яке аз омили асосии таъмини устувори фаъолияти корхонаҳои кишоварзӣ ба шумор меравад.

Технологияи инноватсионӣ дар фаъолияти корхонаҳои кишоварзӣ барои ҳалли масъалаҳои зерин равона карда мешавад: • истифодаи биотехнология барои пайдоиши маҳсулоти кишоварзии хушсифат; • пайдо намудани навъҳои нави тухмӣ ва зироатҳои ба шароитҳои табиӣ мутобиқгашта; • зотҳои нави чорвои маҳсулнокиаш баланд; • технологияи нави ғимоякунандаи хоки замин; • технологияи нигоҳдорӣ, сарфаи захираҳои истеҳсолӣ ва маҳсулоти кишоварзӣ; • усулҳои гуногуни ташкили истеҳсолоти кишоварзӣ, аз ҷумла усулҳои нав барои корхонаҳои кишоварзӣ мутобиқгашта; • муносибат ба баланд бардоштани таҳассумандии ҳаёти кормандон ва тайёркунии онҳо ва ғайраҳо.

Барои муайян намудани нақши технологияи инноватсионӣ дар фаъолияти корхонаҳои кишоварзӣ нишондиҳандаҳои омории ҳосилнокии зироатҳо ва маҳсулнокии чорвои корхонаҳои кишоварзиро дар давраи солҳои 2005-2022

мавриди омӯзиш қарор медиҳем, зеро имрӯз истифодаи технологияи инноватсионӣ ба ин нишондиҳандаҳои корхонаҳои кишоварзӣ бештар таъсир мерасонад. Қайд намудан зарур аст, ки то соли 2010 дар фаъолияти корхонаҳои кишоварзӣ технологияи инноватсионӣ истифода карда намешуд, баъди соли 2010 бо дастгирии Ҳукумати Ҷумҳурии Тоҷикистон дар фаъолияти корхонаҳои кишоварзӣ кишвар истифодаи технологияи инноватсионӣ оғоз гардид ва имрӯз бо суръати муайян амали шуда истодааст.

Ҳосилнокии зироатҳои корхонаҳои кишоварзӣ яке аз нишондиҳандаи асосии фаъолияти корхонаҳои кишоварзӣ буда, вай дар чадвали 1 оварда шудааст.

Таҳлили чадвали 1. нишон медиҳад, ки ҳосилнокии зироатҳои кишоварзӣ дар давоми солҳои таҳқиқшаванда ба истиснои картошка тамоюли афзоиш доранд.

**Чадвали 1. - Ҳосилнокии зироатҳои корхонаҳои кишоварзӣ, с/га**

| Номгӯи зироатҳо           | Солҳо |       |       |       |       | Соли 2010<br>нисбат ба соли<br>2005 |          | Соли 2022<br>нисбат ба соли<br>2010 |          | Фарқияти соли<br>2022/2010<br>нисбат ба соли<br>2010/2005 |          |
|---------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------------------------------------|----------|-------------------------------------|----------|-----------------------------------------------------------|----------|
|                           | 2005  | 2010  | 2015  | 2020  | 2022  | Мутлақ, с/г                         | Нисбӣ, % | Мутлақ, с/г                         | Нисбӣ, % | Мутлақ, с/г                                               | Нисбӣ, % |
| Ғалладона ва<br>лӯбиёӣ    | 19,7  | 24,1  | 27,7  | 31,1  | 33,3  | 4,4                                 | 22,3     | 9,2                                 | 38,2     | 4,8                                                       | 109,1    |
| Пахта                     | 15,6  | 19,3  | 17,3  | 21,4  | 22,7  | 3,7                                 | 23,7     | 3,4                                 | 17,6     | -0,3                                                      | -8,1     |
| Картош-<br>ка             | 196,2 | 229,7 | 221,7 | 187,2 | 191,1 | 33,5                                | 17,0     | -38,6                               | -16,8    | -72,1                                                     | -15,2    |
| Сабзавот                  | 186,8 | 205,8 | 247,9 | 274,2 | 286,1 | 19,0                                | 10,1     | 80,3                                | 39,0     | 61,3                                                      | 322,6    |
| Полизии<br>озуқавӣ        | 145,7 | 204,2 | 233,4 | 266,8 | 312,4 | 58,5                                | 40,2     | 108,2                               | 53,0     | 49,7                                                      | 85,0     |
| Мева ва<br>бутта-<br>мева | 24,3  | 30,4  | 33,2  | 42,9  | 43,9  | 6,1                                 | 25,1     | 13,5                                | 44,4     | 7,4                                                       | 121,3    |
| Ангур                     | 28,8  | 40,8  | 64,2  | 69,0  | 84,7  | 12,0                                | 41,6     | 43,9                                | 107,6    | 31,9                                                      | 265,8    |

*Манбаъ:* Ҳисоби муаллиф дар асоси нишондиҳандаҳои омории Кишоварзии Ҷумҳурии Тоҷикистон

соли 2010 саҳ 189-218, соли 2015 саҳ 187-216 соли 2023 саҳ. 185 - 214.

Масалан, агар ҳосилнокии зироати ғалладона ва лубиёӣ дар соли 2005 19,7 сентнер/гектарро ташкил дода бошад, пас вай дар соли 2010 ба 24,1 сентнер/гектар, пахта аз 15,6 сентнер/гектар то ба 19,3 сентнер/гектар, картошка аз 196,2 сентнер/гектар то ба 191,1 сентнер/гектар, сабзавот аз 186,8 сентнер/гектар то ба 205,8 сентнер/гектар, полезии озуқаворӣ аз 145,7 сентнер/гектар то ба 204,2 сентнер/гектар, мева ва буттамева аз 24,3 сентнер/гектар то ба 30,4 сентнер/гектар ва ангур аз 28,8 сентнер/гектар то ба 40,8 сентнер/гектар расидааст. Агар ба афзоиши мутлақ ва нисбӣ нигарем соли 2010 нисбат ба соли 2005 ҳосилнокии зироати ғалладона ва лубиёӣ 4,4 сентнер/гектар ё 22,3 %, пахта 3,7 сентнер/гектар ё 23,7%, картошка 33,5 сентнер/гектар ё 17,0%, сабзавот 19,0 сентнер/гектар ё 10,1%, полезии озуқаворӣ 58,5 сентнер/гектар ё 40,2%, мева ва буттамева 6,1 сентнер/гектар ё 25,1% ва ангур 12,0 сентнер/гектар ё 41,6% афзоиш ёфтааст.

Агар ҳосилнокии зироати ғалладона ва лубиёӣ дар соли 2010 27,7 сентнер/гектарро ташкил дода бошад, пас вай дар соли 2022 ба 33,3 сентнер/гектар, инчунин пахта аз 19,3 сентнер/гектар то ба 21,4 сентнер/гектар, сабзавот аз 205,8 сентнер/гектар то ба 286,1 сентнер/гектар, полезии озуқаворӣ аз 204,2 сентнер/гектар то ба 312,4 сентнер/гектар, мева ва буттамева аз 30,4 сентнер/гектар то ба 43,9 сентнер/гектар ва ангур аз 40,8 сентнер/гектар то ба 84,7 сентнер/гектар расида, ҳосилнокии картошка аз 196,2 сентнер/гектар то ба 191,1 сентнер/гектар кам гаштааст. Афзоиши мутлақ ва нисбӣ бошад, дар соли 2022 нисбат ба соли 2010 ҳосилнокии зироати ғалладона ва лубиёӣ 9,2 сентнер/гектар ё 38,2%, пахта 3,4 сентнер/гектар ё 17,6%, сабзавот 80,3 сентнер/гектар ё 39,0%, полезии озуқаворӣ 108,2 сентнер/гектар ё 53,0%, мева ва буттамева 13,5 сентнер/гектар ё 44,4% ва ангур 43,9 сентнер/гектар ё 107,6% афзоиш ёфта ҳосилнокии картошка 36,8 сентнер/гектар ё 16,8% коҳиш ёфтааст.

Аз таҳлили муқоисовии ҳосилнокии зироатҳои кишоварзӣ баъди истифода шудани технологияи инноватсионӣ, ки вай на дар ҳамаи корхонаҳои кишоварзӣ истифода карда мешавад ва то истифодаи технологияи инноватсионӣ дар фаъолияти корхонаҳои кишоварзӣ, яъне фарқияти соли 2022/2010 нисбат ба соли 2010/2005 бармеояд, ки ба истиснои ҳосилнокии пахтаю картошка тамоюли хуби афзоиш дорад. Масалан, афзоиши мутлақ ва нисбии ҳосилнокии зироати ғалладона ва лубиёӣ 4,8 сентнер/гектар ё 109,1 %, сабзавот 61,3 сентнер/гектар ё 322,6%, полезии озуқаворӣ 49,7 сентнер/гектар ё 85,0%, мева ва буттамева 7,4 сентнер/гектар ё 121,3% ва ангур 31,9 сентнер/гектар ё 265,8% афзоиш ёфта, ҳосилнокии пахта 0,3 сентнер/гектар ё 8,1%, картошка 72,1 сентнер/гектар ё 15,2% кам гаштааст.

Маҳсулнокии чорвои корхонаҳои кишоварзӣ низ барои рушди онҳо саҳми босазо доранд ва вай дар ҷавдали 2. нишон дода шудааст.

Аз маълумотҳои ҷадвали 2. бармеояд, ки маҳсулнокии чорво дар давоми солҳои таҳқиқшаванда тамоюл ноустувор дорад. Дар соли 2010 нисбат ба соли 2005, яъне то истифодаи технологияи инноватсионӣ дар фаъолияти корхонаҳои кишоварзӣ ширдӯшӣ аз як сар модагов 181 кг ё 11,3 % кам гашта, тухмгирӣ аз як сар мурғи тухмдиханда 40 дона ё 32,5% афзоиш ёфта, пашмтарошӣ аз як сар ғӯсфанд бетағйир мондааст.

Дар соли 2022 нисбат ба соли 2010, яъне баъди истифодаи технологияи инноватсионӣ дар фаъолияти корхонаҳои кишоварзӣ маҳсулнокии чорво тамоюди афзоиш дорад. Масалан, ширдӯшӣ аз як сар модагов ширдӯшӣ 545 кг ё 38,5 %, тухмгирӣ аз як сар мурғи тухмдиханда 110 дона ё 67,5%, пашмтарошӣ аз як сар гӯсфанд 0,3 кг ё 17,6% афзоиш ёфтааст.

Аз ин таҳлили муқоисавии фарқияти соли 2022/2010 нисбат ба соли 2010/2005 бармеояд, ки маҳсулнокии чорвои корхонаҳои кишоварзӣ тамоюли хуби афзоиш дошта, ширдӯшӣ аз як сар модагов 726 кг ё 56,2 %, тухмгирӣ аз як сар мурғи тухмдиханда 70 дона ё 26,4%, пашмтарошӣ аз як сар гӯсфанд 0,3 кг ё 17,6% афзоиш ёфтааст (ҷадвали 2), ки дар он нақши технологияи инноватсионӣ калон мебошад.

**Ҷадвали 2.** Маҳсулнокии чорвои корхонаҳои кишоварзӣ

| Номгӯи зироатҳо                            | Солҳо |      |      |      |      | Соли 2010 нисбат ба соли 2005 |          | Соли 2022 нисбат ба соли 2010 |          | Фарқияти соли 2022/2010 нисбат ба соли 2010/2005 |          |
|--------------------------------------------|-------|------|------|------|------|-------------------------------|----------|-------------------------------|----------|--------------------------------------------------|----------|
|                                            | 2005  | 2010 | 2015 | 2020 | 2022 | Мутлақ                        | Нисбӣ, % | Мутлақ                        | Нисбӣ, % | Мутлақ                                           | Нисбӣ, % |
| Ширдӯшӣ аз як сар модагов, кг              | 1597  | 1416 | 1680 | 1889 | 1961 | 181                           | 11,3     | 545,0                         | 38,5     | 726,0                                            | 56,2     |
| Тухмгирӣ аз як сар мурғи тухмдиханда, дона | 123   | 163  | 220  | 231  | 273  | 40,0                          | 32,5     | 110,0                         | 67,5     | 70,0                                             | 26,4     |
| Пашмтарошӣ аз як сар гӯсфанд, кг           | 1,7   | 1,7  | 1,8  | 2,0  | 2,0  | 0                             | 0        | 0,3                           | 17,6     | 0,3                                              | 17,6     |

*Манбаъ:* Ҳисоби муаллиф дар асоси нишондиҳандаҳои омори Кишоварзии Ҷумҳурии Тоҷикистон соли 2010 саҳ. 292-294, соли 2015 саҳ. 290-292, соли 2023 саҳ. 289-291.

**Хулоса.** Ҳамин тариқ, дар замони муосир нақши технологияи инноватсионӣ дар фаъолияти корхонаҳои кишоварзӣ бениҳоят калон буда, истифодаи вай имконият медиҳад, ки самаранокии истеҳсолот афзоиш ёфта, назорат ва мониторинг беҳтар гардад, банақшагирию назорат таъмин карда шуда, захираҳо сарфакорона истифода гардад, маҳсулоти кишоварзии аз ҷиҳати экологӣ тозаи ватанӣ афзоиш ёбад, навъҳои нави растанӣ ва дарахтони мевагӣ, зотҳои хуби чорвою навъҳо маҳсулнокиаш баланди парранда пайдо гардад.

### Адабиёт

1. Стратегияи миллии рушди Ҷумҳурии Тоҷикистон барои давраи то соли 2030 // – Душанбе, 2016. – С. 80.
2. Кишоварзии Ҷумҳурии Тоҷикистон //Маҷмуаи омори. – Душанбе: Агентии омили назди Президенти Тоҷикистон, 2023. – 368 с.

# ЗАДАЧА РИМАНА И ЕЁ РЕШЕНИЕ ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ ДВУМЕРНЫХ СИНГУЛЯРНЫХ ИНТЕГРАЛЬНЫХ ОПЕРАТОРОВ

Одинабеков Д.М.<sup>1</sup>, Зарифбеков М.Ш.<sup>2</sup>

<sup>1</sup>*Филиал Московского государственного университета  
имени М.В. Ломоносова в городе Душанбе*

<sup>2</sup>*Технологический университет Таджикистана  
(г. Душанбе, Республика Таджикистан)*

**Аннотация.** В работе исследуется задача Римана для единичного круга с двумя неизвестными функциями. Одна из функций аналитически продолжается внутри круга, а другая – вне его, при этом на границе выполняются определенные условия. Решение таких задач используется при исследовании двумерных сингулярных интегральных операторов.

**Ключевые слова:** задача Римана, единичный круг, аналитическая функция, комплексные полиномы, корень многочлена, полюс.

## RIEMANN PROBLEMS AND ITS SOLUTION FOR THE STUDY OF TWO-DIMENSIONAL SINGULAR INTEGRAL OPERATORS

D.M. Odinabekov<sup>1</sup>, M.Sh. Zarifbekov<sup>2</sup>

*Lomonosov Moscow State University in Dushanbe<sup>1</sup>*

*Technological University of Tajikistan<sup>2</sup>  
(Dushanbe, Tajikistan)*

**Annotation.** The paper studies the Riemann problem for a unit circle with two unknown functions. One of the functions is analytically continued inside the circle, and the other is continued outside it, while certain conditions are satisfied on the boundary. The solution of such problems is used in the study of two-dimensional singular integral operators.

**Keywords:** Riemann problem, unit circle, analytic function, complex polynomials, root of a polynomial, pole

В единичном круге рассмотрим следующую задачу:

$$\begin{cases} \Phi_1^-(t) = P_4(z, t)\Phi_1^+(t) + Q_4(z, t)\Phi_2^+(t) \\ \Phi_2^-(t) = \overline{Q_4(z, t)}\Phi_1^+(t) + \overline{P_4(z, t)}\Phi_2^+(t), \end{cases} \quad (1)$$

здесь  $\Phi_1^+(t)$ ,  $\Phi_2^+(t)$ ,  $\Phi_1^-(t)$ ,  $\Phi_2^-(t)$  – неизвестные функции точек окружности  $|t|=1$ , аналитически продолжимые по  $t$  соответственно внутри и вне единичного круга,

$$P_4(z, t) = t^{-2} \sum_{n=-2}^2 a_n(z)t^{2+n}, \quad Q_4(z, t) = t^{-2} \sum_{n=-2}^2 b_n(z)t^{2-n}.$$

Решение подобных задач и методы исследования сингулярных интегральных уравнений, которые играют ключевую роль в теории операторов и решении краевых задач, рассматривались в работах [1] – [2].

Для разрешимости задачи (1) необходимо, чтобы

$$\det G(z, t) = \begin{vmatrix} P_4(z, t) & Q_4(z, t) \\ \overline{Q_4(z, t)} & \overline{P_4(z, t)} \end{vmatrix} = |P_4(z, t)|^2 - |Q_4(z, t)|^2 \neq 0. \quad (2)$$

Тогда из (2) вытекает, что  $P_4(z, t)$ ,  $Q_4(z, t)$  – есть комплексные полиномы четвертой степени. Пусть  $q_k$  ( $k = 1, 2, 3, 4$ ) комплексные корни уравнения  $P_4(z, t) = 0$ . Согласно

$$\det G(z, t) > 0, \text{ то есть } |P_4(z, t)| > |Q_4(z, t)| \quad \forall z \in \bar{D} \quad (3)$$

эти корни не лежат на окружности  $|t| = 1$ , то есть  $|q_k| \neq 1$ .

Возможно, априори 5 случаев:

$j_0$ )  $|q_k| > 1$ ,  $k = 1, 2, 3, 4$  то есть все корни лежат вне круга  $|t|=1$ ;

$j_\nu$ )  $|q_k| < 1$ ,  $k = 1, \dots, \nu$ , то есть внутри круга  $|t|=1$  лежат  $\nu$  ( $1 \leq \nu \leq 4$ ) корней. (4)

Рассмотрим случай  $j_0$ ) то есть, когда многочлен  $P_4(z, t)$  внутри  $|t| < 1$  корней не имеет,  $|q_k| > 1$   $k = 1, 2, 3, 4$ .

В первом равенстве системы (1) слева стоит аналитически продолжимая вне единичного круга функция, а правая часть аналитически продолжима внутри единичного круга функция, за исключением точки  $t = 0$ , где она имеет полюс второго порядка, поэтому из теоремы Лиувилля будет следовать

$$P_4(z, t)\Phi_1^+(t) + Q_4(z, t)\Phi_2^+(t) = c_1 + \frac{c_2}{t} + \frac{c_3}{t^2},$$

$$\Phi_1^-(t) = c_1 + \frac{c_2}{t} + \frac{c_3}{t^2}.$$

Найдя функцию  $\Phi_1^+(t)$ , получим:

$$\Phi_1^+(t) = \frac{c_1 + \frac{c_2}{t} + \frac{c_3}{t^2}}{P_4(z, t)} - \frac{Q_4(z, t)}{P_4(z, t)} \Phi_2^+(t). \quad (5)$$

Подставим это значение во второе равенство системы (1), получим

$$\begin{aligned} \Phi_2^-(t) &= \overline{Q_4(z, t)}\Phi_1^+(t) + \overline{P_4(z, t)}\Phi_2^+(t) = \\ &= Q_4(z, t) \left[ \frac{c_1 + \frac{c_2}{t} + \frac{c_3}{t^2}}{P_4(z, t)} - \frac{Q_4(z, t)}{P_4(z, t)} \Phi_2^+(t) \right] + \overline{P_4(z, t)}\Phi_2^+(t) = \\ &= \frac{\overline{Q_4(z, t)}}{P_4(z, t)} \left( c_1 + \frac{c_2}{t} + \frac{c_3}{t^2} \right) - \frac{|Q_4(z, t)|^2}{P_4(z, t)} \Phi_2^+(t) + \overline{P_4(z, t)}\Phi_2^+(t) = \\ &= \frac{\overline{Q_4(z, t)}}{P_4(z, t)} \left( c_1 + \frac{c_2}{t} + \frac{c_3}{t^2} \right) + \left( \frac{|P_4(z, t)|^2 - |Q_4(z, t)|^2}{P_4(z, t)} \right) \Phi_2^+(t) = \\ &= \frac{\overline{Q_4(z, t)}}{P_4(z, t)} \left( c_1 + \frac{c_2}{t} + \frac{c_3}{t^2} \right) + \frac{\det G_A(z, t)}{P_4(z, t)} \Phi_2^+(t). \end{aligned}$$

Воспользуемся тем, что  $\det G(z, t) \equiv |P_4(z, t)|^2 - |Q_4(z, t)|^2$  представляется в виде  $\frac{F^+(t)}{F^-(t)}$ , где  $F^+(t) \neq 0$ ,  $F^-(t) \neq 0$  – аналитически продолжимые соответственно внутри и вне единичного круга функции, будем иметь:

$$\Phi_2^-(t) = \frac{\overline{Q_4(z, t)}}{P_4(z, t)} \left( c_1 + \frac{c_2}{t} + \frac{c_3}{t^2} \right) + \frac{F^+(t)}{F^-(t)P_4(z, t)} \Phi_2^+(t).$$

Отсюда

$$\Phi_2^-(t) - \frac{\overline{Q_4(z, t)}}{P_4(z, t)} \left( c_1 + \frac{c_2}{t} + \frac{c_3}{t^2} \right) = \frac{F^+(t)}{F^-(t)P_4(z, t)} \Phi_2^+(t).$$

$$F^-(t) \left[ \Phi_2^-(t) - \frac{\overline{Q_4(z, t)}}{P_4(z, t)} \left( c_1 + \frac{c_2}{t} + \frac{c_3}{t^2} \right) \right] = \frac{F^+(t)}{P_4(z, t)} \Phi_2^+(t).$$

Левая часть последнего равенства аналитически продолжима вне единичного круга, а правая часть продолжима внутри единичного круга функция, за исключением точки  $t = q_1, t = q_2, t = \frac{1}{q_3}, t = \frac{1}{q_4}$ , где она имеет простой полюс, поэтому из теоремы Лиувилля следует

$$\begin{aligned} F^-(t) \left[ \Phi_2^-(t) - \frac{\overline{Q_4(z, t)}}{P_4(z, t)} \left( c_1 + \frac{c_2}{t} + \frac{c_3}{t^2} \right) \right] &= \frac{F^+(t)}{P_4(z, t)} \Phi_2^+(t) = \\ &= c_4 + \frac{c_5}{t - q_1} + \frac{c_6}{t - q_2} + \frac{c_7}{t - \frac{1}{q_3}} + \frac{c_8}{t - \frac{1}{q_4}}, \end{aligned}$$

то есть

$$\begin{aligned} \Phi_2^-(t) &= \frac{\overline{Q_4(z, t)}}{P_4(z, t)} \left( c_1 + \frac{c_2}{t} + \frac{c_3}{t^2} \right) + \\ &+ \frac{1}{F^-(t)} \left( c_4 + \frac{c_5}{t - q_1} + \frac{c_6}{t - q_2} + \frac{c_7}{t - \frac{1}{q_3}} + \frac{c_8}{t - \frac{1}{q_4}} \right) \end{aligned} \quad (6)$$

$$\Phi_2^+(t) = \frac{P_4(z, t)}{F^-(t)} \left( c_4 + \frac{c_5}{t - q_1} + \frac{c_6}{t - q_2} + \frac{c_7}{t - \frac{1}{q_3}} + \frac{c_8}{t - \frac{1}{q_4}} \right) \quad (7)$$

Подставив выражение для  $\Phi_2^+(t)$  в (5), получим

$$\begin{aligned} \Phi_1^+(t) &= \frac{c_1 + \frac{c_2}{t} + \frac{c_3}{t^2}}{P_4(z, t)} - \frac{Q_4(z, t)}{P_4(z, t)} \times \\ &\times \frac{P_4(z, t)}{F^+(t)} \left( c_4 + \frac{c_5}{t - q_1} + \frac{c_6}{t - q_2} + \frac{c_7}{t - \frac{1}{q_3}} + \frac{c_8}{t - \frac{1}{q_4}} \right) = \\ &= \frac{c_1 + \frac{c_2}{t} + \frac{c_3}{t^2}}{P_4(z, t)} - \frac{Q_4(z, t)}{F^+(t)} \left( c_4 + \frac{c_5}{t - q_1} + \frac{c_6}{t - q_2} + \frac{c_7}{t - \frac{1}{q_3}} + \frac{c_8}{t - \frac{1}{q_4}} \right) \end{aligned} \quad (8)$$

Отсюда свободные константы  $c_7$  и  $c_8$  – однозначно и безусловно находятся по формулам

$$\begin{aligned} c_7 &= \frac{\overline{Q\left(\frac{1}{q_3}\right)} F^-\left(\frac{1}{q_3}\right)}{a_2(1 - q_1 q_3)(1 - q_2 q_3)(q_3 - q_4)}, \\ c_8 &= \frac{\overline{Q\left(\frac{1}{q_4}\right)} F^-\left(\frac{1}{q_4}\right)}{a_2(1 - q_1 q_4)(1 - q_2 q_4)(q_4 - q_3)} \end{aligned}$$

Положив сначала  $c_1 = 1, c_2 = 0$ , а затем, наоборот  $c_1 = 0, c_2 = 1$ , найдем элементы матрицы  $\Phi^+(t)$ :

$$\Phi^+(t) = \begin{pmatrix} \frac{1}{P_4(t)} - \frac{Q_4(t)}{F^+(t)} \alpha & \frac{b_1 t + b_2}{P_4(t) b_1 t^2} - \frac{Q_4(t)}{F^+(t)} \beta \\ \frac{P_4(t)}{F^+(t)} \alpha & \frac{P_4(t)}{F^+(t)} \alpha \end{pmatrix}$$

где

$$\begin{aligned} \alpha &= \frac{F^+(q_1)(1 + tq_1 - q_1^2)}{Q_4(q_1) a_2 q_1 (q_1 - q_2)(1 - q_3 q_1)(1 - q_4 q_1)} + \\ &+ \frac{F^+(q_2)(1 + tq_2 - q_2^2)}{Q_4(q_2) a_2 q_2 (q_2 - q_1)(1 - q_3 q_2)(1 - q_4 q_2)} + \\ &+ \frac{Q_4\left(\frac{1}{q_3}\right) F^-\left(\frac{1}{q_3}\right) (q_3^2 + tq_3 - 1)}{a_2 q_3 (1 - q_2 q_3)(1 - q_1 q_3)(q_3 - q_4)} + \frac{Q_4\left(\frac{1}{q_4}\right) F^-\left(\frac{1}{q_4}\right) (q_4^2 + tq_4 - 1)}{a_2 q_4 (1 - q_2 q_4)(1 - q_1 q_4)(q_4 - q_3)}, \\ \beta &= \frac{F^+(0)}{a_2 q_1 q_2} + \frac{F^+(q_1)(q_1 + b_2 + b_1 t q_1^3 - b_1 q_1^4)}{Q_4(q_1) a_2 b_1 q_1^3 (q_1 - q_2)(1 - q_1 q_3)(1 - q_1 q_4)} + \\ &+ \frac{F^+(q_2)(b_1 q_1 + b_2 + b_1 q_1^2 q_2 t - b_1 q_1^2 q_2^2)}{Q_4(q_2) a_2 b_1 q_1^2 q_2 (q_2 - q_1)(1 - q_2 q_3)(1 - q_2 q_4)} + \\ &+ \frac{Q_4\left(\frac{1}{q_3}\right) F^-\left(\frac{1}{q_3}\right) (q_3^2 + tq_3 - 1)}{a_2 q_3 (1 - q_2 q_3)(1 - q_1 q_3)(q_3 - q_4)} + \frac{Q_4\left(\frac{1}{q_4}\right) F^-\left(\frac{1}{q_4}\right) (q_4^2 + tq_4 - 1)}{a_2 q_4 (1 - q_2 q_4)(1 - q_1 q_4)(q_4 - q_3)} \end{aligned}$$

Определить матрицы отличается от нуля, то есть

$$\det \Phi^+(t) = \frac{1}{F^+(t)} \left( \beta - \frac{(b_1 t + b_2) \alpha}{b_1 t^2} \right) \neq 0.$$

Аналогично находятся элементы матрицы  $\Phi^-(t)$ :

$$\Phi^-(t) = \begin{pmatrix} 1 & \frac{1}{t} + \frac{b_2}{b_1 t^2} \\ \frac{1}{F^-(t)} \alpha & \frac{1}{F^-(t)} \beta \end{pmatrix}$$

Определитель этой матрицы  $\det \Phi^-(t) = \frac{b_1 t^2 \beta - b_1 t \alpha - b_2 \alpha}{b_1 t^2 F^-(t)}$  также отличен от нуля.

Теперь предполагаем, что два корня уравнения  $P_4(z, t) = 0$  то есть  $q_1$  и  $q_2$  лежат внутри единичного круга. В этом случае

$$P_4(z, t) = a_2(z)(t - q_1)(t - q_2), \quad Q_4(z, t) = b_2(z)(t - g_1)(t - g_2)$$

Левая часть равенства (5) аналитически продолжима вне единичного круга, а правая — аналитически продолжимая внутри единичного круга функция, за исключением точки  $t = q_1$  и  $t = q_2$ , где она имеет простой полюс, поэтому из теоремы Луивилля будет следовать

$$\begin{aligned} \Phi_1^+(t) &= \frac{c_1 + \frac{c_2}{t} + \frac{c_3}{t^2}}{a_2(z)(t - q_1)(t - q_2)} - \frac{b_2(z)(t - g_1)(t - g_2)}{a_2(z)(t - q_1)(t - q_2)} \Phi_2^+(t) \\ \Phi_{21}^+ &= \frac{P_4(t)}{F^+(t)} \left[ \frac{1}{q(t - q_1) a_{11}} + \frac{1}{q_2(t - q_2) a_{22}} \right]. \end{aligned} \quad (9)$$

При  $c_1^2 = 0, c_3^2 = 1$ , имеем

$$c_2^2 = -(g_1 + g_2), c_5^2 = \frac{1}{q_1 a_{11}} \left( \frac{1}{q_1} - (g_1 + g_2) \right), c_6^2 = \frac{1}{q_2 a_{22}} \left( \frac{1}{q_2} - (g_1 + g_2) \right),$$

$$c_4^2 = \frac{1}{a_{11}} \left( \frac{1}{q_1} - (g_1 - g_2) \right) + \frac{1}{q_2^2 a_{22}} \left( \frac{1}{q_2} - (g_1 - g_2) \right) + \frac{F^+(0)}{a_2 b_2 - q_1 q_2}.$$

Остальные случаи рассматриваются с использованием аналогичной методологии.

Поэтому класс матричных полиномов из множества матричных полиномов, удовлетворяющих условию (2), для которого имеет место один из случаев (4), будем обозначать соответственно через  $\mathcal{M}_{j\nu}, \nu = 0, 1, 2, 3, 4$ .

Введем обозначения

$$\Delta_\nu = |a_\nu|^2 - |b_\nu|^2, \quad \lambda_{\nu n} = \bar{a}_\nu a_n - b_\nu \bar{b}_n, \quad \mu_{\nu n} = \bar{a}_\nu b_n - b_\nu \bar{a}_n,$$

$$M(z) = \max_{|t|=1} \operatorname{Re} \left( \sum_{j=1}^4 \lambda_j t^j \right), \quad \nu = 0, \pm 1, \pm 2, \quad n = 0, \pm 1, \pm 2,$$

### Теорема 1.

Для разрешимости задачи (1) необходимо и достаточно выполнение одного из следующих (взаимоисключающих) условий:

$$\Delta_0 > M(z) + (M^2(z) + \sum_{n=-2}^2 (|\mu_{0n}(z)|^2 - |\nu_{0n}(z)|^2))^{\frac{1}{2}}, \quad \text{при } \forall z \in \bar{D}, \quad (10)$$

$$\Delta_\nu > M(z) + \left( M^2(z) + \sum_{n=-m}^m (|\mu_{\nu n}(z)|^2 - |\nu_{\nu n}(z)|^2) \right)^{\frac{1}{2}}, \quad \nu = \pm 1, \pm 2,$$

$$\prod_{k=1}^{\nu} Q_4(\tau, q_k(\tau)) \neq 0, \quad \text{при } \forall z \in \bar{D} \text{ и } \tau \in \Gamma, \quad (11)$$

где  $q_k(\tau)$ - корни уравнения  $P_4(\tau, t) = 0$ ,  $\tau \in \Gamma$ ,  $|t| = 1$ , такие, что  $|q_k(\tau)| < 1$  для  $\forall \tau \in \Gamma$ .

### Литература

1. Гахов Ф.Д. Краевые задачи// М. Изд.: Наука, 1977. — 640 с.
2. Мусхелишвили Н.И. Сингулярные интегральные уравнения. М.: Наука. 1966. — 512 с.

## СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ МЕТОДОВ МАШИННОГО ОБУЧЕНИЯ ДЛЯ ЗАДАЧИ БИНАРНОЙ КЛАССИФИКАЦИИ ТОНАЛЬНОСТИ ТЕКСТОВ

Раджабова Д.И.

*Филиал Московского государственного университета  
имени М.В. Ломоносова в городе Душанбе  
(г. Душанбе, Республика Таджикистан)*

**Аннотация.** В данной статье рассматриваются методы анализа тональности текста с использованием машинного обучения. Основное внимание уделено четырем моделям: логистической регрессии, наивному байесовому классификатору, случайному лесу и линейной опорной векторной машине (SVM). Для векторизации текста используется метод TF-IDF, который преобразует текст в числовое представление, что позволяет моделям делать предсказания на основе анализа частоты слов и их взаимосвязей. В статье также приводится описание приложений, которое демонстрирует работу этих моделей на практике. Результаты экспериментов показали, что каждую модель можно использовать для анализа интонации текстов с разной эффективностью, что подчеркивает важность выбора подходящего метода в зависимости от специфики задачи.

**Ключевые слова:** анализ тональности, машинное обучение, классификация текста, TF-IDF, логистическая регрессия, наивный байесовский классификатор, случайный лес, линейная опорная векторная машина, векторизация текста, анализ отзывов.

## COMPARATIVE ANALYSIS OF MACHINE LEARNING METHODS FOR THE TASK OF BINARY CLASSIFICATION OF SENTIMENT ANALYSIS

D.I. Radjabova

*Lomonosov Moscow State University in Dushanbe  
(Dushanbe, Tajikistan)*

**Annotation.** This paper discusses methods for sentiment analysis using machine learning techniques. The focus is on four models: Logistic Regression, Naive Bayes Classifier, Random Forest, and Linear Support Vector Machine (SVM). The TF-IDF method is used for text vectorization, which transforms the text into a numerical representation, enabling the models to make predictions based on word frequencies and their relationships. The paper also describes an application that demonstrates the practical use of these models. The results of the experiments show that each model can be used for sentiment analysis with varying effectiveness, highlighting the importance of choosing the appropriate method depending on the specific task.

**Keywords:** sentiment analysis, machine learning, text classification, TF-IDF, logistic regression, naive bayes classifier, random forest, linear support vector machine, text vectorization, review analysis.

**Введение.** В эпоху цифровой трансформации объем текстовой информации, генерируемой пользователями на различных платформах, постоянно растет. Миллионы отзывов оставляются ежедневно на сайтах электронной коммерции (например, Amazon), киноплатформах (например, IMDb) и в социальных сетях. Эти текстовые данные содержат значимый объем информации о предпочтениях, опыте и мнениях пользователей, что делает их ценным источником для анализа.

Однако, масштаб и неструктурированность текстовых данных затрудняют их ручную обработку, что обуславливает необходимость применения автоматизированных методов анализа.

Одним из наиболее востребованных направлений обработки естественного языка (Natural Language Processing, NLP) является анализ тональности текста (Sentiment Analysis) – задача, направленная на определение эмоциональной окраски текста. Чаще всего данная задача сводится к классификации текста на три категории: положительная, отрицательная и нейтральная тональность. В рамках данной работы рассматривается бинарная классификация, где текстовые данные делятся на положительные и отрицательные отзывы [1, 2].

Анализ тональности находит широкое применение в различных областях:

- Бизнес-аналитика и маркетинг: Компании используют анализ отзывов для оценки удовлетворенности клиентов и выявления ключевых факторов, влияющих на восприятие продукта.
- Обслуживание клиентов: Автоматическое выявление негативных отзывов позволяет оперативно реагировать на проблемы пользователей и повышать качество обслуживания.
- Социальная аналитика: Мониторинг общественного мнения по актуальным темам, включая политические события, экономические тенденции и общественные настроения.

Для решения задачи анализа тональности применяются различные методы машинного обучения. В данной работе будут рассмотрены классические алгоритмы, такие как логистическая регрессия (Logistic Regression), наивный байесовский классификатор (Naive Bayes), случайный лес (Random Forest) и линейный метод опорных векторов (Linear SVC). Особое внимание будет уделено этапам предварительной обработки текста и методам его векторизации, таким как TF-IDF (Term Frequency-Inverse Document Frequency) и CountVectorizer.

В рамках работы также реализовано локальное интерактивное приложение на Tkinter, позволяющее ввести отзыв и моментально предсказать его тональность. Это приложение служит для демонстрации работы обученной модели в реальном времени, что упрощает проверку и интерпретацию результатов.

Цель данной работы — провести сравнительный анализ различных методов классификации текстов по тональности, оценить их эффективность с использованием стандартных метрик (Accuracy, Precision, Recall, F1-score) и выявить оптимальные подходы для решения данной задачи. Дополнительно будут рассмотрены способы интерпретации результатов, включая визуализацию часто встречающихся слов с помощью WordCloud и анализ ошибок моделей на основе ложноположительных (False Positives) и ложноотрицательных (False Negatives) предсказаний.

Таким образом, работа представляет собой комплексное исследование методов анализа тональности, включающее в себя полный цикл разработки модели: от подготовки данных и обучения до оценки и интерпретации результатов.

**Подготовка данных.** На этапе подготовки данных использовался датасет с платформы IMDb, содержащий отзывы и их тональность (положительная или отрицательная). Основные шаги предварительной обработки включали очистку текста и приведение его к нормализованному виду.

### 1. Загрузка данных

Датасет загружается с использованием библиотеки `pandas`, после чего проводится первичный анализ структуры данных (рис. 1).

```
import pandas as pd

df = pd.read_csv("IMDB Dataset.csv")
df.head()
```

Executed at 2025.03.03 08:02:49 in 3s 280ms

|   | review                                                                             | sentiment |
|---|------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| 0 | One of the other reviewers has mentioned that after watching just 1 Oz episode ... | positive  |
| 1 | A wonderful little production. <br /><br />The filming technique is very unassu... | positive  |
| 2 | I thought this was a wonderful way to spend time on a too hot summer weekend, s... | positive  |
| 3 | Basically there's a family where a little boy (Jake) thinks there's a zombie in... | negative  |
| 4 | Petter Mattei's "Love in the Time of Money" is a visually stunning film to watc... | positive  |

Рисунок 1

### 2. Очистка текста

На данном этапе применяются методы очистки, включающие удаление HTML-разметки, ссылок и специальных символов. Также производится приведение текста к нижнему регистру и лемматизация (приведение слов к начальной форме) с использованием библиотеки `nlTK` (рис. 2).

```
nlTK.download('stopwords')
nlTK.download('wordnet')

stop_words = set(stopwords.words('english'))
lemmatizer = WordNetLemmatizer()

def clean_text(text):
    text = BeautifulSoup(text, "html.parser").get_text()
    text = re.sub(r'http\S+', '', text)
    text = re.sub(r'^a-zA-Z\s', '', text)
    text = text.lower()
    words = text.split()
    words = [lemmatizer.lemmatize(w) for w in words if w not in stop_words]
    return ' '.join(words)
```

Рисунок 2

### 3. Преобразование меток классов

Значения целевой переменной (тональность отзыва) преобразуются в числовой формат: положительные отзывы кодируются как 1, отрицательные — как 0 (рис. 3).

```
df['cleaned_text'] = df['review'].apply(clean_text)
df['sentiment'] = df['sentiment'].map({'positive': 1, 'negative': 0})
```

Рисунок 3.

Таким образом, на данном этапе производится всесторонняя предварительная обработка текстовых данных, что позволяет повысить качество последующего обучения моделей машинного обучения.

## Методы классификации

### 1. Логистическая регрессия (Logistic Regression)

Логистическая регрессия — это метод классификации, который используется для предсказания вероятности принадлежности объекта к одному из двух классов. Он основан на логистической функции (или сигмоидной функции), которая преобразует линейную комбинацию признаков в значение, находящееся в пределах от 0 до 1. Алгоритм обучается с помощью оптимизации функции потерь, которая минимизирует ошибку предсказания (рис. 4).

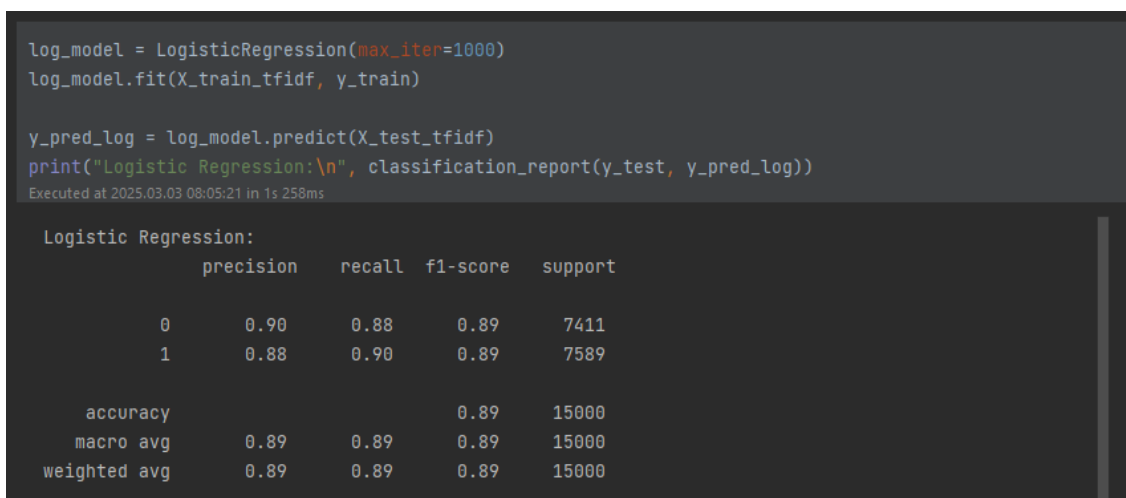


Рисунок 4.

Этот метод широко используется в задачах бинарной классификации, таких как предсказание болезни (здоров/болен), спам-фильтрация (спам/не спам) и т. д.

Преимуществами данной модели являются простота и эффективность для бинарных задач классификации, быстрое обучение, если количество признаков не слишком велико, а также интерпретации коэффициентов модели как влияния признаков на вероятность.

### 2. Наивный Байес (Naive Bayes)

Наивный Байес основывается на теореме Байеса, которая позволяет вычислять вероятность принадлежности объекта к определенному классу на основе вероятности появления признаков в разных классах. Модель предполагает независимость признаков, что делает её "наивной", но при этом она может хорошо работать в ряде задач, например, при обработке текстов (рис. 5).

```
nb_model = MultinomialNB()
nb_model.fit(X_train_tfidf, y_train)

y_pred_nb = nb_model.predict(X_test_tfidf)
print("Multinomial Naive Bayes:\n", classification_report(y_test, y_pred_nb))
```

Executed at 2025.03.03 08:05:21 in 130ms

|                          |           |        |          |         |
|--------------------------|-----------|--------|----------|---------|
| Multinomial Naive Bayes: |           |        |          |         |
|                          | precision | recall | f1-score | support |
| 0                        | 0.85      | 0.85   | 0.85     | 7411    |
| 1                        | 0.85      | 0.86   | 0.85     | 7589    |
| accuracy                 |           |        | 0.85     | 15000   |
| macro avg                | 0.85      | 0.85   | 0.85     | 15000   |
| weighted avg             | 0.85      | 0.85   | 0.85     | 15000   |

Рисунок 5.

Наивный байесовский классификатор используется для обработки текстов, таких как классификация электронной почты как "спам" или "не спам". В этом случае признаки — это слова, встречающиеся в тексте, а классы — это категории текста (например, спам и не спам).

Сильными сторонами данной модели являются простота и быстрота работы, высокое качество работы с текстовыми данными и задачами с большими объемами данных, небольшие затраты вычислительных ресурсов и объема памяти.

### 3. Случайный лес (Random Forest)

Случайный лес — это ансамблевый метод, который строит несколько деревьев решений и агрегирует их предсказания для получения более стабильных и точных результатов. Каждое дерево обучается на случайной подвыборке данных, что помогает уменьшить переобучение и повысить обобщающую способность модели (рис. 6).

```
rf_model = RandomForestClassifier(n_estimators=100, random_state=42)
rf_model.fit(X_train_tfidf, y_train)

y_pred_rf = rf_model.predict(X_test_tfidf)
print("Random Forest:\n", classification_report(y_test, y_pred_rf))
```

Executed at 2025.03.03 08:10:05 in 4m 44s 379ms

|                |           |        |          |         |
|----------------|-----------|--------|----------|---------|
| Random Forest: |           |        |          |         |
|                | precision | recall | f1-score | support |
| 0              | 0.84      | 0.86   | 0.85     | 7411    |
| 1              | 0.86      | 0.84   | 0.85     | 7589    |
| accuracy       |           |        | 0.85     | 15000   |
| macro avg      | 0.85      | 0.85   | 0.85     | 15000   |
| weighted avg   | 0.85      | 0.85   | 0.85     | 15000   |

Рисунок 6

Достоинствами данной модели служат высокая устойчивость к переобучению, возможность беспрепятственной работы с большим количеством признаков, а также легкость масштабирования модели на большие данные.

## 4. Линейный метод опорных векторов (Linear SVC)

Метод опорных векторов (SVM) является мощным методом классификации, который ищет гиперплоскость, разделяющую данные на два класса с максимальным зазором. Линейный SVM (Linear SVC) используется для линейно разделяемых данных, где гиперплоскость может разделить два класса без ошибок (рис. 7).

```
svm_model = LinearSVC()
svm_model.fit(X_train_tfidf, y_train)

y_pred_svm = svm_model.predict(X_test_tfidf)
print("Linear SVC:\n", classification_report(y_test, y_pred_svm))
```

Executed at 2025.03.03 08:10:07 in 1s 418ms

Linear SVC:

|              | precision | recall | f1-score | support |
|--------------|-----------|--------|----------|---------|
| 0            | 0.88      | 0.87   | 0.88     | 7411    |
| 1            | 0.88      | 0.89   | 0.88     | 7589    |
| accuracy     |           |        | 0.88     | 15000   |
| macro avg    | 0.88      | 0.88   | 0.88     | 15000   |
| weighted avg | 0.88      | 0.88   | 0.88     | 15000   |

Рисунок 7.

Положительными моментами использования модели являются эффективность в задачах с большим числом признаков, а также качество результата, в случаях, когда классы хорошо разделимы [2–4].

### Векторизация текста

Векторизация текста — это процесс преобразования текстовых данных в числовые представления, которые могут быть использованы в машинном обучении. Для текстовых данных существует несколько популярных методов векторизации, каждый из которых имеет свои преимущества и ограничения. Рассмотрим три популярных метода: TF-IDF, CountVectorizer, и Word2Vec / GloVe (рис. 8).

```
vectorizer = TfidfVectorizer(max_features=5000)
X_train_tfidf = vectorizer.fit_transform(X_train)
X_test_tfidf = vectorizer.transform(X_test)

print("Размерности данных после TF-IDF:", X_train_tfidf.shape, X_test_tfidf.shape)
```

Executed at 2025.03.03 08:05:20 in 17s 415ms

Размерности данных после TF-IDF: (35000, 5000) (15000, 5000)

Рисунок 8

### 1. TF-IDF (Term Frequency - Inverse Document Frequency)

Метод TF-IDF оценивает важность слова в документе на основе его частоты в документе и в других документах коллекции. Он состоит из двух компонентов:

- TF (Term Frequency)

это частота слова в документе, которая рассчитывается как количество вхождений слова в документ, делённое на общее количество слов в этом документе.

- **IDF (Inverse Document Frequency)**

это обратная частота документа для данного слова. Она измеряет важность слова в контексте всей коллекции документов. Слово, которое часто встречается в большинстве документов, будет иметь низкое значение IDF, а слово, которое встречается редко, будет иметь высокое значение IDF. Таким образом, TF-IDF позволяет выделить значимые слова, которые встречаются часто в одном документе, но реже в других документах.

**Формула для вычисления TF-IDF:**

$$TF - IDF(w, d) = TF(w, d) \times \log\left(\frac{N}{DF(w)}\right)$$

где  $w$  — слово,

$d$  — документ,

$N$  — общее количество документов,

$DF(w)$  — количество документов, содержащих слово  $w$ .

Преимущества метода TF-IDF заключаются в том, что он помогает выделять важные слова, игнорируя те, которые часто встречаются в тексте, но не несут значимой информации, такие как "и", "в", "на". Это позволяет снизить влияние общих слов и сделать акцент на более специфических и информативных. Однако, этот метод имеет и свои недостатки. Он не учитывает порядок слов в предложении, что приводит к утрате информации о синтаксической и семантической структуре текста. Кроме того, для обработки больших объемов данных его вычислительная сложность может быть довольно высокой.

## **2. CountVectorizer**

Метод CountVectorizer преобразует текст в матрицу признаков, где каждый признак представляет собой количество вхождений слова в документ. Таким образом, CountVectorizer использует просто частоту появления слов, без учета того, насколько они важны в контексте всей коллекции.

Метод CountVectorizer отличается простотой реализации и отлично подходит для задач, где важна частота появления слов в тексте. В отличие от TF-IDF, CountVectorizer не учитывает обратную частоту документов, что делает его менее эффективным для выделения редких, но значимых слов. Например, слова, которые часто встречаются, такие как "и", "или", "в", будут иметь такую же важность, как и более редкие, но информативные слова. Этот метод позволяет быстро и просто преобразовать текст в числовые данные и хорошо работает с текстами, где частота слов сама по себе является важным индикатором. Однако он не исключает часто встречающиеся слова, которые могут быть неинформативными, и не учитывает связи между словами.

## **3. Word2Vec / GloVe**

Методы Word2Vec и GloVe — это более сложные методы представления слов, которые учитывают контекст, в котором встречаются слова. Эти модели обучаются на больших текстовых данных и используют контекстное окно для

построения векторных представлений слов, где похожие слова оказываются векторами, близкими по смыслу.

- Word2Vec использует нейронные сети для обучения словесных представлений, в которых слова, использующиеся в похожих контекстах, будут иметь схожие векторы.

- GloVe (Global Vectors for Word Representation) использует статистику на основе матрицы слов и контекстов, создавая глобальные представления слов.

Методы Word2Vec и GloVe учитывают контекст слов, что позволяет моделям лучше распознавать семантические связи между ними. Они могут выявлять скрытые зависимости, например, как "король - мужчина + женщина = королева". Эти модели более гибкие и подходят для разных типов текстов. Однако обучение таких моделей требует значительных вычислительных ресурсов и больших объемов данных. В отличие от TF-IDF и CountVectorizer, которые фокусируются на частоте слов, Word2Vec и GloVe захватывают семантические отношения между словами, что делает их более мощными для обработки сложных языковых данных, таких как синонимы и контекст.

Методы векторизации текста, такие как TF-IDF, CountVectorizer, и Word2Vec / GloVe, имеют свои преимущества и ограничения, и их выбор зависит от конкретной задачи. TF-IDF эффективен для выделения важности слов, CountVectorizer прост и быстрый, а Word2Vec / GloVe позволяет учитывать скрытые зависимости и контекст слов. Выбор метода векторизации должен базироваться на требованиях задачи и особенностях текстовых данных [3–5].

### **Оценка модели**

Оценка качества модели является важным этапом в анализе её эффективности. Для этого применяются различные метрики и методы, которые помогают понять, насколько хорошо модель справляется с задачей. Рассмотрим основные метрики и способы их использования на основе вашего кода.

#### **1. Точность (Accuracy), Precision, Recall, F1-Score**

Точность (accuracy) — это доля правильно предсказанных меток среди всех предсказаний. Однако, если классы в данных несбалансированы, точность может быть не самым информативным показателем. Поэтому важно учитывать другие метрики, такие как Precision, Recall и F1-Score.

Precision (точность) измеряет, какой процент предсказанных положительных случаев действительно является положительными. Это важно, когда ошибки типа ложных положительных (False Positives) могут быть критичными.

Recall (полнота) измеряет, какой процент всех реальных положительных случаев был правильно найден моделью. Это важно, когда важно не пропустить ни одного положительного случая.

F1-Score — это гармоническое среднее Precision и Recall, что дает сбалансированную оценку модели в случаях, когда необходимо учитывать оба этих аспекта.

Для каждого из моделей в вашем коде, таких как логистическая регрессия, наивный байесовский классификатор, случайный лес и линейный метод опорных векторов (SVC), мы можем вывести точность, используя функцию `accuracy_score` из библиотеки `sklearn` (рис. 9):

```
models = {
    "Logistic Regression": log_model,
    "Naive Bayes": nb_model,
    "Random Forest": rf_model,
    "Linear SVC": svm_model
}

for name, model in models.items():
    y_pred = model.predict(X_test_tfidf)
    acc = accuracy_score(y_test, y_pred)
    print(f"{name} Accuracy: {acc:.4f}")
Executed at 2025.03.03 08:10:09 in 2s 251ms

Logistic Regression Accuracy: 0.8896
Naive Bayes Accuracy: 0.8527
Random Forest Accuracy: 0.8521
Linear SVC Accuracy: 0.8815
```

Рисунок 9.

## 2. ROC-кривая и AUC

ROC-кривая (Receiver Operating Characteristic curve) — это график, который показывает соотношение между чувствительностью (Recall) и спецификой (1 - False Positive Rate). По сути, это визуализация работы модели на разных порогах классификации. AUC (Area Under Curve) представляет собой площадь под ROC-кривой и может быть использован для количественной оценки качества модели. Чем выше значение AUC (от 0 до 1), тем лучше модель.

## 3. Анализ ошибок

Для анализа ошибок важно использовать матрицу ошибок (confusion matrix), которая позволяет наглядно увидеть, сколько примеров было классифицировано правильно, а сколько — неправильно. В вашем коде для каждой модели используется матрица ошибок, которая отображает количество:

True Positives (TP) — правильно классифицированные положительные примеры.

False Positives (FP) — ложноположительные ошибки.

False Negatives (FN) — ложноотрицательные ошибки.

True Negatives (TN) — правильно классифицированные отрицательные примеры.

Пример матрицы ошибок для моделей (рис. 10-14):

```
for name, model in models.items():
    y_pred = model.predict(X_test_tfidf)
    print(f"Матрица ошибок для {name}")
    ConfusionMatrixDisplay.from_estimator(model, X_test_tfidf, y_test, cmap='Blues')
    plt.show()
```

Рисунок 10

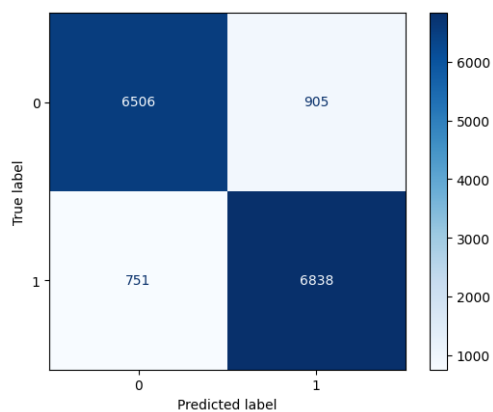


Рисунок 11. «Матрица ошибок для Logistic Regression»

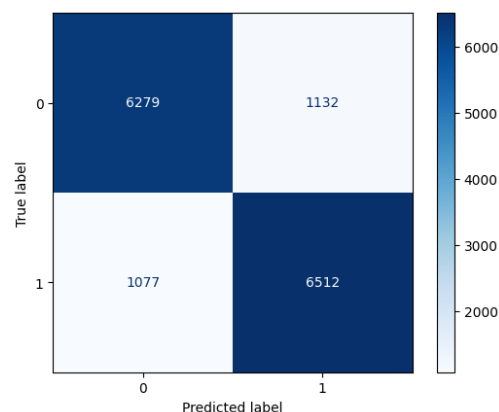


Рисунок 12. «Матрица ошибок для Naive Bayes»

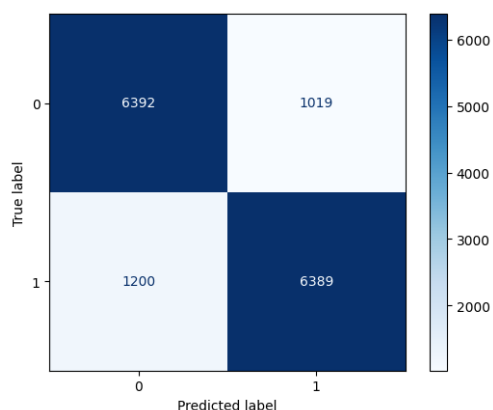


Рисунок 13. «Матрица ошибок для Random Forest»

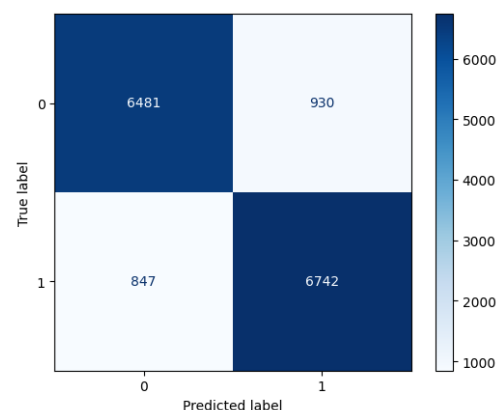


Рисунок 14. «Матрица ошибок для Linear SVC»

Графики ошибок можно визуализировать с помощью матрицы ошибок, как показано выше. Это помогает четко увидеть, где модель допускает ошибки и как можно улучшить её работу, например, при помощи выбора другого порога классификации или применения других методов обучения.

### Визуализация данных

WordCloud (облачко слов) позволяет визуализировать самые частые слова в текстах, например, в положительных и отрицательных отзывах. Это помогает быстро определить ключевые слова, которые характерны для разных классов (рис. 15-16).

```
from wordcloud import WordCloud

positive_text = ' '.join(df[df['sentiment'] == 1]['cleaned_text'])
negative_text = ' '.join(df[df['sentiment'] == 0]['cleaned_text'])

plt.figure(figsize=(12, 6))
plt.subplot(1, 2, 1)
plt.title("Positive Reviews")
plt.imshow(WordCloud(width=400, height=300).generate(positive_text), interpolation='bilinear')
plt.axis('off')

plt.subplot(1, 2, 2)
plt.title("Negative Reviews")
plt.imshow(WordCloud(width=400, height=300).generate(negative_text), interpolation='bilinear')
plt.axis('off')

plt.show()
```

Рисунок 15.



модели были обучены на текстовых данных, представленных в виде матрицы признаков, полученной с помощью метода TF-IDF. Точность каждой модели была оценена с использованием метрики Ассигасу, а также визуализированы матрицы ошибок, что позволило оценить качество классификации и выявить слабые места в каждой из моделей.

1. Логистическая регрессия показала хорошую точность на тестовых данных. Этот метод отлично справляется с задачами бинарной классификации, так как позволяет легко интерпретировать коэффициенты, ассоциированные с признаками, и понять их вклад в прогноз.

2. Наивный Байесовский классификатор, как и ожидалось, продемонстрировал высокую эффективность на текстовых данных, поскольку он основывается на теореме Байеса, что позволяет ему быстро адаптироваться к различным распределениям вероятностей для различных классов. Однако он имеет некоторые ограничения в случае зависимостей между признаками.

3. Случайный лес оказался особенно устойчивым к переобучению, что делает его надежным инструментом в случае сложных или зашумленных данных. Использование множества деревьев решений в ансамбле помогает уменьшить вероятность ошибочных предсказаний и улучшить общую точность модели.

4. Линейная поддержка вектора показала стабильные результаты, особенно на данных с хорошо разделимыми классами. Этот метод эффективно работает в линейно разделимых пространствах и может быть расширен для работы с более сложными моделями через использование ядерных функций.

Точность моделей была разной, однако все они показали конкурентоспособные результаты в решении задачи классификации текстов. Применение матриц ошибок помогло выявить области, в которых модели ошибались, и понять их сильные и слабые стороны. Например, ложноположительные и ложноотрицательные ошибки, типичные для всех моделей, были связаны с трудными для классификации примерами, что может указывать на необходимость дополнительной настройки или использования более сложных методов.

#### Перспективы развития

1. Использование более сложных моделей и нейронных сетей. На основе полученных результатов можно развивать исследование, используя более сложные модели машинного обучения, такие как глубокие нейронные сети (например, LSTM или CNN для обработки текста), которые могут быть более эффективными в задачах, где важно учитывать контекст и структуру текста. Нейронные сети способны обучаться на более сложных паттернах данных и могут значительно улучшить результаты, особенно в случае большого объема данных.

2. Использование трансформеров и предобученных моделей. В последние годы большую популярность приобрели трансформеры, такие как BERT, GPT и другие предобученные модели, которые можно дообучить на специфических задачах. Эти модели могут быть использованы для улучшения качества классификации текста, так как они способны эффективно захватывать сложные зависимости в языке. В частности, трансформеры обеспечивают высокий

уровень точности в задачах обработки естественного языка (NLP), поскольку они учитывают контекст в каждом слове, что недоступно для более простых моделей, таких как TF-IDF и CountVectorizer.

3. Предобученные модели могут быть использованы для улучшения качества классификации. Например, предобученная модель на большом корпусе текста может быть дообучена для конкретной задачи, что позволяет избежать необходимости обучать модель с нуля и значительно снизить вычислительные затраты. Это особенно важно для приложений, где критична точность классификации.

Результаты данного исследования могут быть полезны в широком спектре реальных приложений. Одним из таких приложений является анализ отзывов о продуктах. Применяя классификационные модели, можно автоматизировать процесс анализа отзывов, разделяя их на положительные и отрицательные. Это позволяет компаниям быстро реагировать на отзывы пользователей, улучшать качество продукции и улучшать пользовательский опыт.

Кроме того, результаты могут быть полезны в анализе социальных медиа, где задача заключается в классификации текстов, таких как твиты, посты в социальных сетях или форумы, по темам, настроению или другим критериям. Применение машинного обучения в этих областях позволяет автоматизировать процесс анализа огромных объемов данных, что делает его более эффективным и точным.

Модели могут быть также использованы в системах рекомендаций, где анализ текста отзывов может быть важным для формирования рекомендаций для пользователей. Классификация текстов позволяет строить более точные и релевантные рекомендации на основе мнений других пользователей.

В перспективе использование более сложных моделей и технологий обработки текста позволит повысить точность и эффективность этих приложений, что в свою очередь приведет к улучшению бизнес-процессов и более качественным сервисам для пользователей.

Таким образом, результаты данного исследования являются важным шагом в развитии и применении технологий машинного обучения для анализа текста, и могут быть использованы для решения множества задач в реальных приложениях, улучшая их точность и качество.

### **Литература**

1. Самигулин Т.Р., Джурабаев А.Э.У. Анализ тональности текста методами машинного обучения // Научный результат. Информационные технологии. 2016. – Т. 2. – № 2. – С. 3-12.
2. Котельников Е.В., Клековкина М.В. Автоматический анализ тональности текстов на основе методов машинного обучения // Компьютерная лингвистика и интеллектуальные технологии: По материалам ежегодной Международной конференции «Диалог». 2012. – Вып. 11 (18). – С. 7–10.
3. Юсупова Н.И., Богданова Д.Р., Бойко М.В. Алгоритмическое и программное обеспечение для анализа тональности текстовых сообщений с

использованием машинного обучения // Вестник УГАТУ. 2012. – Т. 16. – № 6 (51). – С. 91–99.

4. Аксенов А.В. Анализ тональности текстовых сообщений социальной сети Twitter // Теория. Практика. Инновации. 2016. – С. 4–12.
5. Романов А.С. и др. Анализ тональности текста с использованием методов машинного обучения // CEUR Workshop Proceedings. 2018. – Т. 22-33. – С. 56-65.

УДК 004.021

## РАЗРАБОТКА АЛГОРИТМА СРАВНЕНИЯ ВЕБ-СТРАНИЦ

**Ронжин А.В.**

*Рязанский государственный радиотехнический  
университет имени В.Ф. Уткина  
(г. Рязань, Российская Федерация)*

***Аннотация.** Представлена разработка алгоритма сравнения веб-страниц для его использования в программном обеспечении, решающего проблему сложности отслеживания изменений веб-сайтов. Определены входные и выходные данные алгоритма. Разработаны шаги алгоритма: предобработка страницы в виде упрощения структуры HTML-документа, проверка страницы на изменения с использованием хеширования, поиск изменений методом Майерса и формирование сводки изменений посредством суммаризации с помощью LLM. Приведена реализация алгоритма на псевдокоде.*

***Ключевые слова:** веб-сайт, HTML, хеширование, метод Майерса, LLM.*

## DEVELOPMENT OF AN ALGORITHM FOR COMPARING WEBPAGES

**A.V. Ronzhin**

*Ryazan State Radio Engineering University after V.F. Utkin  
(Ryazan, Russia)*

***Annotation.** We implement a task of developing an algorithm for comparing webpages for its use in software that solves the problem of the complexity of tracking changes to websites. The input and output data of the algorithm are defined. The steps of the algorithm are developed: page preprocessing in the form of simplifying the structure of the HTML document, checking the page for changes using hashing, searching for changes using the Myers method, and generating a summary of changes by summarizing using LLM. An implementation of the algorithm in pseudocode is demonstrated.*

***Keywords:** website, HTML, hash, Myers difference algorithm, LLM.*

## Введение

В настоящее время наблюдается значительный рост интереса к сети Интернет во всех областях жизни. С каждым днём появляется всё больше веб-ресурсов, охватывающих различные аспекты деятельности. В частности, набирают популярность веб-сайты, представляющие собой совокупность взаимосвязанных веб-страниц. С увеличением количества веб-ресурсов становится сложнее отслеживать их обновления

Для решения этой проблемы предлагается разработать программное обеспечение просмотра обновлений веб-сайтов через системы обмена сообщениями. Ключевым компонентом такого программного обеспечения является алгоритм сравнения веб-страниц, который позволит отслеживать изменения веб-страниц с течением времени.

### Определение входных и выходных данных алгоритма

Обычно веб-страница представляет собой документ в формате HTML. HTML (HyperText Markup Language) – это язык гипертекстовой разметки, который декларативно описывает структуру страницы. HTML совместно используют с технологиями CSS (Cascading Style Sheets) и JavaScript для описания внешнего вида документа и выполнения логики в веб-браузере соответственно. Изменения структуры документа приводят к изменению веб-страницы. Определив разницу между документами, представляющих состояния веб-страницы, можно определить, какие изменения произошли на веб-странице.

Таким образом, входные данные алгоритма – два документа в формате HTML, которые представляют собой веб-страницу в различные моменты времени.

На выходе же алгоритм должен предоставить ответ на вопрос, что изменилось на веб-странице. Ответ должен быть в понятном для пользователя виде, содержащем краткую сводку изменений. Отдельное место занимает случай, когда содержимое веб-страницы с течением времени не изменилось. Тогда не имеет смысла формировать текст ответа, достаточно лишь отметить, что изменений не было. В связи с этим поставленный вопрос можно разделить на два: изменилось ли содержимое веб-страницы, и в случае, если содержимое изменилось, – что именно изменилось на странице.

Входные и выходные данные алгоритма визуализированы на диаграмме (рисунок 1).

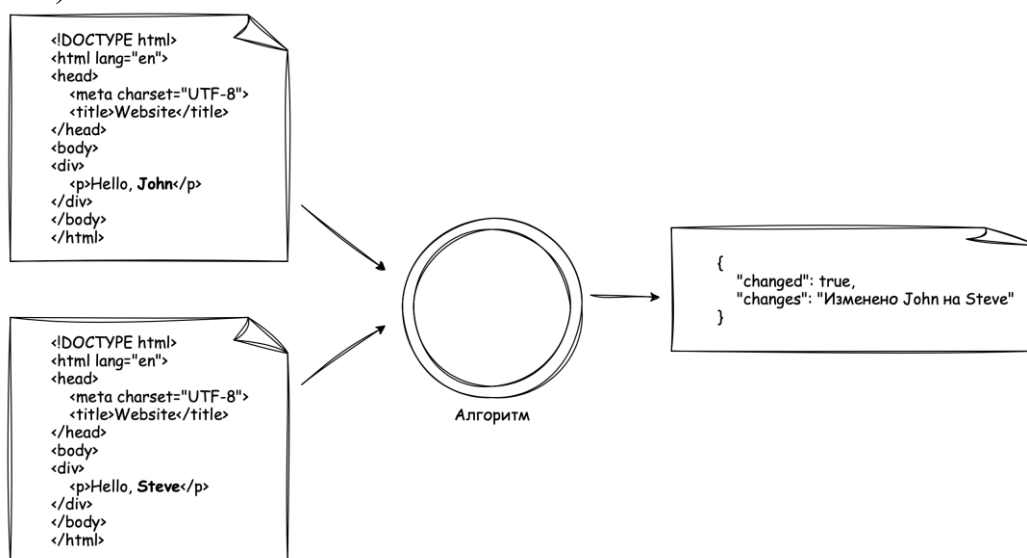


Рисунок 1 – Входные и выходные данные алгоритма.

## Определение шагов алгоритма

Определены следующие шаги алгоритма:

- 1) предобработка веб-страницы,
- 2) проверка веб-страницы на изменения,
- 3) поиск изменений веб-страницы,
- 4) формирование сводки изменений.

Если на втором шаге было определено, что страница не изменилась, то последующие шаги пропускаются (рис. 2).



Рисунок 2. Блок-схема алгоритма.

## Предобработка веб-страницы

Как упоминалось ранее, HTML-документ, кроме смыслового содержимого, также может содержать данные, предназначенные для рендеринга страницы веб-браузером. В разрабатываемом алгоритме не ставится цель анализа таких данных. Поэтому на этапе предобработки происходит упрощение HTML-структуры путем удаления этих данных (рис. 3).

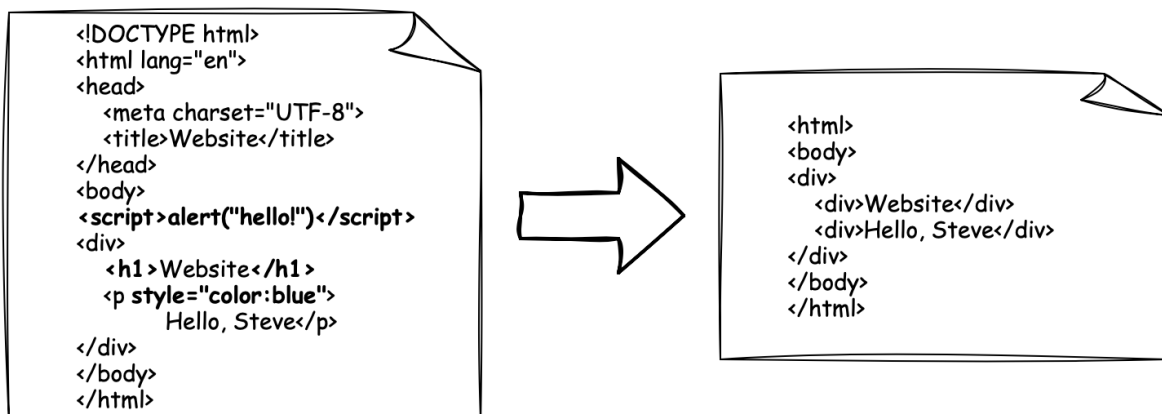


Рисунок 3. Предобработка веб-страницы

Также на данном этапе происходит форматирование документа для упрощения входных данных, необходимых для выполнения следующих шагов.

### Проверка веб-страницы на изменения

Для реализации второго шага алгоритма (проверка веб-страницы на изменения) используется хеширование. Хеширование – это преобразование данных в необратимый вид для упрощения многих задач, в том числе для сравнения данных. Результатом хеширования является хеш, который представляет собой уникальный отпечаток данных. Если входные данные идентичны, то их хеши обязательно равны.

Таким образом, для проверки неизменности веб-страницы сравниваются хеши, вычисленные для HTML-документов. Это позволяет ускорить процесс проверки веб-страницы на изменения. В качестве алгоритма хеширования использован FNV-1a [1].

### Поиск изменений веб-страницы

Для выявления изменений, произошедших на странице, было принято решение применить разностный алгоритм Майерса [2]. Этот алгоритм позволяет эффективно выявлять различия между двумя версиями текста.

### Формирование сводки изменений

На последнем шаге необходимо составить краткую сводку изменений веб-страницы. Ранее был получен список изменений веб-страницы. Теперь требуется обобщить этот список. В последнее время широкое распространение получили большие языковые модели (LLM), которые также способны решать задачу суммаризации. В качестве языковой модели была выбрана DeepSeek-R1 [3].

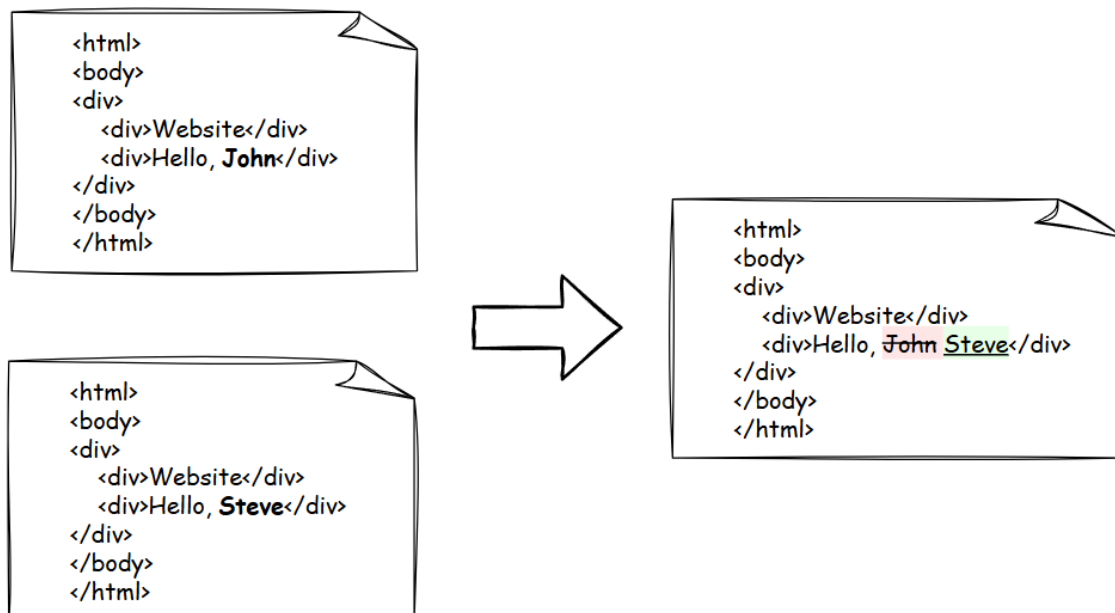


Рисунок 4. Алгоритм Майерса

## Реализация алгоритма

В листинге 1 представлен псевдокод, реализующий алгоритм, разработанный в ходе работы.

Листинг 1 – Реализация алгоритма сравнения веб-страниц

```
1  function pageComparer(rawPage, previousPage) {  
2      page = clean(rawPage)  
3      changed = isChanged(page, previousPage)  
4      if (!changed) {  
5          return false, ""  
6      }  
7      changes = findChanges(page, previousPage)  
8      summarizedText = summarize(changes)  
9      return true, summarizedText  
10 }
```

## Заключение

1. Описана проблема сложности отслеживания изменений веб-сайтов в связи с их нарастающим количеством.

2. Поставлена задача разработки алгоритма сравнения веб-страниц, как часть разработки программного обеспечения для решения описанной проблемы.

3. Определены входные данные в виде двух HTML-документов, описывающих веб-страницу в разные моменты времени. Выходные данные определены в виде структуры, содержащей ответы на вопросы: изменилось ли содержимое страницы, а если содержимое изменилось – что именно изменилось.

4. Описаны шаги алгоритма: предобработка страницы, ее проверка на изменения, поиск изменений и формирование сводки.

5. Разработаны шаги алгоритма: предобработка входных данных заключается в упрощении HTML-структуры путем удаления данных для рендеринга, проверка веб-страницы на изменения использует технологию хеширования для оптимизации вычислительных ресурсов, поиск изменений на веб-странице использует алгоритм Майерса, для формирования сводки изменений используется LLM.

6. Представлена реализация разработанного алгоритма на псевдокоде.

## Литература

1. Fowler G., Noll L., Eastlake K. Vo, D., Hansen T. The FNV Non-Cryptographic Hash Algorithm [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://datatracker.ietf.org/doc/draft-eastlake-fnv/>. – Дата доступа: 19.02.2025.
2. Eugene W. Myers. An O(ND) Difference Algorithm and Its Variations [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.xmailserver.org/diff2.pdf>. – Дата доступа: 19.02.2025.
3. DeepSeek-R1 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://github.com/deepseek-ai/DeepSeek-R1>. – Дата доступа: 19.02.2025.

## ИССЛЕДОВАНИЕ CAPTCHA С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МЕТОДОВ КЛАСТЕРНОГО АНАЛИЗА

Сидорова М.А.

*Рязанский государственный радиотехнический  
университет имени В.Ф. Уткина  
(г. Рязань, Российская Федерация)*

**Аннотация.** В рамках анализа CAPTCHA рассматриваются различные методы кластерного анализа, ставшие фундаментальной основой для улучшения безопасности современных интернет-сервисов. CAPTCHA применяется для различения пользователей и автоматических систем, её основной задачей выступает предотвращение злоупотреблений онлайн-услугами. Ключевая цель в данной области предполагает создание надёжных тестов, устойчивых к взлому современными технологиями, и, соответственно, поддержание удобства пользователей. Среди методов кластеризации особенно выделяются иерархический метод, метод К-средних и DBSCAN. К-средних используется для анализа CAPTCHA, предполагая систему этапов подготовки данных, выбор числа кластеров и конкретные процессы модификации, среди названных процессов целесообразно выделить методы K-means++, масштабирование данных и обработку шумов. Применение названных методов машинного обучения оказывает существенное влияние на разработку CAPTCHA и, соответственно, требует их адаптации для эффективного противостояния автоматическим системам распознавания. В статье обсуждаются трудности, которые сопряжены с доступностью CAPTCHA для людей с ограниченными возможностями и многоязычной поддержкой, поскольку, как показал анализ, данный аспект всё ещё остаётся актуальной исследовательской проблемой. Как показал анализ, возможные решения кроются в оптимизации параметров кластеризации и выборе подходящих методов анализа.

**Ключевые слова:** CAPTCHA, кластерный анализ, метод К-средних, иерархическая кластеризация, DBSCAN, безопасность интернета.

## CAPTCHA RESEARCH USING CLUSTER ANALYSIS METHODS

M.A. Sidorova

*Ryazan State Radio Engineering University after V.F. Utkin  
(Ryazan, Russia)*

**Annotation.** Within the framework of CAPTCHA analysis, various cluster analysis methods are considered, which play a key role in improving the security of Internet services. CAPTCHA is used to distinguish between users and automated systems, which is important to prevent abuse of online services. Important tasks in this area include creating reliable tests that are resistant to hacking by modern technologies and maintaining user convenience. Among the clustering methods, the hierarchical method, the K-means method and DBSCAN are distinguished. K-means is used for CAPTCHA analysis, which includes important data preparation steps, cluster number selection, and modification processes such as the K-means++ method, data scaling, and noise processing. The application of machine learning methods has an impact on the development of CAPTCHA and requires their adaptation in order to effectively counter automatic recognition systems. The article discusses the difficulties associated with the accessibility of CAPTCHA for people with disabilities and multilingual support, which remains an urgent problem for research. The solutions lie in optimizing clustering parameters and choosing appropriate analysis methods.

**Keywords:** CAPTCHA, cluster analysis, K-means method, hierarchical clustering, DBSCAN, Internet security.

Кластерный анализ в рамках исследований САРТСНА представляет собой многогранную область, где пересекаются интересы в области компьютерной безопасности, машинного обучения и распознавания образов. САРТСНА, что расшифровывается как «Полностью автоматизированный публичный тест Тьюринга для различения компьютеров и людей», изначально была разработана для предотвращения автоматической обработки запросов и защиты от ботов. Однако с развитием технологий и особенно методов машинного обучения, автоматические системы стали все более способны обходить даже самые сложные САРТСНА. Именно здесь кластерный анализ и становится чрезвычайно актуальным. Он предоставляет мощный инструмент для обнаружения и группировки схожих паттернов в данных, что в целом полезно как для разработки более сложных САРТСНА, так и для их взлома с помощью компьютерных алгоритмов. Названная область исследуется по двум направлениям – разработка более устойчивых САРТСНА, которые смогут противостоять современным алгоритмам, и, с другой стороны, улучшение автоматических систем распознавания. В последнее время указанная тема становится все более значимой, поскольку интернет-сервисы продолжают бороться с защитой своих данных и пользовательских интерфейсов от автоматизированных злоупотреблений. Стремление к усовершенствованию методов кластерного анализа в контексте САРТСНА представляется неотъемлемой частью данного процесса, фактически предоставляя возможность более глубокого понимания природы изображений и текстов, используемых в САРТСНА, и иных возможностей их обработки.

Исследования в области САРТСНА касаются интернет-безопасности различных баз данных, аккумулируемых во многих сферах человеческой деятельности [1]. Приведенные тесты служат основным методом для различения между человеческими пользователями и автоматизированными системами, предотвращая такие угрозы, как бот-атаки и иные формы онлайн-злоупотреблений. САРТСНА содержит задания, легко выполняемые людьми, в отличие от программных алгоритмов, которым требуется куда больше усилий. В отдельных случаях пользователям предлагается распознать искаженные символы, изображения или подобрать соответствующие элементы.

Анализ САРТСНА охватывает несколько направлений. Одним из них является разработка методик создания надежных тестов, которые будут оставаться сложными для автоматических систем и в то же время простыми для понимания людьми. Еще одной областью является исследование методов взлома САРТСНА, учитывая использование технологий машинного обучения и нейросетей для автоматического решения подобных тестов. Достаточно очевидна сегодня необходимость внедрения новых САРТСНА, стойких к таким технологическим атакам [2]. Также весьма актуально изучение эффективности различных САРТСНА с точки зрения их удобства для пользователей и уровня обеспечения безопасности. Научные изыскания в названной сфере стремятся достигнуть оптимального баланса между сложностью, отпугивающей ботов, и простотой для человека, что особенно критично в улучшении пользовательского интерфейса вебсайтов.

Традиционные методы исследования в области анализа CAPTCHA направлены на разработку и улучшение систем, способных различать пользователей-людей от автоматических программ (ботов). Указанные методы можно разделить на два основных направления: создание CAPTCHA и её взлом. В процессе разработки надёжных CAPTCHA тестов исследователи стремятся повысить уровень безопасности систем и сделать их устойчивыми к попыткам автоматизированного решения, в то время как взлом CAPTCHA сосредоточен на использовании различных технологий для автоматического распознавания и преодоления тестов [3].

Несмотря на прогресс в развитии и внедрении CAPTCHA, остаются нерешенные проблемы, которые нуждаются в разработке уже длительное время, от них в конечном итоге зависит вопросы повышения их эффективности и комфортности в использовании. Одной из основных задач является балансирование между сложностью для автоматизированных систем и удобством для пользователей. Традиционные текстовые CAPTCHA, особенно с высокими уровнями искажений символов, часто создают трудности даже для людей, вызывая у них фрустрацию при расшифровке таких изображений. На пользовательском опыте такая ситуация сказывается негативно и во многом приводит к потере клиентов или пользователей. В то же время, слишком простые тесты легко преодолеваются программными алгоритмами, и это, соответственно, снижает их эффективность в защите от автоматизированных атак [4]. Еще одной значительной проблемой является развитие машинного обучения и нейронных сетей, которые улучшили возможности программных систем в распознавании и обходе CAPTCHA. Современные модели глубокого обучения способны обучаться на больших объемах данных, которые позволяют им, в конечном итоге, успешно справляться с искаженными или сложными графическими CAPTCHA.

Сегодня формируется режим непрерывной гонки между разработчиками CAPTCHA и «ресёрчерами», ищущими способы их взлома. Возникновение новых мощных алгоритмов требует регулярного обновления методов защиты, однако традиционные подходы часто не успевают за новыми технологическими достижениями [5].

Проблемы доступности также остаются важным аспектом для изучения. Множество видов CAPTCHA, особенно графические и текстовые, часто бывают затруднительными для людей с ограниченными возможностями, например, имеющих слабое зрение или нарушения слуха. Хотя для людей с проблемами зрения были разработаны аудио CAPTCHA, они тоже подвержены взлому методами распознавания речи. Помимо прочего, шум или плохое качество звука часто усложняют пользователям правильное восприятие информации. Другая задача – проблема многоязычной поддержки CAPTCHA. В глобальном мире пользователи говорят на множестве языков, и стандартные текстовые или аудио тесты бывают достаточно трудны для тех, чей родной язык отличается от используемого в CAPTCHA. Формируются и дополнительные преграды для пользователей, особенно если они сталкиваются с тестами на языке, который знают недостаточно хорошо.

Кластерный анализ охватывает разнообразные методики, каждая из которых обладает своими особенностями и сферами применения, в зависимости от характеристик данных и целей исследования. Один из фундаментальных методов – иерархическая кластеризация, где создается древовидная структура кластеров, известная как дендрограмма. Названный подход делится на агломеративный и дивизивный методы. Агломеративный метод стартует с индивидуальных кластеров для каждого объекта, последовательно объединяя наиболее похожие, пока не будет достигнута желаемая структура [7]. Напротив, дивизивный метод начинает с одного общего кластера, постепенно деля его на меньшие. Иерархическая кластеризация удобна для визуализации, хотя ее применение на практике является достаточно осложнённым процессом, особенно при использовании больших объемах данных из-за значительных вычислительных затрат, и она не всегда успешно выделяет кластеры произвольных форм.

Применение метода К-средних для анализа САРТСНА предполагает серию критических важных с позиции точной и эффективной кластеризации этапов. Существенно не только корректное проведение процесса кластеризации, но, и адаптация метода к конкретным задачам исследования, что очевидно требует определенных модификаций и настройки параметров. Начальный этап – подготовка данных. Для анализа САРТСНА собранная информация может содержать разные характеристики: текстовые строки, графические особенности и степень искажения, которые необходимо преобразовать в числовые векторы. Так, изображения нередко векторизовываются через методы извлечения признаков (Histogram of Oriented Gradients, или, сокращенно, HOG), или при использовании глубоких нейронных сетей. Затем необходимо определить число кластеров К. Метод К-средних требует предварительной реализации данного процесса, в конечном итоге такая схема представляет определённую сложность при отсутствии информации о структуре данных. Метод локтя или силуэтный анализ позволяют определить оптимальное значение К, оценивая, насколько хорошо объекты распределены по кластерам. Процесс кластеризации начинается с выбора К случайных начальных центров. Объекты данных присваиваются ближайшим кластерным центрам, после чего пересчитываются новые центры на основе среднего значения выделенных объектов, и данный процесс повторяется до стабилизации центров. Важно мониторить качество результатов и корректировать параметры при необходимости.

Метод К-средних подвергается модификации для повышения его эффективности в задачах, так или иначе сопряженных с САРТСНА. Одной из таких модификаций является использование различных методов инициализации. Стандартный случайный выбор центров нередко в итоге приводит к неустойчивым результатам, потому K-means++ предлагает улучшенное начальное распределение, которое снижает риск локальных минимумов и ускоряет сходимость алгоритма. Масштабирование данных также играет важную роль. Для САРТСНА нормализация признаков – например, при стандартизации пикселей изображений или частоты появления символов – способна предотвратить доминирование определённых признаков, улучшая

результаты. Взвешивание признаков полезно, когда определенные аспекты более значимы для классификации САРТСНА. Механизм такого рода фактически позволяет точнее выделять кластеры, соответствующие разным типам САРТСНА. Обработка шумов и выбросов также важна, поскольку САРТСНА иногда содержат атипичные объекты. Использование предварительной фильтрации данных или гибридных подходов поможет минимизировать их влияние. Выбор метрик расстояний, подходящих природе данных САРТСНА, позволяет существенно изменить структуру кластеров. В частности, применение косинусного сходства для текстовых данных или структурных метрик для графических данных обеспечивает более корректную интерпретацию результатов. Интеграция с другими методами анализа (среди которых особенно выделяется иерархическая или спектральная кластеризация), нередко дополнительно подтверждает результаты К-средних и улучшает общее качество анализа, выявляя сложные структуры данных. В итоге, следует обоснованно заключить, что метод К-средних – мощный инструмент для анализа САРТСНА. Однако, расширение его возможностей через выбор начальных центров, масштабирование, взвешивание признаков, обработку шумов, использование различных метрик и интеграцию с другими методами значительно повышает точность и релевантность результатов.

Процесс кластеризации предполагает несколько ключевых этапов – в первую очередь, подготовка данных, выбор числа кластеров, затем выполнение алгоритма и, наконец, оценка результатов. Особое внимание было уделено выбору оптимального числа кластеров и применению различных методов оценки для улучшения результатов. Метод К-средних продемонстрировал свою эффективность в группировке данных, предоставляя четкую и интерпретируемую структуру кластеров, что является ценным для анализа и оптимизации САРТСНА.

Тем не менее, как показали результаты, метод К-средних имеет свои ограничения, учитывая необходимость предварительного задания числа кластеров и предположение о сферической форме кластеров. В целом, выявленные ограничения частично преодолеваются с помощью модификаций и адаптаций, в частности через использование улучшенных инициализационных методов, масштабирование данных и выбор подходящих метрик расстояний. Также рассмотрены альтернативные методы кластеризации, которые применяются для достижения более точных результатов в случаях, когда стандартные методы не справляются с особенностями данных.

## Литература

1. Кучумов И.В. Теоретические основы методов кластеризации данных в интеллектуальном анализе // Цифровая экономика. – 2024 – №1(27) – С. 69-77.
2. Глинский Н.А., Бадак Б.А. Алгоритмы анализа данных в машинном обучении // Веб-программирование и интернет-технологии (WebConf2024): материалы 6-й Междунар. науч.-практ. конф., Минск, 15–16 мая 2024 г. / Белорус. гос. ун-т; редкол.: И.М. Галкин (гл. ред.) [и др.]. – Минск: БГУ, 2024. – С. 371-373.
3. Игнатъев Н.А., Згуральская Е.Н. Кластерный анализ с применением обучения на основе отношений связности и плотности распределения // Вестник Томского государственного университета. Управление, вычислительная техника и информатика. – 2024. – №. 68. – С. 66-74.
4. Носков С.И., Беляев С.В. Способ кластеризации выборки данных на основе применения критерия согласованности поведения // Информационные технологии и математическое моделирование в управлении сложными системами. – 2024. – №. 4. – С. 15-21.
5. Шили Х. Кластеризация в аналитике больших данных: системный обзор и сравнительный анализ (обзорная статья) // Научно-технический вестник информационных технологий, механики и оптики. – 2024. – Т. 23. – №. 5. – С. 967-979.
6. Славутская Е.В., Славутский Л.А. Анализ погрешностей методов машинного обучения как основа формирования навыков их использования // Вестник Мининского университета. – 2024. – Т. 12. – № 2. – С. 4.
7. Котенко И.В. и др. Атаки и методы защиты в системах машинного обучения: анализ современных исследований // Вопросы кибербезопасности. – 2024. – № 1. – С. 59.

УДК 656.073:004.89

## СОЗДАНИЕ ЦИФРОВОГО ДВОЙНИКА ДЛЯ ОПТИМИЗАЦИИ ЛОГИСТИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ: КЕЙС ДОСТАВКИ ОТ ЦЕНТРАЛЬНОГО ТАДЖИКИСТАНА НА ПАМИР

Сирошенко Е.Ю.

*Филиал Московского государственного университета  
имени М.В. Ломоносова в городе Душанбе  
(г. Душанбе, Республика Таджикистан)*

**Аннотация.** В статье рассматривается применение технологии цифрового двойника для оптимизации логистики в сложных географических условиях Таджикистана. Исследуется кейс доставки грузов из Душанбе в Горно-Бадахшанскую автономную область, где труднодоступность, погода и инфраструктура создают серьёзные препятствия. Предложена модель цифрового двойника, использующая данные IoT, спутниковых систем и метеостанций для прогнозирования рисков и оптимизации маршрутов. Приведены примеры улучшений: сокращение времени доставки, снижение затрат и повышение надёжности. Сделан вывод о перспективах масштабирования технологии в других регионах.

**Ключевые слова:** Цифровой двойник, Логистические процессы, Оптимизация, Аналитика данных, Бизнес-аналитика, Таджикистан, Памир, Горные регионы, IoT, Прогнозирование рисков

## CREATING A DIGITAL TWIN TO OPTIMIZE LOGISTICS PROCESSES: A CASE STUDY OF DELIVERY FROM CENTRAL TAJIKISTAN TO THE PAMIRS

E.Yu. Siroshenko  
*Lomonosov Moscow State University in Dushanbe  
(Dushanbe, Tajikistan)*

**Annotation.** The article examines the use of digital twin technology to optimize logistics in Tajikistan's challenging conditions. A case study of cargo delivery from Dushanbe to Gorno-Badakhshan highlights key obstacles: inaccessibility, weather, and infrastructure limitations. A digital twin model utilizing IoT, satellite, and meteorological data is proposed to forecast risks and optimize routes. Examples of improvements include reduced delivery time, cost savings, and enhanced reliability. The study concludes with the potential for scaling the technology to other regions.

**Keywords:** Digital twin, Logistics processes, Optimization, Data analytics, Business intelligence, Tajikistan, Pamir, Mountainous regions, IoT, Risk forecasting

*Актуальность проблемы:* Логистика в горных регионах Таджикистана, особенно на Памире, осложняет доставку товаров из-за сложного рельефа, сезонных погодных условий и слабой инфраструктуры.

*Цель исследования:* Демонстрация применения цифрового двойника для оптимизации логистических процессов на примере доставки из центрального Таджикистана (Душанбе) в Горно-Бадахшанскую автономную область (ГБАО).

*Задачи:* Анализ текущих проблем, описание технологии цифрового двойника, предложение решений на основе аналитики данных и бизнес-аналитики.

*Методы:* Теоретический анализ, моделирование, использование кейс-стади.

*Новизна:* Применение цифрового двойника в условиях уникальной географии Таджикистана.

### **Теоретическая основа: цифровой двойник и аналитика в логистике**

*Цифровой двойник* представляет собой виртуальную модель реального объекта или процесса, обновляемую в режиме реального времени на основе данных, получаемых от IoT-устройств, GPS и сенсоров.

*Применение в логистике:*

- Моделирования маршрутов с учётом погодных условий, загруженности дорог и характеристик транспортных средств.
- Прогнозирования задержек на основе анализа текущей ситуации на дорогах и возможных рисков.
- Оптимизации ресурсов, включая снижение затрат на топливо, сокращение холостых пробегов и эффективное распределение транспортных средств.

*Роль аналитики в цифровых двойниках:*

Data Analytics – обработка больших объёмов данных (погодные условия, состояние дорог, интенсивность движения) для более точного прогнозирования и принятия решений.

Бизнес-аналитика (BI) – преобразование данных в визуальные отчёты и стратегические модели, что позволяет компаниям оптимизировать логистические процессы с использованием инструментов Power BI, Tableau и аналогичных решений.

*Примеры использования:*

Оптимизация цепочек поставок в промышленности.

Улучшение транспортных логистических процессов.

Повышение эффективности аграрного сектора за счёт точного прогнозирования поставок.

*Ключевые преимущества:*

Снижение издержек за счёт оптимального распределения ресурсов.

Повышение скорости доставки благодаря адаптивному планированию маршрутов.

Минимизация рисков путём раннего выявления проблем и автоматизированного реагирования на них.

### **Описание кейса: логистика от центрального Таджикистана к Памиру**

*Географические особенности:* Памир — высокогорный регион с высотами до 7000 м, узкими дорогами (Памирское шоссе), частыми оползнями и снежными завалами.

*Текущая ситуация:*

Среднее время доставки из Душанбе в Хорог — 18–24 часа при благоприятных условиях, до нескольких дней при осложнениях.

Высокие затраты на топливо и обслуживание транспорта.

Риски: потеря грузов, аварии из-за погодных условий.

*Проблемы логистики:*

- Отсутствие точных данных о состоянии дорог в реальном времени.
- Непредсказуемость погодных изменений (снегопады, лавины).
- Ограниченная емкость складов в ГБАО.

*Необходимые данные для анализа:*

- Погодные условия (температура, осадки, ветер).
- Состояние дорог (GPS-отслеживание, отчеты водителей).
- Объемы грузов и спрос в ГБАО (сезонные колебания).

*Цель кейса:* Сократить время доставки на 20–30%, снизить затраты и повысить надежность.

### **Создание и применение цифрового двойника в кейсе**

*Этапы построения цифрового двойника:*

1. **Сбор данных:** установка IoT-датчиков на транспорт, использование спутниковых снимков, интеграция метеоданных.

2. **Моделирование:** создание виртуальной копии маршрута Душанбе–Хорог с учетом рельефа и инфраструктуры.

**3. Анализ:** применение алгоритмов машинного обучения для прогнозирования рисков (например, вероятность оползней).

**4. Визуализация:** использование BI-инструментов для отображения данных (графики, тепловые карты).

*Примеры оптимизации:*

- Маршруты: Выбор альтернативного пути через Дарваз при блокировке Памирского шоссе.

- Управление запасами: Прогноз спроса на продукты в ГБАО для минимизации излишков.

- Планирование рейсов: Определение оптимального времени выезда на основе погодных данных.

*Гипотетические результаты внедрения цифрового двойника в логистику:*

- Сокращение времени доставки с 24 до 18 часов за счёт прогнозирования маршрутов и динамического планирования.

- Снижение затрат на топливо на 15% благодаря оптимизации загрузки и выбора наименее затратных маршрутов.

- Уменьшение числа отменённых рейсов на 25% за счёт предиктивного анализа и оперативного реагирования на потенциальные сбои.

**Почему цифровой двойник выдаёт гипотетические результаты?**

Моделирование на основе цифрового двойника опирается на математические алгоритмы и статистические прогнозы, что делает результаты предварительными. *Они основаны на:*

Исторических данных о доставках, задержках и расходах.

Текущих показателей (трафик, погода, загруженность складов).

Прогнозах, основанных на машинном обучении.

Однако реальный мир изменчив, а влияние случайных факторов (аварии, забастовки, погодные катаклизмы) может вносить коррективы.

**Как добиться более точных результатов?**

Качественные данные: Использование только актуальных и достоверных данных от сенсоров, IoT-устройств и внешних источников.

Гибкие алгоритмы: Применение адаптивных моделей машинного обучения, способных оперативно обновляться.

Интеграция с BI-системами: Визуализация данных и корректировка стратегии в режиме реального времени.

Тестирование и калибровка: Постоянное сравнение прогнозных данных с фактическими результатами для улучшения модели.

*Роль аналитики в цифровых двойниках:*

Data Analytics – обработка больших данных (метеоусловия, загруженность дорог, спрос на перевозки) для построения точной математической модели.

Бизнес-аналитика (BI) – визуализация данных и предоставление руководству интерактивных дашбордов (Power BI, Tableau) для принятия решений.

**Заключение**

Цифровые двойники представляют собой перспективное направление в развитии логистики, позволяя моделировать процессы в реальном времени и

адаптироваться к динамическим изменениям. В условиях сложного рельефа, например, горных районов Памира, такая технология играет ключевую роль в оптимизации маршрутов, минимизации задержек и повышении надёжности поставок.

*Основные преимущества:*

Снижение затрат за счёт оптимизации маршрутов и загрузки транспорта.

Повышение скорости доставки благодаря точному прогнозированию.

Гибкость системы, позволяющая адаптироваться к непредсказуемым факторам (погодные условия, изменения трафика).

*Ограничения технологии:*

Высокие начальные инвестиции в IoT-инфраструктуру.

Необходимость обучения персонала и адаптации бизнес-процессов.

*Перспективы развития:*

Расширение применения цифровых двойников для других регионов Таджикистана, таких как Согдийская область, где также есть сложные логистические условия.

Интеграция с международными логистическими системами, что позволит улучшить экспортный потенциал страны.

*Рекомендации для эффективного внедрения:* Государственная поддержка цифровизации логистики через инвестиции и льготы. Сотрудничество с IT-компаниями для адаптации технологий под локальные условия.

### **Литература**

1. Питхейн Стренгхолт. Управление данными и аналитика / Пер. с англ. С. Черникова. – СПб.: Питер, 2023. – 368 с. – ISBN 978-5-4461-1461-0.
2. Морроу Джордан. Дата-культура: как эффективно работать с данными и принимать решения// – М.: Альпина Паблишер, 2023. – 256 с.
3. Агаханянц О.Э. География и природные ресурсы Памира// – Душанбе: Дониш, 1965. – 256 с.

УДК 004.01

## **РЕКОМЕНДАТЕЛЬНАЯ СИСТЕМА ДЛЯ ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ПО ПОДБОРУ ТУРИСТИЧЕСКИХ МАРШРУТОВ НА ОСНОВЕ ПРЕДПОЧТЕНИЙ ПОЛЬЗОВАТЕЛЯ**

**Соколова Ю.А.**

**Рязанский государственный радиотехнический  
университет имени В.Ф. Уткина  
(г. Рязань, Российская Федерация)**

*Аннотация.* В данной статье приводится актуальность внедрения системы рекомендаций к существующему программному обеспечению, выделяются цели и задачи работы. Разрабатывается алгоритм рекомендаций туристических маршрутов в рамках выбранной предметной области. Рассматриваются причины проблемы холодного старта в

рекомендательных системах и варианты решения проблемы в разрабатываемой рекомендательной системе.

**Ключевые слова:** рекомендательная система, туристические маршруты.

## THE RECOMMENDATION SYSTEM FOR THE TOURIST ROUTE SELECTION SOFTWARE BASED ON USER PREFERENCES

**Yu.A. Sokolova**

*Ryazan State Radio Engineering University after V.F. Utkin*

*(Ryazan, Russia)*

**Annotation.** *In this paper, the recommendation system implementation to the existing software relevance is given. The goals and objectives of the work are highlighted. The tourist route recommendation algorithm in case of chosen topic is developed. The recommendation system cold problem reasons and options for solving the problem in the recommendation system being developed are considered.*

**Keywords:** *recommendation system, tourist route.*

В настоящее время существует большое количество систем, позволяющих планировать пользователям туристические поездки [1]. Последнее время многие системы, в том числе и связанные с туристической сферой, реализуют различные алгоритмы рекомендаций, формирующих туристические маршруты для пользователей. Однако все рекомендуемые маршруты представляют собой либо наиболее популярные маршруты других пользователей, либо маршруты, составленные на основе наиболее посещаемых туристами мест. Данные рекомендации не позволяют учитывать индивидуальные предпочтения отдельных пользователей, для решения этой проблемы было решено разработать систему рекомендации туристических маршрутов для программного обеспечения (ПО) подбора туристических маршрутов, оптимальных по продолжительности и стоимости [2].

Реализация рекомендаций такого типа может помочь как пользователям системы, которые смогут легко подбирать выбирать новые туристические маршруты, основанные на их предпочтениях и индивидуальных особенностях, так и организациям, предоставляющим туристические услуги, так как такая система рекомендаций позволит им без труда привлекать целевую аудиторию и постоянных клиентов и, как следствие, повышать свой доход.

### *Цель и задачи работы*

Цель работы можно рассмотреть, как с точки зрения туриста, так и с точки зрения туристических агентств или любых других организаций, предоставляющих туристические услуги. Исходя из этого, можно выделить следующее:

- 1) автоматизация планирования туристических поездок по регионам России;
- 2) повышение эффективности работы туристических организаций и, как следствие, увеличение туристического потока регионов и повышение прибыли от туристического сектора.

Для достижения поставленных целей можно выделить следующие задачи:

1) исследовать существующий алгоритм формирования туристических маршрутов с целью внедрения системы рекомендаций;

2) разработать алгоритм построения рекомендаций туристических маршрутов, оптимальных по продолжительности и стоимости, на основе предпочтений пользователя;

3) определить варианты решения проблемы холодного старта для системы рекомендаций.

#### *Структура системы рекомендаций туристических маршрутов*

ПО для подбора туристического маршрута, оптимального по продолжительности и стоимости позволяет формировать туристические маршруты из выбранных пользователем туристических и не только мест с ограничениями по продолжительности пешего маршрута, а также его общей стоимости. Каждое место, находящееся в маршруте, имеет ряд критериев, среди которых можно выделить следующие:

1) категория туристического места;

2) возрастное ограничение по посещению;

3) доступность для людей с ограниченными возможностями;

4) доступность для посещения с животными;

5) доступность для семейного отдыха;

6) среднее время пребывания;

7) средняя стоимость посещения.

Данные критерии будут являться основными при построении системы рекомендаций.

Одним из главных преимуществ проектируемой системы является создание индивидуальных рекомендаций для каждого пользователя. Такого результата можно достичь при использовании в рекомендуемых маршрутах мест, схожих с местами, используемыми пользователем при построении собственных маршрутов.

На текущий момент существует большое количество методов формирования рекомендаций, основанных на предпочтениях пользователя. Одним из таких методов является метод колаборативной фильтрации [3]. Данный метод рассчитывает сходство между целевым пользователем и другими пользователями системы. Такой подход можно применить и при поиске сходства между местами пользовательских маршрутов и туристическими местами региона, находящихся в системе.

При поиске схожести, в качестве исходных значений критериев потенциальных мест маршрута, можно выбрать наиболее часто выбираемые категории мест, возрастные ограничения, а также критерии доступности прохода с семьей, людей с ограниченными возможностями и животными.

Исходя из принципов работы метода колаборативной фильтрации, можно определить следующий алгоритм составления предлагаемых пользователю маршрутов:

1) определение значений выбранных критериев туристических мест, из которых будет создан рекомендуемый маршрут;

2) применение метода колаборативной фильтрации к собранным данным мест и остальным местам региона, существующим в системе;

3) построение туристического маршрута по отобранным местам средствами программного обеспечения, для которого разрабатывается система рекомендаций, с ограничениями по продолжительности и стоимости. Ограничениями по продолжительности и стоимости прохождения маршрута могут выступать средние значения этих критериев в созданных пользователем маршрутах.

#### *Проблема холодного старта*

Самой распространенной проблемой при подключении к программному обеспечению системы рекомендаций является проблема холодного старта, когда у системы нет данных для составления предложений. Такая проблема может возникать у новых пользователей, которые еще не составляли собственные маршруты.

В ПО для подбора туристических маршрутов данную проблему можно решить несколькими способами.

1. Новым пользователям могут быть предложены наиболее популярные маршруты туристических организаций, которые изначально есть в системе при ее запуске для пользователей.

2. Также рекомендации могут быть сформированы предложенным алгоритмом по избранным местам пользователя в случае, если у пользователя нет собственных маршрутов, но при этом есть понравившиеся ему места.

#### **Заключение**

В данной статье были:

- 1) выделены цели и задачи выполнения работы;
- 2) выбраны критерии мест, используемых при поиске схожести;
- 3) предложен алгоритм формирования рекомендации туристических маршрутов на основе предпочтений пользователя;
- 4) приведены варианты решения проблемы холодного старта.

#### **Литература**

1. Соколова Ю.А. Обоснование необходимости решения проблемы туризма в России и преимущества разработки программного обеспечения подбора туристического // Современные технологии в науке и образовании: сборник трудов VI Межд. науч-техн. форума. – Рязань: РГРТУ, 2022. – Т. 4 – С. 28-34.
2. Соколова Ю.А. Разработка программного обеспечения подбора туристического маршрута, оптимального по продолжительности и стоимости // Проблемы естественных, математических и технических наук в контексте современного образования: материалы Всерос. науч.-практ. конф. – Липецк ЛГПУ, 2022. – С. 233-239.
3. Goldberg D., Nichols D., Oki B.M., Terri D. Using collaborative filtering to weave an information Tapestry // Special issue on information filtering. 1992. Vol. 35. No 12. pp. 61-70.

## МЕТОДОЛОГИЯ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ПОРТАТИВНЫХ СИСТЕМ РЕГИСТРАЦИИ И АНАЛИЗА ЭЛЕКТРОМИОГРАФИЧЕСКИХ СИГНАЛОВ

Терлецкий А.С.

*Липецкий государственный педагогический университет  
имени П.П. Семенова-Тян-Шанского  
(г. Липецк, Российская Федерация)*

**Аннотация.** Автор в данной статье рассматривает подход системного проектного проектирования в рамках разработки устройства для работы с электромиографическим сигналом.

**Ключевые слова:** электромиография, разработка системы, методология, обработка сигнала.

## METHODOLOGY FOR DESIGNING PORTABLE SYSTEMS FOR REGISTRATION AND ANALYSIS OF ELECTROMYOGRAPHIC

A.S. Terletsky

*Lipetsk State Pedagogical University after P.P. Semenov-Tyan-Shansky  
(Lipetsk, Russia)*

**Annotation.** In this article, the author examines the approach of system design design in the framework of the development of a device for working with an electromyographic signal.

**Keywords:** electromyography, system development, methodology, signal processing.

В наше время развитие носимых устройств снятия и регистрации электромиографических (ЭМГ) сигналов требует применения многокомпонентных подходов, основанных на фундаменте системного анализа и инженерного конструирования. Разработка таких систем связана с решением таких проблем [1]:

1. требование к точности регистрируемых сигналов;
2. исходных сигнал с низким соотношением сигнал-шум;
3. энергоэффективность устройства;
4. безопасный обмен данными по беспроводным каналам.

Целью данной работы является разработка подход системного проектирования портативных устройств обработки, регистрации ЭМГ-сигналов, учитывая приведенные выше проблемы, связанные с работой таких систем. Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие задачи:

1. провести анализ существующих портативных систем работы с электромиографическими сигналами;
2. в соответствии с анализом выделить проблемные зоны устройств обработки и регистрации электромиографических сигналов;
3. разработать методологию проектирования систем, с описание уровней;

В настоящее время рынок портативных устройств для регистрации биоэлектрических сигналов в мировом масштабе, составляет 350 млн. долларов

и показывает значительный рост, который авторы работы «A review of wearable sensors and systems with application in rehabilitation» связывают с развитием технического прогресса, проблемами систем здравоохранения, клинические потребности для реабилитации и лечения, удешевление создания датчиков и миниатюрных устройств [2].

Устройство Manumed 134 (Нидерланды), имеет 2 встроенных канала для регистрации сигналов и направлено на клиническое применение. У данного устройства отсутствует беспроводная связь, по мнению производителя проводная связь обеспечивает устойчивое соединение без риска получения помех.

Устройство Скайбокс (русский производитель Нейрософт) нельзя в полной мере называть мобильным устройством из-за габаритов. Представленное устройство поддерживает беспроводное подключение датчиков снятия ЭМГ-сигнала разных типов.

Устройство CMS6600B представляет собой электромиограф, имеющий вес 6 килограмм. Устройство поставляется в комплекте с различными типами электродов. В базовую комплектацию также входят блок питания, USB-кабель, аудиокабель, заземление и электро-стимуляторы.

Callibri – мультимодальный сенсор от российской компаний НейроМД, который предназначен для регистраций различных биопотенциалов организма человека, поддерживает электромиографию, электрокардиограмму и параметры дыхания. Данное устройство поддерживает передачу по беспроводному каналу Bluetooth.

В результате анализа существующих портативных современных систем регистрации и обработки ЭМГ-сигналов выделяются определенные требования к таким системам:

1. высокая точность регистрации сигнала;
2. качественная обработка сигнала при низком соотношении сигнал-шум;
3. энергоэффективности устройства;
4. безопасность для пользователя;
5. возможность использования беспроводных каналов связи;
6. портативность и компактность устройства;
7. масштабируемость системы.

Вместе с перечисленными требованиями могут возникать и проблемы, которые непосредственно связаны с ними. Высокая точность регистрации сигнала требует применения современных высококачественных аналоговых усилителей и предусилителей, что в свою очередь приводит к усложнению схемотехнического решения и увеличению конечной стоимости носимого устройства [3]. Качественная обработка сигнала связана с применением пулов алгоритмов цифровой фильтрации слабых «полезных» паттернов в высоком уровне шума биоэлектрического сигнала, обработки его спектральных характеристик, что приводит к повышенному использованию вычислительных мощностей [4].

Энергоэффективность устройства направлена на обеспечение высокой автономной работы устройства, что приводит к необходимости разработки

специальных энергосберегающих архитектур устройств, использование компонентов с низким потреблением электроэнергии [5]. Безопасность устройств носимых устройств определяется отсутствием утечек тока, применением гальванических развязок, при подключении электропитания по проводу, надежной изоляцией. Использование беспроводных каналов связи делают устройства регистрации сигнала более мобильными и позволяют обеспечить удобство и безопасность использования таких решений [6].

На основе приведенного анализа существующих портативных систем регистрации и обработки ЭМГ-сигналов и выявленных проблем выше определяется необходимость формирования целостной методологии проектирования подобных систем. Ключевой аспект разрабатываемой методологии – системный подход, учитывающий приведенные параметры от точности регистрации сигнала до энергоэффективности конечного устройства. Предлагаемая методология (см. рис. 1) базируется на процессе декомпозиции процесса разработки на три основных направления: архитектурный, аппаратный и программный уровни.

Такое разделение представленной задачи позволяет структурировать процесс проектирования и обеспечить комплексное решение для выявления проблем на каждом этапе разработки портативной системы.

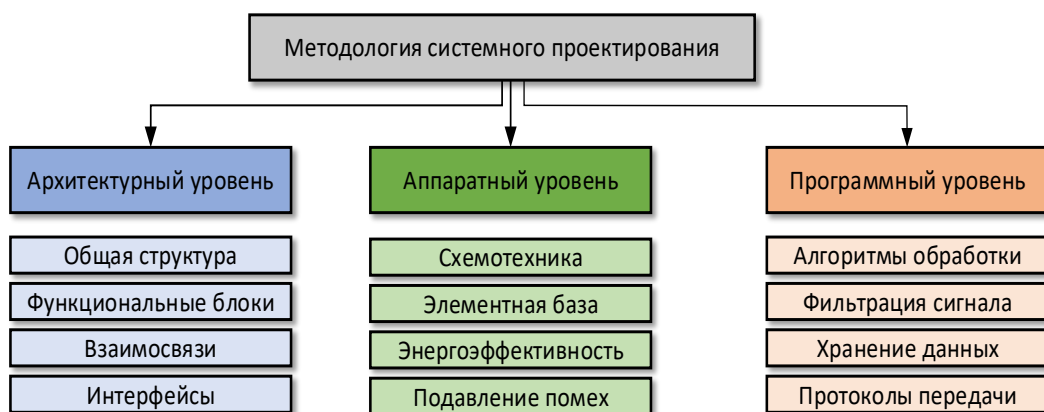


**Рисунок.** Схема методологии системного проектирования устройств регистрации электромиографических сигналов

Архитектурный уровень, методологии системного проектирования портативных устройств обработки и регистрации биоэлектрических сигналов, предполагает формирование концептуальной модели системы, которую можно описать составными блоками этого уровня. Блок общей структуры определяет концептуальную модель системы, иерархию подсистем. на данном этапе происходит формирование применяемых технических решений системы. После определения вектора построения системы, в предыдущем подуровне, система разделяется на более мелкие – функциональные блоки, которые направлены на решение конкретных задач в рамках общей работы системы [7]. Взаимосвязь между функциональными блоками определяет принципы информационного обмена, на данном этапе могут разрабатываться протоколы взаимодействий, вид

и форматы передаваемых данных при обмене. На этапе разработки интерфейсов разрабатываются стандарты программно-аппаратных интерфейсов, которые обеспечивают масштабируемость системы и интеграцию с другими комплексами.

На архитектурном уровне проектирования системы закладывается целостное представление о разрабатываемой системе, проектирование на данном этапе позволяет заложить фундамент для решений, реализуемых на следующих уровнях [8]. Аппаратный уровень методологии системного проектирования помогает выстроить архитектуру будущей системы, он охватывает физическую реализацию устройства регистрации и обработки ЭМГ-сигналов, включающий разработку и оптимизацию электрических схем, выбор элементной базы, обеспечение энергоэффективности и фильтрацию от помех на аппаратном уровне. Программный уровень предполагает реализацию алгоритмов обработки данных, фильтрацию сигнала, хранение или передачу информации.

Одним из ключевых аспектов обработки информации на программном уровне является фильтрация сигнала. Применение пула из нескольких фильтров обеспечивает более высокую эффективность выделения полезного сигнала для дальнейшей обработки. Примером такого пула может служить применение фильтра низких частот совместно с фильтром высоких частот, такой подход позволяет выделить сигнал в широком диапазоне частот [9]. Еще одним типом фильтров электромиографического сигнала является адаптивный фильтр, который подстраивает свои параметры под размерность и особенности входного сигнала. Обработка сигнала, определяемая на программном уровне, также может состоять из нескольких математических методов обработки, например, преобразование Фурье, которое будет служить для получения полного частотного спектра полезного сигнала [10].

Для проверки эффективности предложенной методологии проектирования систем был разработан прототип платформы для регистрации, обработки, передачи и анализа ЭМГ-сигналов.

Блок сбора и передачи данных служит для регистрации биоэлектрического сигнала при помощи сухих электродов, первичную обработку сигнала и последующую передачу данных по последовательному порту или беспроводному каналу (Bluetooth). Блок цифровой обработки сигналов принимает данные с микроконтроллера и выполняет дополнительную фильтрацию, нормализацию, сглаживание сигнала, а также статический анализ – расчет среднего, дисперсии, корреляции, преобразование Фурье и построение спектрограмм.

Блок визуализации служит для интерактивного отображения получаемых данных в режиме реального времени, позволяет менять параметры фильтрации, выбирать частоту среза, работа с адаптивным фильтром, запись и вывод данных в формате csv. Аппаратный уровень реализован на базе микроконтроллера, оснащённого встроенным аналого-цифровым преобразователем и модулем для беспроводной передачи данных.

Электроды снимают сигнал с поверхности кожи пользователя, далее через аналого-цифровой преобразователь в двухканальном режиме работы,

микроконтроллер считывает сигнал и для его улучшения к нему применяется базовая обработка. После чего предварительно обработанные данные по интерфейсу передачи данных через последовательный порт или по каналу беспроводной связи передаются на основную вычислительную платформу – персональный компьютер или мобильный телефон (планшет).

В режиме реального времени к снимаемому сигналу применяется комплекс алгоритмов цифровой обработки сигнала для фильтрации, сглаживания, нормализации и вычисляются статические параметры и выполняется частотный анализ и построения спектрограмм. Пользовательский интерфейс, реализованный на этом уровне, позволяет, в режиме реального времени, наблюдать за изменением биоэлектрического сигнала.

Разработанный прототип по представленной методологии демонстрирует стабильную регистрацию и передачу ЭМГ-сигнала в режиме реального времени. Алгоритмы цифровой обработки сигнала успешно выделяют полезный сигнал и его паттерны из исходного сигнала, что подтверждается визуализацией получаемых временных рядов, статическими показателями и частотным анализом, в которых прослеживается изменение биоэлектрического сигнала.

Представленная методология проектирование систем работы с электромиографическим сигналом демонстрирует свою эффективность на теоретическом и практическом уровнях.

### Литература

1. Chan B. Design of a Portable Electromyography (EMG) System for Clinical Applications / B. Chan, I. Saad, N. Bolong, E. S. Kang // TOST. – 2023. – Vol. 8, № 3. – P. 519-526. – URL: <https://tost.unise.org/pdfs/vol8/no3-3/tost-cofa2020-519-526-DS.pdf> (дата обращения: 18.02.2025). – Текст: электронный.
2. Patel S. A review of wearable sensors and systems with application in rehabilitation / S. Patel, H. Park, P. Bonato [и др.] // J. of NeuroEngineering and Rehabilitation. – 2023. – URL: <https://jneuroengrehab.biomedcentral.com/articles/10.1186/1743-0003-9-21> (дата обращения: 18.02.2025). – Текст: электронный.
3. Cosoli G. Methods for the metrological characterization of wearable devices for the measurement of physiological signals: state of the art and future challenges / G. Cosoli, L. Antognoli, L. Scalise // Methods and Protocols. – 2023. – URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2215016123000420> (дата обращения: 18.02.2025).
4. Zschorlich V. Digital filtering of EMG-signals / V. Zschorlich // ResearchGate. – 2023. – URL: [https://www.researchgate.net/publication/322926361\\_Digital\\_filtering\\_of\\_EMG-signals](https://www.researchgate.net/publication/322926361_Digital_filtering_of_EMG-signals) (дата обращения: 18.02.2025). – Текст: электронный.
5. Bin Qaim W. Towards Energy Efficiency in the Internet of Wearable Things: A Systematic Review / W. Bin Qaim, A. Ometov, A. Molinaro, I. Lener // ResearchGate. – 2023. – URL: [https://www.researchgate.net/publication/344538913\\_Towards\\_Energy\\_Efficiency\\_in\\_the\\_Internet\\_of\\_Wearable\\_Things\\_A\\_Systematic\\_Review](https://www.researchgate.net/publication/344538913_Towards_Energy_Efficiency_in_the_Internet_of_Wearable_Things_A_Systematic_Review). (Дата обращения: 18.02.2025).

6. Гордлеева С.Ю. Разработка аппаратно-программного комплекса по управлению роботизированными устройствами посредством биоэлектрических сигналов мозга и мышц / С. Ю. Гордлеева, С. А. Лобов, В. И. Миронов [и др.] // Наука и инновации в медицине. – 2016. – Т. 1, № 3. – С. 77-82. – DOI: 10.35693/2500-1388-2016-0-3-77-82.
7. Эшмурадов Д.Э. Оптимальные методы цифровой обработки биоэлектрических сигналов / Д. Э. Эшмурадов, М. Т. Магруппова, Д. Х. Ньяматова // Киберленинка. – 2024. – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/optimalnye-metody-tsifrovoy-obrabotki-bioelektricheskikh-signalov/viewers> (дата обращения: 11.02.2025). –
8. Галимянов А.Ф. Архитектура информационных систем: учебное пособие / А. Ф. Галимянов, Ф.А. Галимянов. – Казань: КФУ, 2019. – URL: [https://kpfu.ru/staff\\_files/F\\_1284155032/Arkhitectura\\_informacionnykh\\_sistem.pdf](https://kpfu.ru/staff_files/F_1284155032/Arkhitectura_informacionnykh_sistem.pdf) (дата обращения: 18.02.2025).
9. Бубнов А.В. Особенности применения фильтра нижних частот для демодуляции информационных сигналов в электроприводе с фазовой синхронизацией / А. В. Бубнов, А. М. Дайнович // Омский научный вестник. – 2024. – № 1(189). – URL: [https://omgtu.ru/general\\_information/media\\_omgtu/journal\\_of\\_omsk\\_research\\_journal/files/arhiv/2024/№1\(189\)\(ОНВ\)/73-78.pdf](https://omgtu.ru/general_information/media_omgtu/journal_of_omsk_research_journal/files/arhiv/2024/№1(189)(ОНВ)/73-78.pdf) (дата обращения: 18.02.2025).
10. Подклетнов С.Г. Применение методов преобразования Фурье и вейвлет-преобразования для вибродиагностики технического состояния тоннельных эскалаторов / С. Г. Подклетнов // Известия СПбГЭТУ «ЛЭТИ». – 2023. – URL: <https://izv.etu.ru/assets/files/izvestiya-5-2023-24-32.pdf> (дата обращения: 11.02.2025).

# НЕКОТОРЫЕ ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ТВЁРДЫХ РАСТВОРОВ $\text{Yb}_{14-x}\text{Dy}_x\text{Sb}_{11}$

Абдусалымова М.Н., Кабгов Х.Б., Махмудов Ф.А., Шаймарданов Э.Н.

*Институт химии имени В.И. Никитина  
Национальной академии наук Таджикистана  
(г. Душанбе, Республика Таджикистан)*

**Аннотация.** В статье приводятся данные по структуре и некоторым свойствам твёрдых растворов  $\text{Yb}_{14-x}\text{Dy}_x\text{Sb}_{11}$ . Показано, что они относятся к фазам Цинтля и кристаллизуются в тетрагональной структуре типа  $\text{Ca}_{14}\text{MnSb}_{11}$ .

**Ключевые слова:** фазы Цинтля, редкоземельные металлы, термическое расширение, термоэлектрические материалы.

## SOME PHYSICAL AND CHEMICAL PROPERTIES OF $\text{Yb}_{14-x}\text{Dy}_x\text{Sb}_{11}$ SOLID SOLUTIONS

M.N. Abdusalyamova, H.B. Kabgov, F.A. Makhmudov, E.N. Shaimardanov

*V.I. Nikitin Chemistry Institute  
of the National Academy of Sciences of Tajikistan  
(Dushanbe, Tajikistan)*

**Annotation.** The article provides data on the structure and some properties of  $\text{Yb}_{14-x}\text{Dy}_x\text{Sb}_{11}$  solid solutions. They are shown to belong to the Zintl phases and crystallize in a tetragonal structure of the  $\text{Ca}_{14}\text{MnSb}_{11}$  type.

**Keywords:** Zintl phases, rare earth metals, thermal expansion, thermoelectric materials.

В последние годы в области материаловедения активно изучаются высокотемпературные термоэлектрические материалы с высокими параметрами добротности, которые определяются как:  $ZT = TS^2 \cdot \sigma / \kappa$ , где  $T$  - абсолютная температура,  $S$  - коэффициент Зеебека,  $\kappa$  - теплопроводность,  $\sigma$  - электропроводность. Особый интерес вызывают материалы, выполняющие роль автономных источников питания, и они востребованы как объекты малой и средней энергетики. На сегодняшний день область высоких температур 800-1400К обеспечена лишь несколькими термоэлектрическими преобразователями с составами твёрдых растворов Si-Ge, PbTe-SrTe и соединения  $\text{Yb}_{14}\text{MnSb}_{11}$  [1, 2]. Эти устройства являются дополнительными источниками энергии для космических аппаратов и зондов, однако их эффективность обычно не превышает 5%. Поэтому активный поиск и изучение новых высокотемпературных материалов и возможных аналогов уже известным для создания более эффективных преобразователей тепла в электрическую энергию составляют актуальную область исследований.

Фазы Цинтля привлекают большое внимание с фундаментальной точки зрения по причине специфики их кристаллических и электронных структур. В их число входят также бинарные антимониды редкоземельных металлов (РЗМ), но

особенно привлекательны тройные антимониды  $\text{Yb}_{14}\text{MnSb}_{11}$  и  $\text{Eu}_{14}\text{MnSb}_{11}$ , чья совокупность свойств определяет их перспективу использования в качестве высокотемпературных термоэлектриков. Они плавятся выше  $1500^\circ\text{C}$ , имеют предпочтительно ионный тип химической связи, большой размер кристаллической решетки ( $\sim 6000\text{\AA}^3$ ), отличающейся сложностью из-за присутствия кластерных и цепочечных структурных фрагментов сурьмы среди тяжёлых катионов РЗМ. Интерес к этому материалу  $\text{Yb}_{14}\text{MnSb}_{11}$ , востребованному как материал  $p$ -типа, проявляет наибольшую эффективность при высоких температурах, имея  $ZT=1.1$  при  $1275\text{K}$ . При испытаниях термоэлектрических параметров данного соединения разные приёмы уже были использованы, направленные на оптимизацию  $ZT$  за счёт повышения электропроводности и понижения теплопроводности, базируясь, в основном, на процесс гетеровалентного замещения ионов  $\text{Yb}^{2+}$  или анионов  $\text{Sb}^{3-}$  на катионы и анионы с иной валентностью. Такие замены приводят к улучшению физических рабочих характеристик  $\text{Yb}_{14}\text{MnSb}_{11}$ . В данной работе приводятся некоторые свойства твёрдых растворов  $\text{Yb}_{14-x}\text{Dy}_x\text{MnSb}_{11}$ .

### Экспериментальная часть

**Рост монокристаллов.** Кристаллы были получены флукс методом с использованием олова в качестве высокотемпературного растворителя по методике, описанной в работе [3]. Кристаллы  $\text{Yb}_{14-x}\text{Dy}_x\text{Mn}_6\text{Sb}_{11}\text{Sn}_{86}$  с заданным количеством допанта были выращены в стеклографитовых тиглях, запаянных в кварцевую ампулу, нагретую и выдержанную при  $1000^\circ\text{C}$  с последующим охлаждением до  $700^\circ\text{C}$  со скоростью  $2^\circ\text{C}/\text{час}$  и центрифугированием расплава в течении 5 минут. Полученные кристаллы анализировались следующими методами анализа:

**Микронзондовый анализ.** Количественный состав кристаллов с размером  $\geq 1 \times 1 \times 1 \text{ мм}^2$  выполнен микронзондовым анализом на приборе JXA -8100, JEOL (Japan), используя напряжение  $20 \text{ kV}$  и ток  $30 \text{ нА}$ . Для каждого элемента имелся стандарт в виде:  $\text{YbPO}_4$ ,  $\text{DyPO}_4$ ,  $\text{SnO}_2$ ,  $\text{Sb}$ . Состав основной фазы каждого образца определяли, как среднее значение. Экспериментальные данные в результате математической обработки представлены в табл. 1.

**Таблица 1.** Составы основных и примесных фаз

| Номинальный состав                                | Реальный состав основной фазы                                                    | Состав примесных фаз                       |
|---------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------|
| $\text{Yb}_{13.9}\text{Dy}_{0.1}\text{MnSb}_{11}$ | $\text{Yb}_{13.86(5)}\text{Dy}_{0.14(2)}\text{Mn}_{1.12(2)}\text{Sb}_{10.84(2)}$ | $\text{Yb}_1\text{Mn}_2\text{Sb}_{2.1}$ Sn |
|                                                   | $\text{Yb}_{13.83(7)}\text{Dy}_{0.17(3)}\text{Mn}_{1.12(2)}\text{Sb}_{10.90(6)}$ | $\text{Yb}_1\text{Mn}_2\text{Sb}_{2.1}$ Sn |
| $\text{Yb}_{13.7}\text{Dy}_{0.3}\text{MnSb}_{11}$ | $\text{Yb}_{13.56(6)}\text{Dy}_{0.45(3)}\text{Mn}_{1.13(1)}\text{Sb}_{10.88(6)}$ | $\text{Yb}_1\text{Mn}_{2.1}\text{Sb}_2$ Sn |
|                                                   | $\text{Yb}_{13.57(8)}\text{Dy}_{0.42(6)}\text{Mn}_{1.13(1)}\text{Sb}_{10.86(5)}$ | $\text{Yb}_1\text{Mn}_{2.1}\text{Sb}_2$ Sn |
| $\text{Yb}_{13.5}\text{Dy}_{0.5}\text{MnSb}_{11}$ | $\text{Yb}_{13.55(4)}\text{Dy}_{0.46(2)}\text{Mn}_{1.12(1)}\text{Sb}_{10.93(4)}$ | $\text{Yb}_1\text{Mn}_{2.1}\text{Sb}_2$ Sn |
|                                                   | $\text{Yb}_{13.54(4)}\text{Dy}_{0.47(2)}\text{Mn}_{1.12(1)}\text{Sb}_{10.96(4)}$ | $\text{Yb}_1\text{Mn}_{2.1}\text{Sb}_2$ Sn |
| $\text{Yb}_{13.3}\text{Dy}_{0.7}\text{MnSb}_{11}$ | $\text{Yb}_{13.56(5)}\text{Dy}_{0.45(3)}\text{Mn}_{1.12(2)}\text{Sb}_{10.93(6)}$ | $\text{Yb}_1\text{Mn}_{2.1}\text{Sb}_2$ Sn |
|                                                   | $\text{Yb}_{13.55(4)}\text{Dy}_{0.45(2)}\text{Mn}_{1.14(2)}\text{Sb}_{10.96(3)}$ | $\text{Yb}_1\text{Mn}_{2.1}\text{Sb}_2$ Sn |
| $\text{Yb}_{13.1}\text{Dy}_{0.9}\text{MnSb}_{11}$ | $\text{Yb}_{13.55(6)}\text{Dy}_{0.46(3)}\text{Mn}_{1.13(2)}\text{Sb}_{10.96(7)}$ | Sn                                         |
|                                                   | $\text{Yb}_{13.57(8)}\text{Dy}_{0.45(2)}\text{Mn}_{1.12(2)}\text{Sb}_{10.90(7)}$ | Sn                                         |

## Рентгеноструктурный анализ

Рентгеновские спектры растертых кристаллов записывали на приборе Philips PW 1830 с медным излучением (рис., табл. 2). Параметры решётки, её объём рассчитывали обработкой экспериментальных данных методом Ритфелда, используя программу Program PCW2.3 и образец  $\text{Yb}_{14}\text{MnSb}_{11}$  (PDF:89-783). Установлено, что образцы имеют тетрагональную структуру типа  $\text{Ca}_{14}\text{MnSb}_{11}$ .

**Таблица 2** - Структурные данные образцов  $\text{Yb}_{14-x}\text{Dy}_x\text{MnSb}_{11}$

| X    | a, нм  | c, нм  | V, нм <sup>3</sup> |
|------|--------|--------|--------------------|
| 0    | 1.6578 | 2.1897 |                    |
| 0.1  | 1.6618 | 2.1999 | 6.075              |
| 0.3  | 1.6619 | 2.2021 | 6.082              |
| 0.5  | 1.6622 | 2.2022 | 6.084              |
| 0.7  | 1.6623 | 2.2013 | 6.099              |
| 0.9* | 1.6635 | 2.2042 | 6.099              |

Параметры решётки были использованы для построения их графической зависимости от номинального и реального составов образцов для определения предела растворимости введенных в решётку допирующих элементов (рис.)

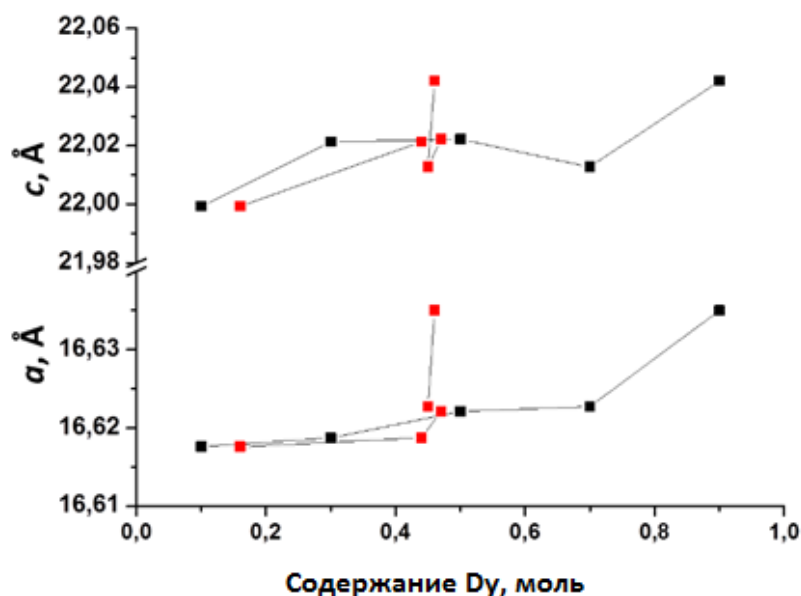
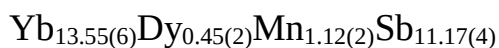
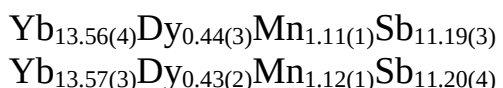


**Рисунок.** Параметры решётки как функция номинального содержания Dy относительно параметров решётки. Заданный состав – чёрные точки, реальный – красные

Зависимости параметров решётки от реального количества введенного количества диспрозия представлены на рисунке, причём они даны в сравнении с количеством диспрозия, введенного в исходную шихту.

Воспроизводимость составов и их пространственная однородность, измеренная методом МРСА, показаны следующее:



## Выводы

Были измерены температуры плавления и термодинамические свойства твёрдых растворов,  $\text{Yb}_{14-x}\text{Dy}_x\text{MnSb}_{11}$ . Изоморфное замещение иттербия в матрице на атомы увеличивает её термическую стабильность. При допинировании  $\text{Yb}_{14}\text{MnSb}_{11}$  диспрозием, начиная с концентрации  $x=0.1$  наблюдается заметное повышение величины энтальпии растворения твёрдых растворов во всех случаях. При составе  $x=0.5$  обнаружено изменение в закономерности изменения энтальпии растворения, что подтверждают полученные изломы. В других свойствах, примерно при этом же составе, при корреляции с данными микронзондового анализа, в кристаллическую решетку  $\text{Yb}_{14}\text{MnSb}_{11}$  иттербий заменяется диспрозием до состава  $x \approx 0.45 - 0.5$ , что хорошо согласуется с литературным данным по допинировании  $\text{Yb}_{14}\text{MnSb}_{11}$  другими элементами [4-6].

## Литература

1. Brown S.R., Kauzlarich S.M., Gascoin F., Shyder G. // J. Chemical Mater., 2006, v.16, p. 1873.
2. Toberer E.S., Brown S.R., Shyder G.J., Ikeda T., Kauzlarich S.M. // Appl.Phys.let., 2008, v.93, p. 6211.
3. Chan J.Y., Olmstead M.M., Kauzlarich S.M., Webb D.J. // Chem. Mater.1998, v.10, p. 3583.
4. Toberer E.S., Shyder G., Cox J., Brown S.R., Ikeda T., Kauzlarich S.M., May A.F. // Advanced Funational Materials 2008, v. 18, v. 18, p. 2785.
5. Uvarova C.A., Abdusalyamova M.N., Makhmudov F, Kurt S., Fleurial J.P., Kauzlarich S.M. // Science of Advance Materials, 2011, v.3. p. 652.
6. Roudebush J.H., Grebenkemper J., Hu Y., Kazem N., Abdusalyamova M.N., Kauzlarich S.M. //J. of Solid State Chemistry, 2014, v. 211, p. 206.

УДК 54.057

## СИНТЕЗ ИНВЕРТИРОВАННЫХ ОПАЛОВ БЛАГОРОДНЫХ МЕТАЛЛОВ С ХИМИЧЕСКИ МОДИФИЦИРОВАННОЙ ПОВЕРХНОСТЬЮ

Алиева Д.Р.

*Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова  
(г. Москва, Российская Федерация)*

**Аннотация.** В данной работе рассмотрены вопросы создания и изучения металлических наноструктур, а именно инвертированных опалов на основе серебра, с химически модифицированной поверхностью для применения в спектроскопии гигантского комбинационного рассеяния (ГКР). В ходе исследований были использованы методы вертикального осаждения полистирольных микросфер для получения исходных структур, электрохимического осаждения серебра и последующего удаления полимерной матрицы для

формирования инвертированных опалов. Особое внимание уделено модификации поверхности полученных наноструктур 4-аминотиофенолом (4-АТФ), что позволило существенно улучшить их физико-химические свойства и увеличить эффективность регистрации ГКР-сигналов. В работе приведены результаты анализа спектральных характеристик, подтверждающих возможность применения полученных материалов в аналитических и диагностических целях, а также обсуждаются перспективы их дальнейшего использования в различных прикладных областях.

**Ключевые слова:** инвертированный опал, спектроскопия зеркального отражения, серебро, гигантское комбинационное рассеяние, модифицирование.

## SYNTHESIS OF INVERTED OPAL NOBLE METALS WITH CHEMICALLY MODIFIED SURFACE

Alieva D.R.

Lomonosov Moscow State University  
(Moscow, Russia)

**Annotation.** This paper considers the creation and study of metallic nanostructures, namely silver-based inverted opals with a chemically modified surface for use in surface-enhanced Raman scattering (SERS). The studies involved vertical deposition of polystyrene microspheres to obtain the initial structures, electrochemical deposition of silver and subsequent removal of the polymer matrix to form inverted opals. Particular attention is paid to surface modification of the obtained nanostructures with 4-aminothiophenol (4-ATP), which significantly improved their physicochemical properties and increased the efficiency of SERS signal registration. The paper presents the results of spectral characteristics analysis confirming the possibility of using the obtained materials for analytical and diagnostic purposes, and discusses the prospects for their further use in various applied areas.

**Keywords:** inverted opal, specular reflection spectroscopy, silver, surface-enhanced Raman scattering, modification.

Современная наука и технологии стремительно развиваются, и одной из важнейших областей исследований является синтез и модификация наноматериалов. Наноматериалы обладают уникальными свойствами, которые могут быть использованы в различных областях, включая катализ и сенсорику [1]. Одним из таких наноматериалов являются инвертированные опалы серебра с химически модифицированной поверхностью.

Металлические опалы – это уникальные наноструктуры, привлекательные для различных приложений в оптических устройствах. Синтез металлических инвертированных опалов представляет собой многостадийный процесс, в результате которого формируются плёнки с упорядоченной системой пор, обладающие обратной микроструктурой по отношению к обычным (прямым) опалам. Инвертированный опал — это упорядоченная структура, состоящая из полых микросфер или фрагментов сфер [2]. Инвертированный опал обычно синтезируется на основе прямого опала, где последний выступает в качестве матрицы, которая на одном из этапов удаляется.

Одной из областей применения металлических подложек с инвертированной опаловой структурой является спектроскопия гигантского комбинационного рассеяния (ГКР, SERS). Спектроскопия ГКР обычно проводится с использованием коллоида серебра или золота, или на подложке, содержащей

наноразмерное серебро или золото. Поверхностные плазмоны серебра и золота возбуждаются лазером, что приводит к увеличению электрического поля вокруг металла. Учитывая, что интенсивность комбинационного рассеяния пропорциональна электрическому полю, измеряемый сигнал значительно возрастает (до  $10^{11}$  раз). Способность анализировать состав малых проб вещества делает использование спектроскопии ГКР актуальным для анализа объектов окружающей среды, медицинской диагностики, фармацевтики, материаловедения, художественных и археологических исследований, криминалистики, обнаружения наркотиков и взрывчатых веществ и анализа качества продуктов питания.

*Целью данной работы* является синтез и исследование свойств металлических инвертированных опалов с химически модифицированной поверхностью для применения в спектроскопии ГКР. В качестве метода синтеза инвертированных опалов было выбрано электрохимическое осаждение металла. Методы исследования полученных материалов включают циклическую вольтамперометрию (ЦВА), сканирующую электронную микроскопию (СЭМ), спектроскопию зеркального отражения (СЗО) [3] и другие методы.

В работе были синтезированы монодисперсные полистирольные микросферы диаметром около 350 нм методом безмульгаторной полимеризации стирола с персульфатом калия в качестве инициатора. Прямые опалы формировались методом вертикального осаждения под действием электрического поля. В полученные структуры методом электрохимического осаждения внедрялось серебро с использованием роданидного электролита серебрения, что обеспечивало контроль морфологии и толщины плёнок.

Полистирольные микросферы удаляли растворением в толуоле, формируя инвертированные опалы серебра. Далее была проведена химическая модификация поверхности серебра с использованием 4-аминотиофенола (4-АТФ), который образует устойчивые ковалентные связи с поверхностью металла, существенно влияя на её физико-химические свойства.

Сформированы инвертированные опалы серебра с нормированной толщиной  $k = 0.5$  и  $k = 0.7$ . На рисунке 1 приведены микроструктуры инвертированных опалов серебра, полученные на растровом электронном микроскопе. Показано, что из роданидного электролита серебрения получены пористые плёнки серебра с полусферическими полостями, имеющие морфологию инвертированного опала.

Были сняты спектры зеркального отражения [4] полученных образцов, результаты приведены на рисунке 2.

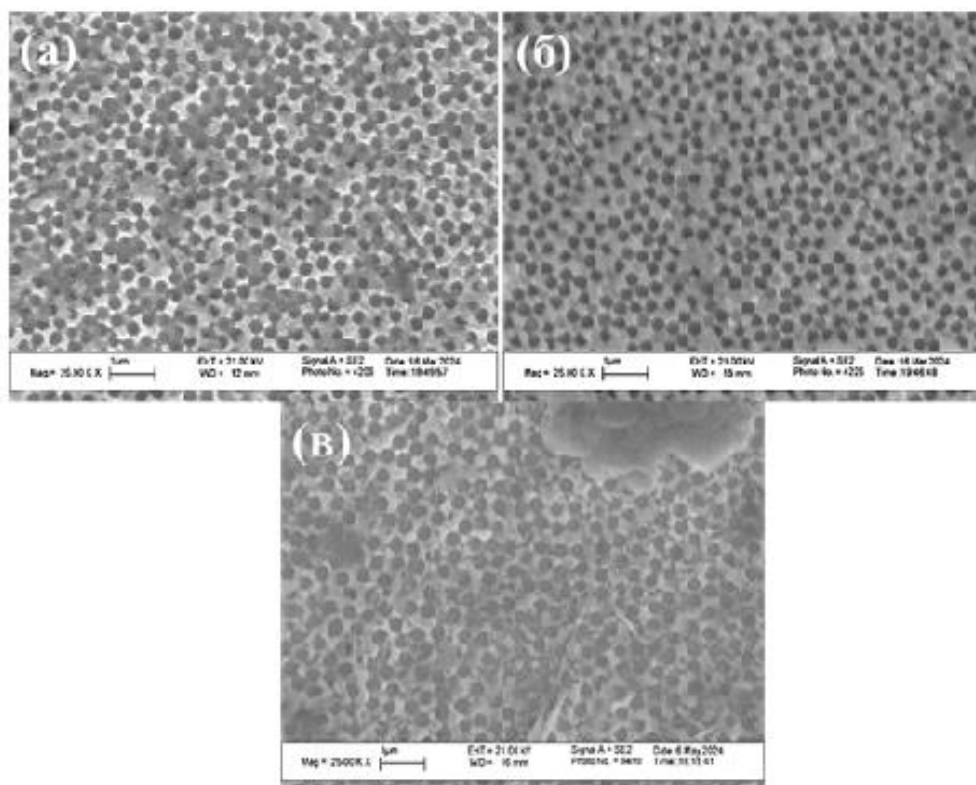


**Рисунок 1.** Микроструктуры ИОС а)  $k_{\text{теор}}=0.7$ ;  $k_{\text{эксп}}=0.75$ ; б)  $k_{\text{теор}}=0.7$ ;  $k_{\text{эксп}}=0.8$ ; в)  $k_{\text{теор}}=0.5$ ;  $k_{\text{эксп}}=0.5$ .

Согласно полученным данным, полученные плёнки имеют минимумы поглощения в красной области спектра и ближнем ИК-диапазоне. Согласно литературным данным [5], эти особенности можно отнести к полосам ППР локализованного или смешанного характера.

В соответствии с результатами, можно ожидать, что для наблюдения резонансного ГКР, усиленного за счёт совпадения энергии ППР подложки с длиной волны возбуждающего лазера, оптимальным является возбуждение ГКР лазером с длиной волны 785 нм [6, 7].

Также проведено химическое модифицирование поверхности серебра 4-АТФ, которое подтвердилось изменением краевого угла смачивания. Поверхность металла после модификации стала гидрофильной, что связано с наличием аминогрупп, свободных для последующих реакций или взаимодействий с исследуемыми веществами [8].

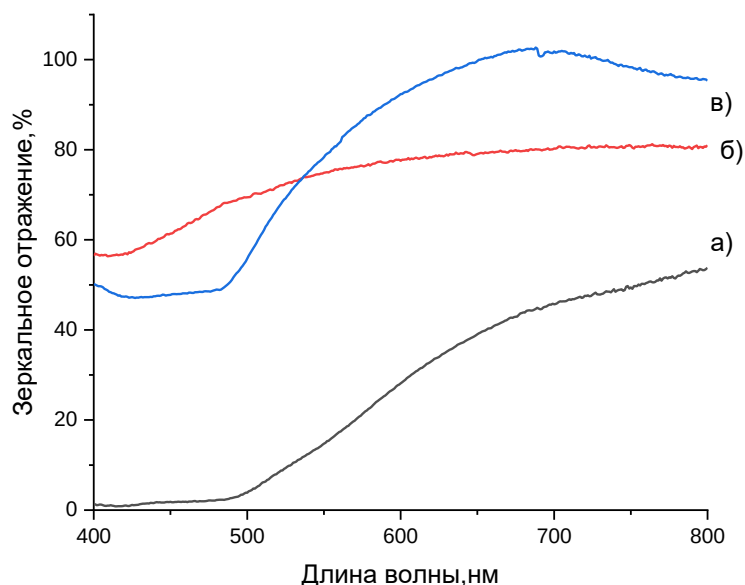


**Рисунок 2.** Спектры зеркального отражения ИОС Ag ( $\theta = 8^\circ$ ).  
а) ИОС Ag при  $k_{\text{теор}} = 0.7$ ;  $k_{\text{эксп}} = 0.75$ ; б) гладкая пленка Ag толщиной 100 нм;  
в) ИОС Ag  $k_{\text{теор}} = 0.5$ ;  $k_{\text{эксп}} = 0.5$ .

Методом комбинационной спектроскопии были изучены спектры модифицированных подложек. Полученные данные подтвердили адсорбцию 4-АТФ на металлической поверхности, при этом были выявлены характеристики спектральные моды, типичные для валентных и деформационных колебаний связей C–S, C–C и C–N в молекуле 4-АТФ.

### Литература

1. Ашуров М.С. Синтез и сенсорные свойства фотонно-кристаллических пленок опалового типа// М.С. Ашуров. Диссертация ВАК РФ 02.00.21, кандидат химических наук. 2021, ФГБОУ ВО «Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова». 2021 – 172 с.
2. Долганов П.В., Масалов В.М., Сухинина Н.С., Долганов В.К., Емельченко Г.А. Инвертированный опал на основе полимерного наполнителя и трансформация его оптических характеристик// Физика твердого тела, 2014, Т. 56. Вып. 4. – С. 717-721.
3. Bartletta P.N., Baumberg J.J., Coyleb b S. and M. E. Abdelsalam. Optical properties of nanostructured metal films// Faraday Discuss., 2025, Advance Article. 2004. – Vol. 125, – С. 117-132. Электронный ресурс: <https://pubs.rsc.org/en/content/articlelanding/2004/fd/b304116f> Дата обращения: 15.02.2025. DOI <https://doi.org/10.1039/B304116F>.
4. Астафуров М.О., Арабов Р.И., Ашуров М.С., Григорьева А.В. Синтез и оптические свойства опалоподобных плёнок Ag(ИО)/TiO<sub>2</sub>/Ag // В сб. Материаловедение, формообразующие технологии и оборудование. 2022

(ICMSSTE 2022). Изд.: Симферополь: Изд. дом КФУ Симферополь. - 2022. – С. 316-323.

5. Papadopoulou E, Gale N, Goodchild SA, Cleary DW, Weller SA, Brown T, Bartlett PN (2015) Strain discrimination of *Yersinia pestis* using a SERS-based electrochemically driven melting curve analysis of variable number tandem repeat sequences. *Chem Sci* 6:1846– 1852.
6. Radziuk A. et al. Highly effective hot spots for SERS signatures of live fibroblasts // *Nanoscale*, 2014, 6, p. 6115-6126.
7. Robert C. Maher SERS Hot Spots / *Raman Spectroscopy for Nanomaterials Characterization* ed. by S.S.R. Kumar Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 2012, USA, p. 215-260.
8. K. van der Maaden, P. Schipper, W. Jiskoot, and J. A. Bouwstra. Chemical Modifications of Gold Surfaces with Basic Groups and a Fluorescent Nanoparticle Adhesion Assay to Determine their Surface pKa// Copyright © 2019 American Chemical Society. *Langmuir*. Vol. 35. Iss. 22. – Pp.7121-7128. Электронный ресурс: <https://pubs.acs.org/doi/full/10.1021/acs.langmuir.9b00139>. (Дата обращения: 08.02.2025)

УДК 54.084

## СИНТЕЗ ПЛЕНОК СЛОЖНЫХ БРОМИДОВ МЕТОДОМ ТЕРМИЧЕСКОГО РАСПЫЛЕНИЯ

**Алиева Д.Р., Носирова Н.Х., Камилов Р.Х., Умедов Ш.Т.**  
**Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова**  
**(г. Москва, Российская Федерация)**

**Аннотация.** В работе представлены результаты исследования поликристаллических порошков и плёнок соединений  $CsCu_2Br_3$  и  $CsCu_2I_3$ , полученных методом термического распыления. Рентгенофазовый анализ подтвердил образование однофазных структур, соответствующих теоретическим составам. Микроструктура плёнок исследована методом растровой электронной микроскопии (РЭМ). Установлено, что плёнки  $CsCu_2I_3$  и  $CsCu_2Br_3$  состоят из округлых кристаллов размером от нескольких десятков нанометров до 200 нм. Полученные результаты подтверждают перспективность использования соединений  $CsCu_2Br_3$  и  $CsCu_2I_3$  для применения в области оптоэлектроники, однако требуется увеличить длительность распыления материалов для формирования более толстых и сплошных плёнок.

**Ключевые слова:** термическое распыление, галогенкупраты, фазовый анализ, ширина запрещённой зоны, фотолюминесценция.

## SYNTHESIS OF COMPLEX BROMIDE FILMS BY THERMAL SPRAY METHOD

D.R. Alieva, N.H. Nosirova, R.H. Kamilov., Sh.T. Umedov  
Lomonosov Moscow State University  
(Moscow, Russia)

**Annotation.** *The paper presents the results of studying polycrystalline powders and films of  $\text{CsCu}_2\text{Br}_3$  and  $\text{CsCu}_2\text{I}_3$  compounds obtained by thermal sputtering. X-ray phase analysis confirmed the formation of single-phase structures corresponding to theoretical compositions. The microstructure of the films was studied by scanning electron microscopy (SEM). It was found that  $\text{CsCu}_2\text{I}_3$  and  $\text{CsCu}_2\text{Br}_3$  films consist of rounded crystals ranging in size from several tens of nanometers to 200 nm. The obtained results confirm the prospects of using  $\text{CsCu}_2\text{Br}_3$  and  $\text{CsCu}_2\text{I}_3$  compounds for application in the field of optoelectronics, however, it is necessary to increase the duration of sputtering of materials to form thicker and continuous films.*

**Keywords:** vacuum thermal evaporation, copper halides, phase analysis, band gap, photoluminescence

В последние годы неорганические и органо-неорганические галогениды сложного состава активно исследуются из-за их потенциала в оптоэлектронике и фотовольтаике. Особый интерес представляют соединения со структурами перовскита [1] и двойного перовскита [2], а также ранее малоизученные бинарные хлориды, бромиды и иодиды. Наибольшее внимание уделяется двойным иодидам d-элементов, обладающим ионной проводимостью. Несмотря на их низкие температуры плавления, именно иодиды считаются перспективными материалами для солнечных элементов, фотодетекторов и фотокатализаторов [3]. Галогенocupраты (I), в частности соединения  $\text{CsCu}_2\text{X}_3$ , привлекают внимание благодаря сочетанию оптических и электрических свойств. Эти орторомбические прямозонные полупроводники с широкой запрещённой зоной ( $> 3$  эВ) обладают высокой подвижностью носителей заряда [4] и яркой фотолюминесценцией в видимом диапазоне. Свечение обусловлено переходами между орбиталями меди и галогена, а также релаксацией самозахваченных экситонов (self-trapping excitons) [5].  $\text{CsCu}_2\text{X}_3$  также демонстрируют анизотропную электропроводность и электролюминесценцию, что делает их перспективными для светодиодов и микроэлектроники [6].

Разрабатываются новые методы использования соединений  $\text{CsCu}_2\text{X}_3$  в качестве фотодетекторов [7-8]. К их ключевым преимуществам относят стабильную ширину запрещённой зоны при изменении температуры, включая низкотемпературный диапазон, а также незначительное влияние температурных колебаний на эмиссионные свойства материала.

В связи с высоким интересом к галогенocupратам (I) цезия  $\text{CsCu}_2\text{X}_3$ , перспективным направлением изучения представляется разработка методов синтеза плёночных структур на основе этих материалов. Данная работа является первым подходом к изучению возможности формирования плёнок галогенocupратов (I) цезия  $\text{CsCu}_2\text{Br}_3$  и  $\text{CsCu}_2\text{I}_3$  методом вакуумного термического распыления, который является экспрессным, масштабируемым, не требующим дорогостоящих реактивов.

Для получения поликристаллических образцов  $\text{CsCu}_2\text{Br}_3$  и  $\text{CsCu}_2\text{I}_3$  использовался метод кристаллизации из расплава в запаянных кварцевых ампулах. Такой способ обеспечивает синтез в замкнутом объёме, что важно из-за высокой летучести компонентов. Исходные бромиды ( $\text{CsBr}$ ,  $\text{CuBr}$ ) или иодиды ( $\text{CsI}$ ,  $\text{CuI}$ ) смешивались в стехиометрических соотношениях и перетирались в атмосфере аргона. Смесь помещали в ампулы, которые вакуумировали (0.08 мм рт. ст.), охлаждали жидким азотом и запаивали. Для равномерного нагрева ампулы помещали в порошок  $\text{Al}_2\text{O}_3$  и нагревали до  $650^\circ\text{C}$  со скоростью  $1^\circ\text{C}/\text{мин}$ , затем охлаждали до комнатной температуры. Масса каждой навески составляла 2 г.

**Таблица 1.** Масса образцов навесок для синтеза поликристаллических материалов теоретического состава  $\text{CsCu}_2\text{Br}_3$  и  $\text{CsCu}_2\text{I}_3$

| образец                    | $m(\text{CsBr})$ , г | $m(\text{CuBr})$ , г | $m(\text{CsI})$ , г | $m(\text{CuI})$ , г |
|----------------------------|----------------------|----------------------|---------------------|---------------------|
| $\text{CsCu}_2\text{Br}_3$ | 0.423                | 0.570                | -                   | -                   |
| $\text{CsCu}_2\text{I}_3$  | -                    | -                    | 0.6084              | 0.894               |

Термическое напыление сложных галогенидов осуществлялось на вакуумной установке МАГ-5А (ЗАО «ПРОТОН», Россия) при напряжении 2.8–3.6 В. В качестве нагревательного элемента использовалась молибденовая фольга толщиной 0.3 мм, на которую устанавливали кварцевую лодочку с исследуемым материалом. Образцы соединений  $\text{CsCu}_2\text{Br}_3$  и  $\text{CsCu}_2\text{I}_3$  предварительно получали методом отжига в ампулах, либо путём твёрдофазной реакции, либо кристаллизацией из расплава.

На рисунке 1 представлены данные рентгенофазового анализа.

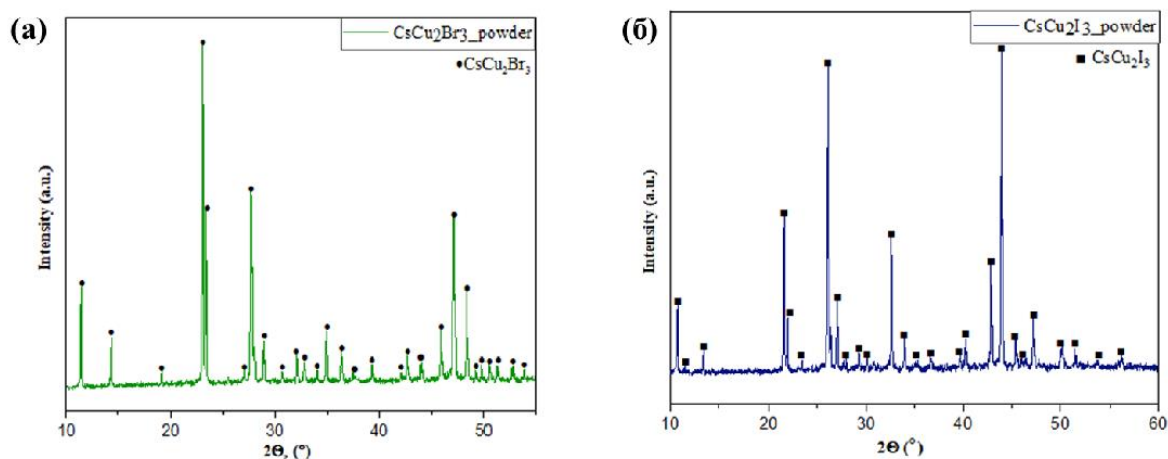


**Рисунок 1.** Данные РФА поликристаллических образцов (а) теоретического состава  $\text{CsCu}_2\text{Br}_3$ , (б) теоретического состава  $\text{CsCu}_2\text{I}_3$

Анализ рентгеновских дифракционных данных показал высокую фазовую чистоту синтезированных порошков  $\text{CsCu}_2\text{Br}_3$  и  $\text{CsCu}_2\text{I}_3$  (рис. 1). Основные пики на рентгенограммах соответствуют заявленным фазам, что свидетельствует об успешности выбранного метода синтеза. Примеси или дополнительные фазы в образцах практически отсутствуют.

Методом спектроскопии диффузного отражения оценивалась ширина запрещённой зоны полученных материалов. Для образца состава  $\text{CsCu}_2\text{Br}_3$  (рис. 2 а, б), полученная в ходе экспериментов, она составила 3.38 эВ, что неплохо согласуется с литературными данными [9], где значения варьируются от 3.50 до 3.74 эВ. Это подтверждает наличие прямого оптического перехода в данной области, как и ожидается для прямозонного полупроводника. Смещение края поглощения в видимую область может быть связано с дефектными уровнями вблизи валентной зоны.

Спектр  $\text{CsCu}_2\text{I}_3$  иллюстрирует рисунок 2 (в, г). Край поглощения материала лежит в ультрафиолетовом диапазоне при 300–350 нм, что соответствует данным литературы. При спрямлении области края поглощения спектра в координатах Тауца оценена величина ширины запрещённой зоны, которая составила около 3.37 эВ. Эта величина соответствует литературным сведениям.

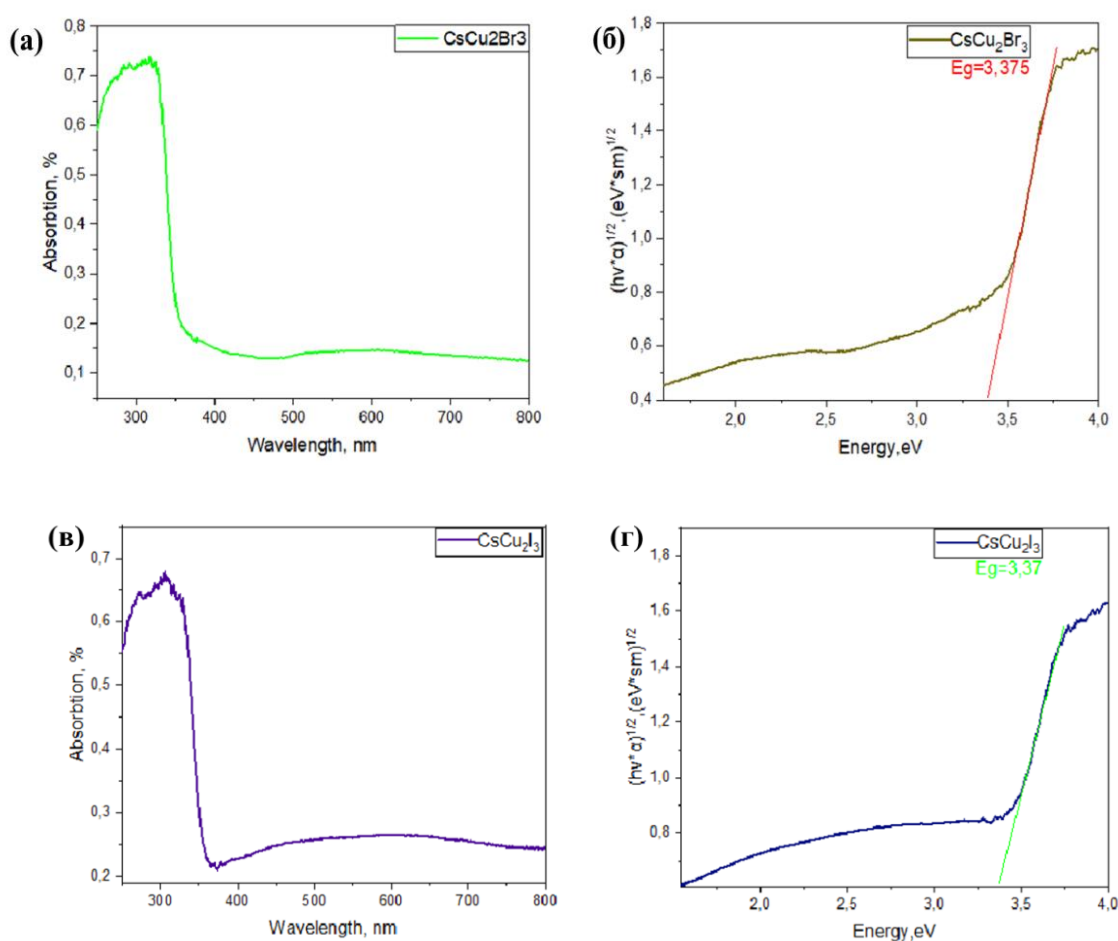


**Рисунок 2.** Спектры диффузного отражения поликристаллических образцов (а, б) состава  $\text{CsCu}_2\text{Br}_3$  и (в, г)  $\text{CsCu}_2\text{I}_3$ .

На рисунке 3 представлена микроструктура образцов пленок теоретического состава  $\text{CsCu}_2\text{Br}_3$ . Как видно из результатов, размер зерна фазы  $\text{CsCu}_2\text{Br}_3$  составляет от нескольких десятков до 200 нм.

Зерно имеет округлую форму, в образцах отсутствуют кристаллы игольчатой формы, что, в целом, характерно для данных фаз при их растворном или расплавленном синтезе. Состав образцов плёнок исследовался методом РСМА

для уточнения равномерности распределения элементов в материалах. Показано, что элементный состав плёнок  $\text{CsCu}_2\text{Br}_3$  и  $\text{CsCu}_2\text{I}_3$  близко к теоретическому катионному соотношению  $\text{Cs}/\text{Cu} = 0.5$ , в пределах погрешности метода РСМА.

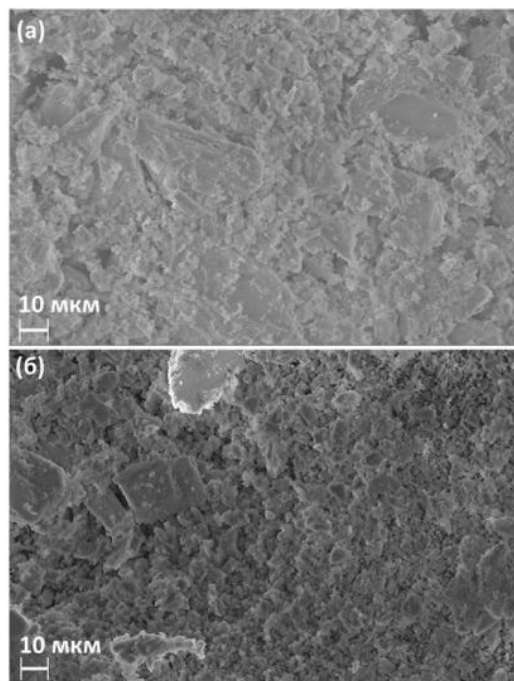


**Рисунок 3.** Данные растровой электронной микроскопии плёнок теоретического состава  $\text{CsCu}_2\text{Br}_3$  и  $\text{CsCu}_2\text{I}_3$

Катионное соотношение  $\text{Cs}/\text{Cu} = 0.4$  в случае  $\text{CsCu}_2\text{Br}_3$  и  $\text{Cs}/\text{Cu} = 0.5$  в случае  $\text{CsCu}_2\text{I}_3$ .

Рентгенограммы полученных плёнок представлены на рисунке 4.

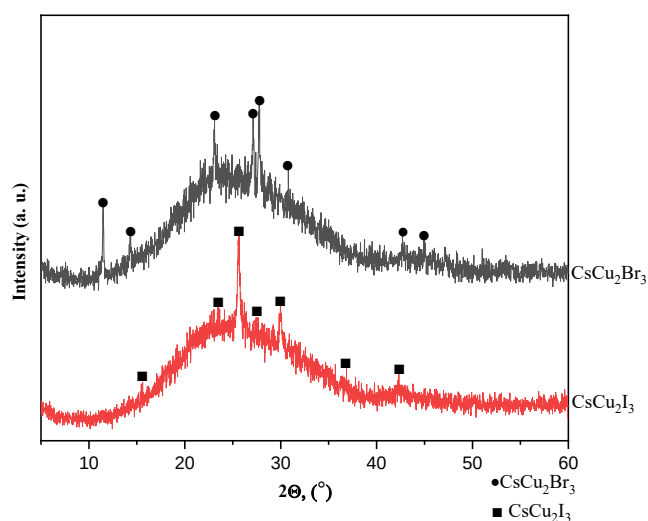


**Рисунок 4.** Данные РФА образцов поликристаллических плёнок теоретического состава (а)  $\text{CsCu}_2\text{Br}_3$  и (б)  $\text{CsCu}_2\text{I}_3$

Имеющиеся на рентгенограмме рефлексы в полной мере соответствуют фазам  $\text{CsCu}_2\text{Br}_3$  и  $\text{CsCu}_2\text{I}_3$  и рентгенограммам порошкообразных образцов (см. рис. 1).

Согласно данным фазового анализа, метод термического распыления позволяет сформировать однофазные пленки галогенкупратов (I) цезия  $\text{CsCu}_2\text{Br}_3$  и  $\text{CsCu}_2\text{I}_3$ . Полученные плёнки являются не вполне сплошными и имеют островковую структуру. Размер зёрна достигает 200 нм. Фазы  $\text{CsCu}_2\text{I}_3$  и  $\text{CsCu}_2\text{Br}_3$  представлены частицами округлой формы.

**Финансирование.** Работа выполнена при поддержке Российского научного фонда (Грант # 24-23-00339).

### Литература

1. Xiaoming Mo, Tao Li, Fengchang Huang, Zhuxin Li, Yulu Zhou, Tao Lin, Yifang Ouyang, Xiaoma Tao, Caofeng Pan. Highly-efficient all-inorganic lead-free 1D  $\text{CsCu}_2\text{I}_3$  single crystal for white-light emitting diodes and UV photodetection// Nano Energy, 2021, Vol. 81, Article 105570. DOI: 10.1016/j.nanoen.2020.105570.
2. S. Hull, P. Berastegui. Crystal structures and ionic conductivities of ternary derivatives of the silver and copper monohalides—II: ordered phases within the  $(\text{AgX})_x-(\text{MX})_{1-x}$  and  $(\text{CuX})_x-(\text{MX})_{1-x}$  ( $M = \text{K, Rb, and Cs}$ ;  $X = \text{Cl, Br, and I}$ ) systems// J. of Solid State Chemistry, 2004, Vol. 177, Iss. 9, Pp. 3156–3173. DOI: 10.1016/j.jssc.2004.05.004.
3. Zhicong Zhou, Yanyan Li, Zengshan Xing, Zhi Li, Kam Sing Wong, Jonathan E. Halpert. Potassium and Rubidium Copper Halide  $\text{A}_2\text{CuX}_3$  ( $A = \text{K, Rb}$ ,  $X = \text{Cl, Br}$ ) Micro- and Nanocrystals with Near Unity Quantum Yields for White Light Applications// ACS Applied Nano Materials, 2021, Vol. 4, Iss. 12, Pp. 14188–14196. DOI: 10.1021/acsanm.1c03586.
4. Parth Vashishtha, Gautam V. Nutan, Benjamin E. Griffith, Yanan Fang, David Giovanni, Metikoti Jagadeeswararao, Tze Chien Sum, Nripan Mathews, Subodh G. Mhaisalkar, John V. Hanna, Tim White. Cesium copper iodide tailored nanoplates and nanorods for blue, yellow, and white emission// Chemistry of Materials, 2019, Vol. 31, Iss. 21, Pp. 9003–9011. DOI: 10.1021/acs.chemmater.9b03250.
5. Jianbin Tan, Delong Li, Jiaqi Zhu, Na Han, Youning Gong, Yupeng Zhang. Self-trapped excitons in soft semiconductors. Nanoscale, 2022, Vol. 14, Pp. 16394–16414. DOI: 10.1039/D2NR03935D.
6. Rachel Rocanova, Aymen Yangui, Gijun Seo, Tielyr D. Creason, Yuntao Wu, Do Young Kim, Mao-Hua Du, Bayrammurad Saparov. Bright Luminescence from Nontoxic  $\text{CsCu}_2\text{X}_3$  ( $X = \text{Cl, Br, I}$ )// ACS Materials Letters, 2019, Vol. 1, Iss. 4, Pp. 459–465. DOI: 10.1021/acsmaterialslett.9b00274.
7. Yang, W. S., Park, B.-W., Jung, H. S., et al. Iodide-Based Lead-Free Perovskites for Optoelectronic Applications// Nature Photonics, 2017, Vol. 11, Iss. 7, Pp. 491–494. DOI: 10.1038/nphoton.2017.101.
8. Zhao, X., et al.  $\text{CsCu}_2\text{Br}_3$  and  $\text{CsCu}_2\text{I}_3$ : Structure and Optoelectronic Properties. //J. of Materials Chemistry A, 2020, Vol. 8, Iss. 12, Pp. 625806266. DOI: 10.1039/C9TA12345A.

## ИК-СПЕКТРОСКОПИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ГОРНЫХ ПОРОД ПАМИРА И ЯГНОБА

Гадоев С.Ш., Шеров К.М., Курбонова Ф.Ш.

*Таджикский национальный университет*

*(г. Душанбе, Республика Таджикистан)*

**Аннотация.** В данной статье авторы рассматривали краткий анализ литературных данных по применению метода ИК-спектроскопии для исследования состава горных пород. Изучен состав горных пород из двух регионов республики. По значениям характеристических частот определен качественный состав горных пород.

**Ключевые слова:** ИК-спектроскопия, горная порода, характеристические частоты, валентные и деформационные колебания.

## IR SPECTROSCOPIC STUDIES OF ROCKS OF PAMIR AND YAGNOB

S.Sh. Gadoev, K.M. Sherov, F.Sh. Kurbonova

*Tajik National University*

*(Dushanbe, Tajikistan)*

**Annotation.** The article considered a brief analysis of the literature data on the use of the IR spectroscopy method for studying the composition of rocks. The composition of rocks from two regions of the republic has been studied. The qualitative composition of rocks is determined by the values of the characteristic frequencies.

**Keywords:** IR spectroscopy, rock, characteristic frequencies, valence and deformation vibrations.

По инфракрасным спектрам поглощения можно определить качественный состав смеси, установить природу индивидуального соединения, проверить чистоту вещества на определенную примесь и установить структуру молекул соединения. Качественный анализ смеси веществ основан на том, что каждое индивидуальное вещество имеет свои полосы поглощения в спектре. Благодаря таким возможностям метод инфракрасной спектроскопии широко применяется при исследовании горных пород. Инфракрасная (ИК) спектроскопия является одним из ключевых методов изучения состава и структуры минералов, входящих в состав горных пород. Этот метод основан на поглощении инфракрасного излучения молекулами, что позволяет идентифицировать химические связи и функциональные группы, присутствующие в минералах. Различные минералы имеют характерные спектры поглощения. Например, силикаты проявляют интенсивные полосы в области  $800\text{--}1200\text{ см}^{-1}$ , карбонаты — в районе  $1400\text{--}1600\text{ см}^{-1}$ , а гидроксильные группы ( $\text{OH}^-$ ) — в диапазоне  $3000\text{--}3600\text{ см}^{-1}$ . Эти особенности позволяют эффективно анализировать состав горных пород [1].

ИК-спектроскопия играет важную роль не только в области химии, но и в петрологии, минералогии и геохимии, поскольку позволяет проводить неразрушающий анализ образцов. Её применение включает определение минерального состава, изучение процессов метаморфизма, исследование геохимических процессов и реконструкцию палеоклиматических условий. Процессы метаморфизма сопровождаются изменением структуры минералов,

что отражается на их ИК-спектрах. Например, дегидратация серпентина и переход его в оливин можно проследить по исчезновению полос ОН-групп. Анализ глинистых минералов и карбонатов с помощью ИК-спектроскопии позволяет определить климатические условия прошлого. Изменения в составе глинистых минералов могут свидетельствовать о колебаниях влажности и температуры в древние эпохи. Данный метод используется как в лабораторных исследованиях, так и в полевых условиях, обеспечивая быстрый и точный анализ минерального состава [2].

*Цель нашей работы* заключается в исследовании состава горных пород методом инфракрасной спектроскопии. Для проведения анализа были взяты образцы горных пород из регионов Памир и Ягноб. Для исследования анализируемые образцы были превращены в порошок в специальном устройстве для дробления. Навески массой по 1-2 мг исследуемой пробы с 100-200 мг высокочистого бромида калия помещали в агатовую ступку и аккуратно смешивали. Затем, из полученной смеси готовили таблетки путём прессования в отверстие алюминиевой кюветы. Исследование проводили на ИК Фурье - спектрометре марки IRAffinity-1 (Simadzu, Япония). Регистрировали спектр поглощения исследуемой пробы в пределах волнового числа от 4000 до 350  $\text{см}^{-1}$  при числе сканов равным 10. В качестве образца фона использовали таблетки из чистого бромида калия.

Для идентификации спектральных полос в ИК-спектрах исследуемых образцов использовали таблицы характеристических частот групп атомов, кратные связи, функциональные группы, радикалов и ионов приведенных в [3-5].

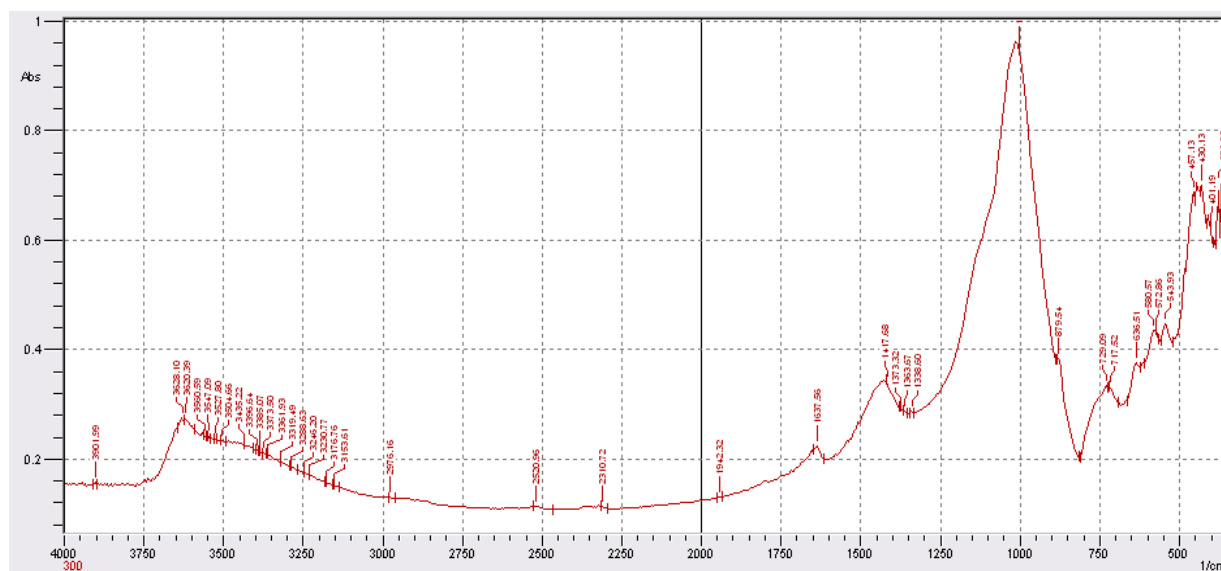


**Рисунок 1.** ИК-спектр горной породы местности Ягноб.

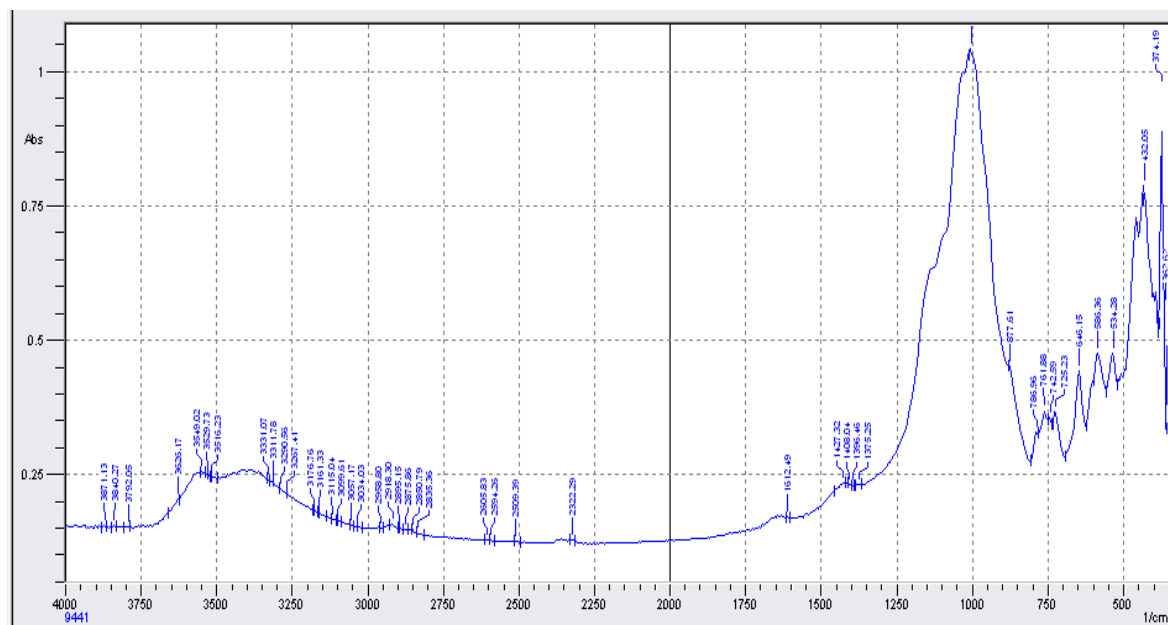


**Рисунок 2.** ИК-спектр горной породы местности Памир

Как видно из спектров, в составе обеих исследуемых образцов больше всего обнаружены интенсивные полосы поглощения силикатных пород в области волновых чисел  $800\text{--}1200\text{ см}^{-1}$ .

По результатам исследований в составе горной породы местности Ягноб были обнаружены полосы поглощения следующих соединений: пик при  $486.06\text{ см}^{-1}$  соответствует деформационному колебанию  $\delta(\text{SO}_3^{2-})$  молекулы  $\text{CaSO}_3$ , пик при  $632.65\text{ см}^{-1}$  соответствует валентному колебанию  $\nu(\text{Si-O})$  молекулы  $\text{SiO}_2$ , пик при  $746.45\text{ см}^{-1}$  соответствует деформационному колебанию  $\delta(\text{NO}_3^-)$  в молекуле  $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ , пик при  $777.31\text{ см}^{-1}$  соответствует колебанию  $\delta(\text{COO})$  в молекуле  $\text{Na}_2\text{C}_2\text{O}_4$ , пик при  $929.69\text{ см}^{-1}$  соответствует колебаниям  $\nu_s(\text{SO})$  в молекуле  $\text{BaSO}_3$ , пик при  $995.27\text{ см}^{-1}$  соответствует  $\nu_s(\text{SO})$  в кристаллогидрате  $\text{MgSO}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ , пик при  $1031.92\text{ см}^{-1}$  соответствует колебанию  $\nu(\text{ClO}_4^-)$  в кристаллогидрате  $\text{Mg}(\text{ClO}_4)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ , пик  $1419.61\text{ см}^{-1}$  соответствует колебанию  $\nu_e(\text{CO}_3^{2-})$   $\text{CaCO}_3$  (кальцит), пик  $1419,61\text{ см}^{-1}$  соответствует колебанию  $\nu_e(\text{NO})$  в  $\text{Ba}(\text{NO}_3)_2$ , пики  $3049.66$  и  $3134.33\text{ см}^{-1}$  соответствуют валентному колебанию  $\nu(\text{NH})$  в  $\text{NH}_4\text{Cl}$ , а пик  $3265.49\text{ см}^{-1}$  соответствует валентному колебанию  $\nu(\text{NH})$  в  $\text{NH}_4\text{NO}_3$ .

В составе горной породы из местности Памира были обнаружены полосы поглощения  $\nu(\text{SS})$  молекулы  $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$  при  $457.13\text{ см}^{-1}$ ,  $\delta_s(\text{SO}_3^{2-})$  молекулы  $\text{Na}_2\text{SO}_3$  при  $636,51$  и  $637,56\text{ см}^{-1}$ ,  $\delta_f(\text{SO}_4^{2-})$  в молекуле  $\text{BaSO}_4$  при  $636.51$  и  $636.81\text{ см}^{-1}$ ,  $\delta(\text{Al-O-Al})$  в  $\text{Al-O-Al}$  при  $717.52\text{ см}^{-1}$ ,  $\delta(\text{NO}_3^-)$  в  $\text{Ba}(\text{NO}_3)_2$  при  $729.09\text{ см}^{-1}$ ,  $\delta(\text{CO}_3^{2-})$  в  $\text{CaCO}_3$  (кальцит) при  $879.54\text{ см}^{-1}$ ,  $\nu_s(\text{SO}_3)$  в  $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$  при  $1002.98\text{ см}^{-1}$ ,  $\nu_s(\text{NO})$  в  $\text{Na}_3[\text{Co}(\text{NO}_2)_6]$  при  $1338.6\text{ см}^{-1}$ ,  $\nu_e(\text{NO})$  в  $\text{LiNO}_3$  при  $1373.39\text{ см}^{-1}$ ,  $\nu_e(\text{NO})$  в  $\text{Ba}(\text{NO}_3)_2$  при  $1415\text{ см}^{-1}$ , а  $\nu_s(\text{CO}_3^-)$  в  $\text{CaCO}_3$  (кальцит) при  $1420\text{ см}^{-1}$ .

По результатам исследований можно сделать вывод, о том что метод ИК-спектроскопии можно с успехом применять для исследования минералогического состава горных пород.

## Литература

1. Liu Y., Gao J. (2010). Application of FTIR spectroscopy in paleoclimatic reconstruction// Quaternary Science Reviews, 29(19-20), 2480-2491.
2. Madejová J. (2003). FTIR techniques in clay mineral studies//Vibrational Spectroscopy, 31(1), 1-10.
3. Тарасевич Б.Н. Основы ИК спектроскопии с преобразованием Фурье. //Подготовка проб в ИК спектроскопии. Москва. Изд.: МГУ. – 2012. – 22 с.
4. Тарасевич Б.Н. ИК спектры основных классов органических соединений. //Справочные материалы. Москва. Изд.: МГУ. 2012. – 54 с.
5. Казицына Л.А., Куплетская Н.Б., Применение УФ, ИК и ЯМР и масс-спектроскопии в органической химии// М. Изд.: Мир. 1979. – 292 с.

УДК 669.017.11.5

### О ВЗАИМОДЕЙСТВИИ ЦИНКА С ЭЛЕМЕНТАМИ IБ-IVБ ГРУПП ПЕРИОДИЧЕСКОЙ ТАБЛИЦЫ Д.И. МЕНДЕЛЕЕВА

Джураев Т.Д., Назришозода Д.С., Тошев М.Т., Халимова М.И.  
*Таджикский технический университет имени академика М.С. Осими  
(г. Душанбе, Республика Таджикистан)*

**Аннотация.** Авторами произведен анализ литературных данных по степени изученности двойных систем цинка с элементами периодической таблицы Д.И. Менделеева.

**Ключевые слова:** цинк, периодическая таблица Д.И. Менделеева, диаграмма состояния, взаимодействие компонентов, растворимость.

### ON THE INTERACTION OF ZINC WITH ELEMENTS OF I-IVB-GROUPS OF THE PERIODIC TABLE OF D.I. MENDELEEV

T.D. Juraev, D.S. Nazrishozoda, M.T. Toshev, M.I. Khalimova  
*Tajik Technical University after academician M.S. Osimi  
(Dushanbe, Tajikistan)*

**Annotation.** The authors analyzed the literature data on the degree of study of binary systems of zinc with elements of the periodic table of D.I. Mendeleyev.

**Keywords:** zinc, periodic table of D.I. Mendeleyev, phase diagram, interaction of components, solubility.

Цинк является важной добавкой в сплавах ювелирных изделий, к наиболее распространенным из которых относятся латунь и бронза. Все металлические детали, прокаты, трубы и т.д., содержащие цинк, отличаются высокой стойкостью к коррозионному разрушению, что увеличивает их срок службы. При производстве аккумуляторов электромобилей цинк добавляют в состав электролита, увеличивая тем самым его удельную теплоёмкость [1]. Для получения металлического цинка и изделий из него необходимы знания о его взаимодействии с различными элементами периодической таблицы. В связи с этим мы задались целью проанализировать уже изученные двойные системы

цинка с другими элементами и определить их степень информативности, а также установить малоизученные или вообще неизученные системы, для дальнейшего их исследования. Наглядным инструментом по отражению типов взаимодействия компонентов в системе является её диаграмма состояния. В настоящее время, согласно данным из [2-5], различными исследователями построено 49 двойных диаграмм состояния (ДС) с участием цинка, некоторые из которых не изучены до конца, а также есть те ДС, которые не изучены вовсе.

В данной работе ниже приводится теоретическое обобщение характера взаимодействия цинка с элементами IB-IVB групп Периодической таблицы, и делаются некоторые предположения по ещё неизученным ДС. На рисунке показаны схемы двойных диаграмм состояния систем цинка со следующими элементами IB-IVB групп: Cu, Ag, Au, Cd, Hg, Y, Ti, Zr, La, Ce, Pr, Nd, Sm, Yb, Th, U и Pu.

### **Цинк с элементами IB группы**

Анализ построенных ДС двойных систем цинка с элементами IB группы периодической таблицы показал, что цинк с медью [3] образует сложную ДС, где можно увидеть перитектические реакции, ограниченные твёрдые растворы (растворимость меди в цинке при 400° С равна 2.61 ат. %, а цинка в меди при 454° С составляет 38.3 ат. %), различные фазы ( $\beta$ ,  $\beta'$ ,  $\gamma$  (BT),  $\gamma'$ ,  $\gamma''$ ,  $\gamma'''$  (HT),  $\delta$ ,  $\epsilon$ ), эвтектоиды и химическое соединение  $\text{Cu}_3\text{Zn}$  в двух модификациях:  $\alpha_1$  и  $\alpha_2$ . Согласно данным [2], серебро с цинком неограниченно растворяются друг в друге в жидком состоянии, образуют перитектики, ограниченные твёрдые растворы (растворимость элемента в цинке при 431° С равна 5 ат. %, а цинка в элементе при 258° С составляет 40.2 ат. %) и 3 промежуточные фазы ( $\beta$ ,  $\gamma$  ( $\text{Ag}_5\text{Zn}_8$ ),  $\epsilon$ ), которые образуются по перитектической реакции, а также  $\beta'$  (метастабильная) и  $\zeta$  фазы. Система цинк-золото [2] имеет сложную ДС. Характеризуется она образованием твёрдых растворов (растворимость элемента в цинке при 423°С равна 5.34 ат. %, а цинка в элементе при 642°С составляет 31 ат. %), перитектических, перитектоидных и эвтектических равновесий, а также химических соединений ( $\text{Au}_5\text{Zn}_3$ ,  $\text{Au}_4\text{Zn}$ ,  $\text{Au}_3\text{Zn}$  ( $a_1$ ),  $\text{Au}_3\text{Zn}$  ( $a_2$ )).

### **Цинк с элементами IIB группы**

ДС системы Cd-Zn [2] эвтектического типа (координаты эвтектической точки: 266°С и 26,5 ат. %), в котором есть ограниченные твёрдые растворы [максимальная растворимость (ретроградный характер кривой) элемента в цинке при 350°С равна 1.5 ат. %, а цинка в элементе при 266°С составляет 5 ат. %]. Ртуть и цинк [4] неограниченно растворимы в жидком состоянии, и их ДС также эвтектического типа, но имеет в себе перитектоид, фазы  $\beta$  и  $\gamma$ , твёрдые растворы (растворимость цинка в элементе 5.83 ат. %, а растворимость элемента в цинке при 42.9°С колеблется от 0.08 до 13 ат. % согласно различным методам анализа) и химические соединения ( $\text{Hg}_2\text{Zn}_3$ ,  $\text{HgZn}_2$ ,  $\text{HgZn}_3$  или  $\text{Hg}_3\text{Zn}_8$ ), которые ещё до конца не изучены.

### **Цинк с элементами IIIB группы**

ДС Sc-Zn не построена, но согласно данным работ [2-5], существуют следующие соединения цинка со скандием:  $\text{ScZn}$ ,  $\text{ScZn}_2$ ,  $\text{ScZn}_{12}$  и  $\text{Sc}_3\text{Zn}_{17}$ . ДС иттрия и цинка [5] имеет в себе до восьми промежуточных фаз с

перитектическими и эвтектическими равновесиями следующих стехометрических составов:  $\text{YZn}$ ,  $\text{YZn}_2$ ,  $\text{YZn}_3$ ,  $\text{Y}_3\text{Zn}_{11}$ ,  $\text{Y}_6\text{Zn}_{23}$ ,  $\text{Y}_{13}\text{Zn}_{58}$ ,  $\text{YZn}_5$ ,  $\text{YZn}_6$ - $\text{YZn}_5$ ,  $\text{Y}_2\text{Zn}_{17}$ ,  $\text{YZn}_{12}$ . В проверенных нами источниках данные о взаимодействии цинка со следующими элементами практически отсутствуют: Pm, Er, Ac, Pa, Np, Am, Cm, Bk, Cf, Es, Fm, Md, No и Lr.

### Цинк с лантаноидами

Цинк с лантаном [4] практически не растворимы в твёрдом состоянии, образуют химические соединения -  $\text{LaZn}$ ,  $\text{LaZn}_2$ ,  $\text{LaZn}_4$ ,  $\text{LaZn}_5$ ,  $\text{LaZn}_{13}$ ,  $\text{La}_3\text{Zn}_{22}$ ,  $\text{La}_2\text{Zn}_{17}$ , и  $\text{LaZn}_{11}$ , перитектические и эвтектические реакции. Согласно проведённым работам, ДС системы Ce-Zn [2] состоит из перитектических и эвтектических невариантных равновесий и девяти химических соединений ( $\text{CeZn}$ ,  $\text{CeZn}_2$ ,  $\text{CeZn}_3$ ,  $\text{Ce}_3\text{Zn}_{11}$ ,  $\text{Ce}_{13}\text{Zn}_{58}$ ,  $\text{CeZn}_{5,25}$ ,  $\text{Ce}_3\text{Zn}_{22}$ ,  $\text{Ce}_2\text{Zn}_{17}$  и  $\text{CeZn}_{11}$ ). В системе Pr-Zn [5] можно обнаружить 8 промежуточных фаз ( $\text{PrZn}$ ,  $\text{PrZn}_2$ ,  $\text{PrZn}_3$ ,  $\text{Pr}_3\text{Zn}_{11}$ ,  $\text{Pr}_{13}\text{Zn}_{58}$ ,  $\sim\text{PrZn}_{5,25}$ ,  $\text{Pr}_3\text{Zn}_{22}$ ,  $\text{Pr}_2\text{Zn}_{17}$ ), образование перитектических, эвтектоидной и эвтектических реакций, а также растворимость до 11% цинка в  $\beta\text{Pr}$  при  $576^\circ\text{C}$  (температура эвтектики). Но растворимость празеодима в твёрдом цинке практически отсутствует.

ДС системы Nd-Zn [4] состоит из следующих невариантных реакций: перитектоидной, эвтектоидной, эвтектических и перитектических. В системе есть восемь соединений ( $\text{NdZn}$ ,  $\text{NdZn}_2$ ,  $\text{NdZn}_3$ ,  $\text{Nd}_3\text{Zn}_{11}$ ,  $\text{Nd}_{13}\text{Zn}_{58}$ ,  $\text{Nd}_3\text{Zn}_{22}$ ,  $\text{Nd}_2\text{Zn}_{17}$ ,  $\text{NdZn}_{11}$ ), а также ограниченная растворимость с одной стороны (максимальная растворимость цинка в  $\beta\text{-Nd}$  11 ат. %, а в  $\alpha\text{-Nd}$  примерно 2 ат. %). Система Sm-Zn [5] имеет в себе много невариантных реакций, состоящих из эвтектик, перитектик и эвтектоида. Есть 8 соединений ( $\text{SmZn}$ ,  $\text{SmZn}_2$ ,  $\text{SmZn}_3$ ,  $\text{Sm}_3\text{Zn}_{11}$ ,  $\text{Sm}_{13}\text{Zn}_{58}$ ,  $\text{SmZn}_5$ ,  $\text{Sm}_3\text{Zn}_{22}$ ,  $\text{Sm}_2\text{Zn}_{17}$ ,  $\text{SmZn}_{11-12}$ ,  $\text{SmZn}_{12}$ ), 4 из которых плавятся конгруэнтно, а остальные образуются по перитектической реакции.

ДС Eu-Zn [3] не исследована, но есть данные о образовании некоторых соединений:  $\text{EuZn}$ ,  $\text{EuZn}_2$ ,  $\text{EuZn}_3$ ,  $\text{EuZn}_{11}$ ,  $\text{EuZn}_{13}$ . ДС системы Gd-Zn [3] не построена, но имеются данные о образовании химических соединений ( $\text{GdZn}$ ,  $\text{GdZn}_2$ ,  $\text{GdZn}_3$ ,  $\text{Gd}_3\text{Zn}_{11}$ ,  $\text{Gd}_6\text{Zn}_{23}$ ,  $\text{Gd}_{13}\text{Zn}_{55}$ ,  $\text{GdZn}_5$ ,  $\text{Gd}_3\text{Zn}_{22}$ ,  $\text{Gd}_2\text{Zn}_{17}$ ,  $\text{GdZn}_{12}$ ).

ДС системы Tb-Zn [5] также не построена, но в системе обнаружено образование следующих соединений:  $\text{TbZn}$ ,  $\text{TbZn}_2$ ,  $\text{TbZn}_3$ ,  $\text{Tb}_3\text{Zn}_{11}$ ,  $\text{Tb}_6\text{Zn}_{23}$ ,  $\text{Tb}_{13}\text{Zn}_{58}$ ,  $\text{Tb}_2\text{Zn}_{17}$ ,  $\text{TbZn}_{12}$ .

ДС системы Ho-Zn [3] отсутствует, но имеются сведения о существовании некоторых химических соединений ( $\text{HoZn}$ ,  $\text{HoZn}_2$ ,  $\text{HoZn}_3$ ,  $\text{Ho}_6\text{Zn}_{23}$ ,  $\text{Ho}_{13}\text{Zn}_{58}$ ,  $\text{HoZn}_5$ ,  $\text{Ho}_2\text{Zn}_{17}$ ,  $\text{HoZn}_{12}$ ).

ДС системы тулий-цинк [5] хоть и не исследована, данные о существовании некоторых соединений имеются, а именно следующих:  $\text{TmZn}$ ,  $\text{TmZn}_2$ ,  $\text{TmZn}_3$ ,  $\text{Tm}_6\text{Zn}_{23}$ ,  $\text{Tm}_{13}\text{Zn}_{55}$ ,  $\text{TmZn}_5$ ,  $\text{Tm}_2\text{Zn}_{17}$  и  $\text{TmZn}_{12}$ .

ДС Yb-Zn [5] является сложной и имеет в себе эвтектики, перитектики и эвтектоиды. Растворимость в твёрдом состоянии отсутствует, но несмотря на это, данная система имеет следующие соединения:  $\text{YbZn}$ ,  $\text{YbZn}_2$ ,  $\text{Yb}_3\text{Zn}_{11}$ ,  $\text{Yb}_{13}\text{Zn}_{58}$  ( $\text{Yb}_2\text{Zn}_7$ ),  $\text{Yb}_3\text{Zn}_{17}$ ,  $\text{Yb}_2\text{Zn}_{17}$ ,  $\text{YbZn}_{11}$ ,  $\text{YbZn}_{13}$ .

ДС Lu-Zn [4] не построена, но в данной системе образуются следующие соединения:  $\text{LuZn}$ ,  $\text{LuZn}_2$ ,  $\text{LuZn}_3$ ,  $\text{Lu}_6\text{Zn}_{23}$ ,  $\text{Lu}_{13}\text{Zn}_{58}$ ,  $\text{LuZn}_5$ ,  $\text{Lu}_2\text{Zn}_{17}$ ,  $\text{LuZn}_{12}$ .

### **Цинк с актиноидами**

Цинк с торием [5] образует сложную ДС, состоящую в основном из эвтектик и химических соединений ( $\text{Th}_2\text{Zn}$ ,  $\text{ThZn}_2$ ,  $\text{ThZn}_4$ ,  $\text{Th}_2\text{Zn}_{17}$ ). Взаимная растворимость между этими элементами отсутствует. В твёрдом уране цинк [5] растворяется незначительно. В этой системе образуются два соединения  $\text{U}_2\text{Zn}_{17}$  и  $\text{UZn}_{12}$  и при 83.7% (ат.) Zn эвтектическая точка. Система Pu-Zn [5] имеет в себе несколько нонвариантных равновесий, перитектик, эвтектик, а также химических соединений ( $\text{PuZn}_2$ ,  $\text{Pu}_{13}\text{Zn}_{58}$ ,  $\text{Pu}_3\text{Zn}_{22}$ ,  $\text{Pu}_2\text{Zn}_{17}$ , K (BT), K (HT),  $\lambda$ ).

### **Цинк с элементами IVБ группы**

Из имеющихся данных [5] известно, что ДС системы Ti-Zn в основном была изучена со стороны цинка, потому не полная. Согласно имеющимся литературным источникам, эвтектическая точка находится при 0.21 ат. %, а максимальная растворимость титана в цинке крайне низка и равна 0.0006% (ат.). А известные химические соединения данной системы это:  $\text{TiZn}$ ,  $\text{TiZn}_2$ ,  $\text{Ti}_2\text{Zn}$ ,  $\text{TiZn}_3$ ,  $\text{TiZn}_5$ ,  $\text{TiZn}_{10}$ ,  $\text{TiZn}_{15}$ . Они в основном образуются по перитектической реакции.

В ДС Zn-Zr имеются химические соединения ( $\text{ZrZn}$ ,  $\text{ZrZn}_2$ ,  $\text{ZrZn}_6$ ,  $\text{ZrZn}_5$ ,  $\text{ZrZn}_{14}$ ,  $\text{ZrZn}_{22}$ ,  $\text{ZrZn}_3$  (HT),  $\text{Zr}_3\text{Zn}_2$ ,  $\text{Zr}_2\text{Zn}$ ) [5], эвтектики, перитектика, эвтектоид и перитектоидное равновесия. ДС гафния с цинком не была построена [3], но согласно данным, в этой системе образуются следующие соединения:  $\text{Hf}_2\text{Zn}$ ,  $\text{HfZn}_2$  (BT),  $\text{HfZn}_2$  (HT),  $\text{HfZn}_3$ ,  $\text{HfZn}_5$ ,  $\text{HfZn}_{22}$ .

### **Заключение**

Анализ литературных данных по двойным диаграммам состояния цинка с элементами IB-IVБ групп периодической таблицы показал, что из 40-ка систем лишь для 17 систем построены диаграммы состояния. Некоторые из них изучены частично, поэтому построены не в полном масштабе, и требуют последующего изучения. Из 17-ти двойных систем цинка с лантаноидами и 15-ти – цинка с актиноидами – построены диаграммы состояния лишь для 10-ти двойных систем цинка с Y, La, Ce, Pr, Nd, Sm, Yb (лантаноиды) и Th, U, Pu (актиноиды). К неизученным системам относятся 23 системы цинка с гафнием, с 10-тью лантаноидами и 12-тью актиноидами. Полученная в данной работе информация необходима для предварительного прогноза типа взаимодействия в неизученных двойных системах цинка с элементами IIIB-IVБ групп Периодической таблицы и последующего применения при построении их диаграмм состояния.

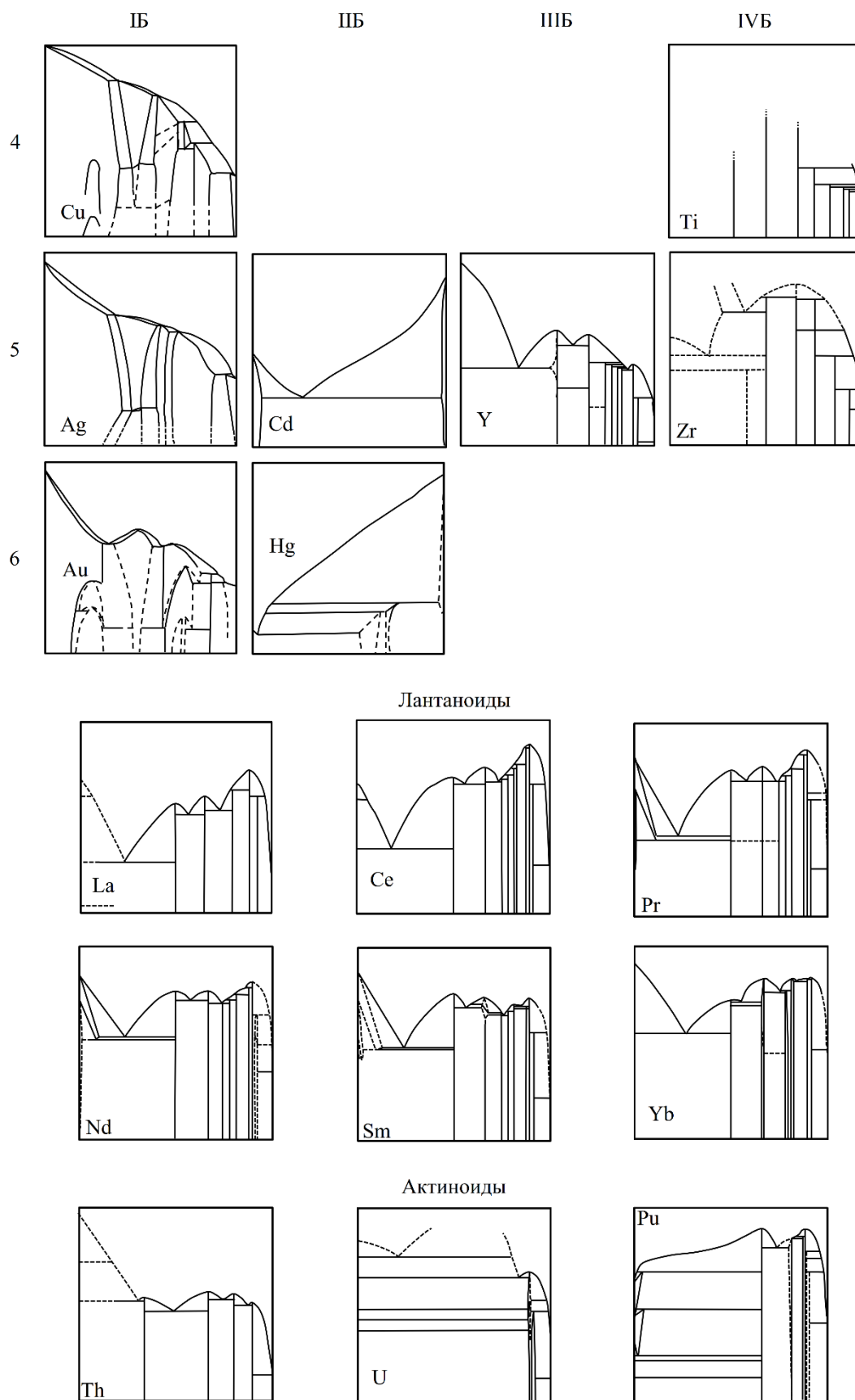


**Рисунок.** Взаимодействие цинка с металлами IB-IVB групп Периодической таблицы Д.И. Менделеева [2-5]

## Литература

1. Цинк и его применение [Электронный ресурс]. ПК ПИК Предприятие. Режим доступа: <https://pk-pik.com/informatsiya-pokupatelej/stati/tsink-i-ego-primenenie/09.06.2021>. (Дата обращения: 18.02.2025).
2. Лякишев Н.П., Банных О.А., Рохлин Л.Л. и др. Диаграммы состояния двойных металлических систем [Текст]: / Н.П. Лякишев, О.А. Банных, Л.Л. Рохлин и др. – М.: Машиностроение, 1996. – Т. 1. – 992 с.
3. Лякишев Н.П., Банных О.А., Рохлин Л.Л. и др. Диаграммы состояния двойных металлических систем [Текст]: / Н.П. Лякишев, О.А. Банных, Л.Л. Рохлин и др. – М.: Машиностроение, 1997. – Т. 2. – 1024 с.
4. Лякишев Н.П., Банных О.А., Рохлин Л.Л. и др. Диаграммы состояния двойных металлических систем [Текст]: / Н.П. Лякишев, О.А. Банных, Л.Л. Рохлин и др. – М.: Машиностроение, 2001. – Т. 3. – Ч. 1. – 872 с.
5. Лякишев Н.П., Банных О.А., Рохлин Л.Л. и др. Диаграммы состояния двойных металлических систем [Текст]: / Н.П. Лякишев, О.А. Банных, Л.Л. Рохлин и др. – М.: Машиностроение, 2001. – Т. 3. – Ч. 2. – 448 с.

УДК 5456.54.54-162.541-67

## СИНТЕЗ И ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА $\text{Tm}_3\text{Ga}_5\text{O}_{12}$

Калинин А.И., Новоженков В.А., Смагин В.П., Шмаков И.А., Белова О.В.

*Алтайский государственный университет  
(г. Барнаул, Российская Федерация)*

**Аннотация.** Изучение полупроводников, в частности тройных галлатов лантаноидов, является весьма актуальным в связи с тем, что их слабая изученность и потенциал к проявлению уникальных структурных, оптических и электрических свойств привлекают широкий научный интерес. Одним из таких слабо изученных галлатов лантаноидов является галлат туллия ( $\text{Tm}_3\text{Ga}_5\text{O}_{12}$ ). В данной работе основной упор будет сделан на синтез и изучение электрических свойств данного вещества. Точные измерения сопротивляемости вещества в различных условиях позволили получить данные об удельном сопротивлении вещества, а также о его эффективной ширине запрещённой зоны при различных температурах.

**Ключевые слова:** галлаты лантаноидов, запрещённая зона, электропроводность, синтез.

## SYNTHESIS AND ELECTRICAL PROPERTIES OF $\text{Tm}_3\text{Ga}_5\text{O}_{12}$

A.I. Kalinin, V.A. Novozhenov, V.P. Smagin, I.A. Shmakov, O.V. Belova

*Altai State University  
(Barnaul, Russia)*

**Annotation.** The study of semiconductors, in particular ternary lanthanide gallates, is very relevant due to the fact that their understudied nature and potential to exhibit unique structural, optical and electrical properties attract wide scientific interest. One such poorly studied lanthanide gallate is thulium gallate ( $\text{Tm}_3\text{Ga}_5\text{O}_{12}$ ). In this work, the main focus will be on the synthesis and the study of the electrical properties of this substance. Precise measurements of the resistance of the substance under various conditions have allowed us to obtain data on the resistance of the substance, as well as on its effective bandgap at various temperatures.

**Keywords:** lanthanide gallates, forbidden zone, electrical conductivity, synthesis

В данной работе для получения  $\text{Tm}_3\text{Ga}_5\text{O}_{12}$  нами был использован метод соосаждения соответствующих оксидов Ga и Tm. Преимущества данного метода состоит в сокращении времени проведения синтеза путём исключения таких длительных стадий как механоактивация, а также использование более низких, по сравнению с традиционными методами получения, температур. Фазовую структуру полученного галлата тулия определяли методом рентгеновской дифракции (XRD) на дифрактометре Shimadzu XRD-6000 (Япония) с излучением  $\text{CuK}\alpha$ . Результаты рентгенофазового анализа представлены в таблице №1. На рисунке 1 изображена дифрактограмма  $\text{Tm}_3\text{Ga}_5\text{O}_{12}$ .

**Таблица 1.** Результаты рентгенофазового анализа

| образец                               | обнаруженные фазы                           | содержание фаз, масс. % | параметры решетки, Å | размер ОКР, нм | $\Delta d/d \cdot 10^{-3}$ |
|---------------------------------------|---------------------------------------------|-------------------------|----------------------|----------------|----------------------------|
| $\text{Tm}_3\text{Ga}_5\text{O}_{12}$ | $\text{Tm}_3\text{Ga}_5\text{O}_{12}$ (230) | 79                      | $a = 12.3073$        | 19             | 1.0                        |
|                                       | $\text{Tm}_2\text{O}_3$ (206)               | 21                      | $a = 10.4177$        | 22             | 6.1                        |

По результатам анализа было установлено, что в полученном образце были обнаружены две фазы -  $\text{Tm}_2\text{O}_3$  и  $\text{Tm}_3\text{Ga}_5\text{O}_{12}$  с содержанием 21% и 79%, соответственно от общей массы образца. Параметры решётки для галлата тулия близки к табличным, погрешность составила  $1 \cdot 10^{-3}$  Å.

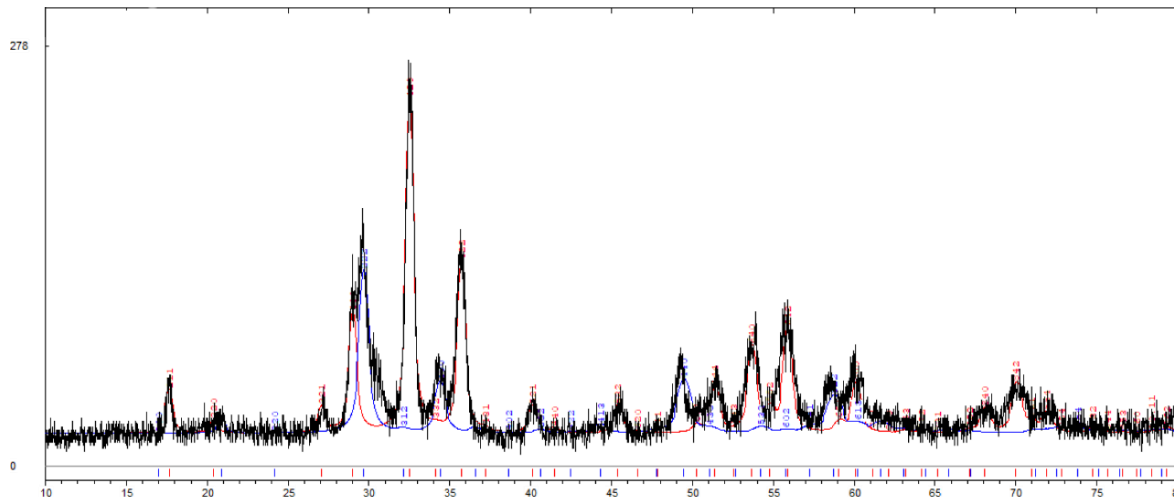


**Рисунок 1.** Дифрактограмма  $\text{Tm}_3\text{Ga}_5\text{O}_{12}$ .

До проведения испытаний порошок  $\text{Tm}_3\text{Ga}_5\text{O}_{12}$  был спрессован в цилиндр под давлением в 3 тонны на квадратный сантиметр. Параметры полученного цилиндра таковы: длина цилиндра 0.012135 м, диаметр цилиндра 0.0082 м, площадь поперечного сечения  $5.2810 \cdot 10^{-5}$  м<sup>2</sup>. Для получения данных об сопротивлении образца использовался метод четырех зондов, реализованный с помощью прецизионного измерителя RLC AM-3016. Во время измерений температура поддерживалась с помощью сушильного шкафа с возможностью

установки точно заданной температуры. На основе полученных данных были рассчитаны значения удельного активного сопротивления  $\text{Tm}_3\text{Ga}_5\text{O}_{12}$  (табл. №2).

**Таблица 2.** Удельное активное сопротивление ( $\text{Ом} \cdot \text{м}$ )

| температура ( $^{\circ}\text{K}$ )<br>частота (Гц) | 298    | 323    | 348    |
|----------------------------------------------------|--------|--------|--------|
| 50                                                 | 345253 | 243717 | 233505 |
| 100                                                | 280465 | 281763 | 277311 |
| 200                                                | 314693 | 300597 | 339418 |
| 500                                                | 328681 | 311189 | 347390 |
| 1000                                               | 471067 | 267582 | 256024 |
| 10000                                              | 56575  | 41137  | 38956  |
| 20000                                              | 6373   | 6425   | 6463   |

Самые высокие значения удельного активного сопротивления получаются чаще всего при частоте тока 500 Гц, исключением является значение, полученное при частоте тока в 1 кГц температуре 298°K. Минимальные же значения активного удельного сопротивления, приходится на 20 кГц. По данным о сопротивлении  $\text{Tm}_3\text{Ga}_5\text{O}_{12}$  с помощью формулы (1) были также рассчитаны параметры эффективной ширины запрещённой зоны (табл. 3).

$$\text{tg}(\alpha) = \frac{\ln R(T_2) - \ln R(T_1)}{\frac{1}{T_2} - \frac{1}{T_1}} = \frac{\Delta E_0}{2k} \quad (1)$$

**Таблица 3** Параметры ширины запрещённой зоны  $\text{Tm}_3\text{Ga}_5\text{O}_{12}$  ( $\cdot 10^{-3}$  эВ)

| температура ( $^{\circ}\text{K}$ )<br>частота (Гц) | 298 – 323 | 323 – 348 |
|----------------------------------------------------|-----------|-----------|
| 50                                                 | 267       | 33.2      |
| 100                                                | -3.07     | 12.4      |
| 200                                                | 30.4      | -94.2     |
| 500                                                | 36.3      | -93.2     |
| 1000                                               | 378       | 27.7      |
| 10000                                              | 212       | 42.2      |
| 20000                                              | -5.41     | -4.63     |

Максимальное значение эффективной ширины запрещённой зоны достигается в диапазоне от 298 до 323°K и равно  $378 \cdot 10^{-3}$  эВ при частоте тока 1000 Гц. Минимальное значение находится в том же диапазоне температур, но уже при 20000 Гц и равняется  $-5.41 \cdot 10^{-3}$  эВ. На рисунке № 2 изображена графическая зависимость эффективной ширины запрещённой зоны от частоты

тока в диапазоне температур 298-323°K. Отрицательные значения эффективной ширины запрещённой зоны могут объясняться тем, что гранат тулия относится к металлоподобным полупроводникам [1].

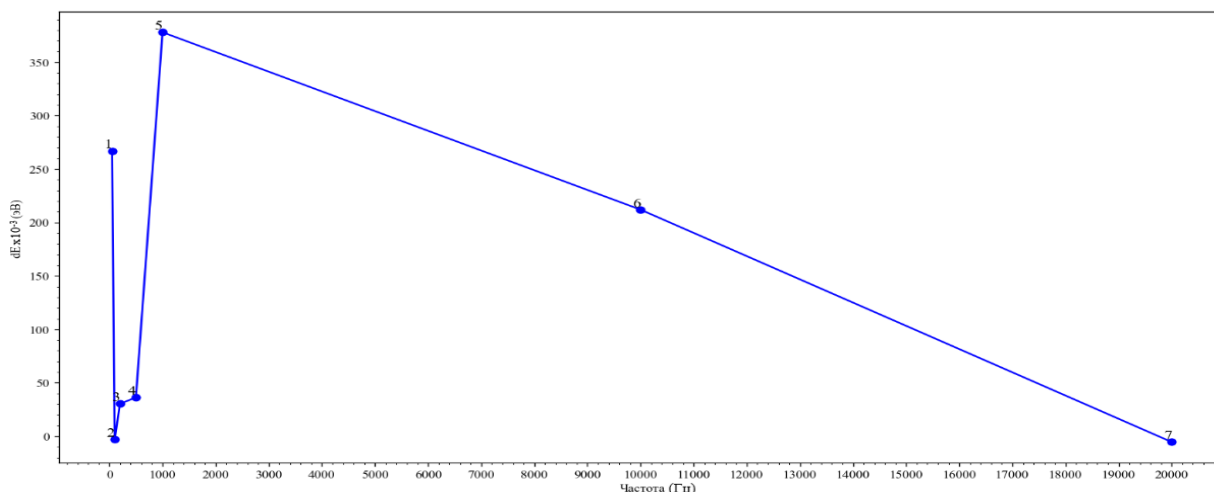


**Рисунок №2.** Зависимость ширины запрещённой зоны от частоты тока в диапазоне температур 298-323 °K

Из-за особенности своей электронной зонной структуры в таких веществах зона проводимости и валентная зона могут как касаться, так и частично перекрываться что приводит к нулевым или даже отрицательным значениям ширины запрещённой зоны. Подобные соединения находят своё применение в производстве солнечных батарей, в оптоэлектронных и фотоэлектрических устройствах или же в качестве термоэлектрического материала [2, 3].

### Заключение

Синтезирован галлат тулия со структурой граната. Данные рентгенофазового анализа подтверждают получение фазы  $Tm_3Ga_5O_{12}$ . Получены параметры сопротивления для галлата тулия при различных температурах и частотах тока. Построена графическая зависимость изменения эффективной ширины, запрещенной от температуры и частоты тока для диапазона температур 298-323°K.

### Литература

1. Saunders G.A. Semimetals and narrow gap semiconductors / G. A. Saunders // Contemporary Physics. – 1973. – №14. – С. 149-166.
2. Haq B.U. Engineering of highly mismatched alloy with semiconductor and semi-metallic substituent's for photovoltaic applications / B.U. Haq, R. Ahmed, M. Mohamad, A. Shaari, J. Rhee, S. Alfaify, S. Goumri-Said // Current Applied Physics, 2017. – № 17. – С. 162-168.
3. Makarov M. Semi-metals as potential thermoelectric materials / M. Markov, X. Hu, H-C. Liu, N. Liu, S. J. Poon, K. Esfarjani, M. Zebarjadi // Scientific Reports. – 2018. – № 8. – С. 1-10.

## ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ И СОРБЦИОННЫЕ СВОЙСТВА ПОЛИАКРИЛАМИДНЫХ ГИДРОГЕЛЕЙ

Камилов Х.Ч.<sup>1</sup>, Исмаилова М.А.<sup>2</sup>

<sup>1</sup>*Филиал Московского государственного университета  
имени М.В. Ломоносова в городе Душанбе*

<sup>2</sup>*Технологический университет Таджикистана  
(г. Душанбе, Республика Таджикистан)*

**Аннотация.** Изучены некоторые физико-химические свойства синтезированных безметалльных и содержащих ионы Cu(II) и Co(II) полиакриламидных гидрогелей (набухаемость, пластичность, CCF) и возможности использования гелей в качестве адсорбента для извлечения ионов хрома из сточных вод.

**Ключевые слова:** акриламидный гидрогель, сорбенты, сорбционная ёмкость, набухаемость.

## PHYSICO-CHEMICAL AND SORPTION PROPERTIES OF POLYACRYLAMIDE HYDROGELS

Kh.Ch. Kamilov<sup>1</sup>, M.A. Ismailova<sup>2</sup>

<sup>1</sup>*Lomonosov Moscow State University in Dushanbe*

<sup>2</sup>*Technological University of Tajikistan  
(Dushanbe, Tajikistan)*

**Annotation.** Some physicochemical properties of synthesized metal-free polyacrylamide hydrogels containing Cu (II) and Co (II) ions (swelling, plasticity, CCF) and the possibility of using gels as an adsorbent for the extraction of chromium ions from wastewater have been studied.

**Keywords:** acrylamide hydrogel, sorbents, sorption capacity, swelling.

В последнее время особую опасность приобретает накопление в окружающей среде тяжёлых металлов. Известно, что одним из основных источников загрязнителей окружающей среды являются сточные воды промышленных предприятий. К числу особо токсических и канцерогенных металлов относится Cr (III), входящий в их состав. Соединения хрома (III) оказывают общетоксическое и аллергическое действие.

Сорбционные методы извлечения металлов из растворов с помощью селективных сорбентов весьма эффективны и широко используются на практике. Одним из условий селективного извлечения металлов из растворов является правильный выбор функциональных групп сорбентов.

В последние годы наряду с волокнистыми сорбентами стали использоваться высоконабухающие, нерастворимые в воде гидрогели. Обладая более развитой активной поверхностью и лучшей способностью к набуханию, гидрогели обеспечивают более благоприятную кинетику сорбции, чем волокнистые сорбенты.

Свойства сорбентов зависят не только от природы исходного мономера, но и от способа синтеза этих сорбентов.

По методике, разработанной совместно с сотрудниками кафедры нефтехимии и органического катализа Московского госуниверситета имени

М.В. Ломоносова, синтезированы безметалльные, а также содержащие ионы Cu (II), Co (II) акриламидные гидрогели. Концентрация ионов металлов в гидрогеле варьировалась в интервале от  $5 \cdot 10^{-7}$  до  $1 \cdot 10^{-3}$  моль/г. Причём ионы металла вводились как на стадии синтеза геля, так и сорбцией из раствора безметалльными гидрогелями. При синтезе одного типа гелей использовалась смесь акриламида и акриловой кислоты.

Как показали наши исследования [1], акриламидные гидрогели в зависимости от способа синтеза обладают различными физико-химическими свойствами, основными из которых являются сорбционная ёмкость, набухаемость и кислотно-основные свойства.

Использование катализатора в процессе полимеризации, а также изменение концентрационных условий позволяет целенаправленно изменять физико-химические свойства синтезированных гидрогелей.

Набухаемость акриламидного гидрогеля сильно зависит от условий его обработки (время, концентрация) водным раствором щелочи на стадии гидролиза, а также от концентрации ионов металла в геле.

Так, набухаемость гелей в воде с увеличением содержания ионов меди (II) в геле сначала возрастает, а затем падает. Максимальная набухаемость достигается при  $pH > 7$  и  $C_{Cu} = 4 \cdot 10^{-4}$  моль (940 г  $H_2O$ /г геля).

Изменение природы и концентрации катализатора в процессе полимеризации также существенно влияет на физико-химические характеристики гидрогеля. Так, замена ионов Cu (II) на Co (II) при концентрации ионов  $10^{-3}$  моль/л и постоянстве всех остальных параметров, приводит к уменьшению набухаемости акриламидных гидрогелей с 750 г.  $H_2O$ /г геля до 400 г  $H_2O$ /г геля, а при концентрации ионов  $10^{-4}$  моль/л наблюдается обратное явление (табл. 1).

**Таблица 1.** Зависимость набухаемости гидрогелей в воде от природы и концентрации ионов металла при 20°C и  $pH \geq 7$ .

| природа катализатора | концентрация ионов металла, моль/л | набухаемость (Н), г. $H_2O$ /г.геля |
|----------------------|------------------------------------|-------------------------------------|
| Co (II)              | $1 \cdot 10^{-5}$                  | 500                                 |
|                      | $1 \cdot 10^{-4}$                  | 1080                                |
|                      | $1 \cdot 10^{-3}$                  | 400                                 |
| Cu (II)              | $1 \cdot 10^{-5}$                  | 476                                 |
|                      | $1 \cdot 10^{-4}$                  | 940                                 |
|                      | $1 \cdot 10^{-3}$                  | 750                                 |

Акриламидный гидрогель в набухом состоянии представляет собой упругую, желеобразную массу, способную претерпевать упругие и пластичные деформации. Его можно считать водно-пластичным телом. Пластическая вязкость набухшего полимера уменьшается от 2.0 Па/с до 0.3 Па/с с увеличением содержания ионов меди (II) в геле ( $Cu^{2+}$ /гель) от  $1 \cdot 10^{-6}$  до  $2 \cdot 10^{-2}$  ммоль/г.

При исследовании сорбционных свойств гидрогелей использовали модельные растворы  $CrCl_3$  в дистиллированной воде, концентрации которых соответствовали промышленным хромсодержащим растворам (0.01, 0.05 и 0.1 моль/л).

Сорбционные свойства сорбентов определяются их сорбционной ёмкостью, статическая (ССЁ) и динамическая (ДСЁ) ёмкости являются количественной характеристикой сорбентов, отражающие суммарное количество функциональных групп, приходящихся на единицу массы сухого сорбента.

Изучена возможность использования синтезированных нами безметалльных и медьсодержащих гелей в процессе сорбции Cr (III) при различных значениях pH растворов, определены оптимальные условия сорбции. Показано, что максимальная сорбция ионов Cr (III) имеет место при pH=1.0 и концентрации Cr (III) 0.1 моль/л. Очень большая сорбционная ёмкость безметалльного (173 ммоль/г) и медьсодержащего гелей (165 ммоль/г) свидетельствует о том, что происходит абсорбция ионов хрома гидрогелями. Так как акриламидный гидрогель содержит большое количество COOH-групп, то можно предположить, что сорбция ионов хрома приводит к образованию донорно-акцепторной координационной связи. При малых концентрациях ионы хрома координационно связываются с функциональными группами, находящимися на поверхности набухшего геля, а при возрастании концентрации ионы хрома диффундируют во внутреннюю сферу полимерной сетки и взаимодействуют с COOH-группами, находящимися в объёме полимера, образуя координационные соединения.

Как известно, ионы хрома могут образовывать моно-, би- и трёхядерные ацетатные комплексы [2]. Невозможность достижения равновесной ССЁ акриламидного гидрогеля по отношению к ионам Cr (III) можно объяснить образованием полиядерных координационных соединений в фазе гидрогеля. Этим же можно объяснить тот факт, что ССЁ акриламидных гидрогелей, не содержащих в своём составе ионы меди по отношению к Cr (III) гораздо выше, чем ССЁ гидрогелей, содержащих ионы меди.

Высокая сорбционная ёмкость синтезированных гидрогелей позволяет использовать их в качестве эффективных сорбентов для очистки сточных вод промышленных предприятий от ионов Cr (III).

### Литература

1. Астанина А.Н., Исмаилова М.А. и др. //А.С. СССР №1659426 от 01.03.1991г.
2. Пальчевский В.В. Инертные гидроксоацетатные комплексы Cr(III) в уксусноводных растворах // В.В. Пальчевский, Х.М. Якубов и др. // Комплексообразование в окислительно-восстановительных системах. – Душанбе, 1972. – С. 114-120.

## МОДИФИКАЦИЯ ЭФЕДРИНА: ИССЛЕДОВАНИЯ IN SILICO

**Кобилзода А.М., Рахмонов Р.О., Шаропов Ф.С.**

*Институт химии имени В.И. Никитина  
Национальной академии наук Таджикистана  
(г. Душанбе, Республика Таджикистан)*

**Аннотация.** В настоящей работе обобщены способы получения синтетической модификации эфедрина – природной молекулы, которая входит в состав растения *Ephedra*, с использованием реакции Манниха и путём ацилирования NH-групп эфедрина. Структура полученной синтетической модификации установлена методом ИК-спектроскопии и элементным анализом. Результаты экспериментальных исследований подтверждают возможность проявления противовирусной активности полученных производных эфедрина.

**Ключевые слова:** эфедрин, ацилирование, аминометилирование, молекулярный докинг, валентные колебания.

## MODIFICATION OF EPHEDRINE: IN SILICO STUDIES

**A.M. Qobilzoda, R.O. Rakhmonov, F.S. Sharopov**

*V.I. Nikitin Institute of Chemistry  
of National Academy of Sciences of Tajikistan  
(Dushanbe, Tajikistan)*

**Annotation.** This review summarizes the method for obtaining synthetic modifications of ephedrine, a natural molecule that is part of the *Ephedra* plant, using the Mannich reaction and by acylation of NH-containing ephedrine. The structure of the obtained synthetic modification was established by IR spectroscopy and elemental analysis. The results of the antiviral study confirm the possibility of antiviral activity of the obtained ephedrine derivatives.

**Keywords:** ephedrine, acylation, aminomethylation, molecular docking, stretching vibrations.

Из большого количества видов растений, эфедр, относящаяся к роду *Ephedra* и семейству *Ephedraceae*, во флоре Таджикистана представлена 22 видами [1]. Растения всех видов эфедры богаты биологически активными веществами, особенно алкалоидами, которые в современной медицине используются как расширитель дыхательных путей (при бронхиальной астме) и как вещества, повышающие тонус нервной системы [2]. В составе эфедры выделено более 30 алкалоидов [2-3], наиболее распространёнными активными алкалоидами, являются эфедрин и псевдоэфедрин. Некоторые представители эфедры с древних времён используются в народной медицине для лечения и профилактики воспалительных заболеваний дыхательных путей, простудных заболеваний [4]. Многочисленные действия растения, в первую очередь, включают стимуляцию иммунной системы при респираторных патологиях, а также антибактериальную, противовирусную, противовоспалительную и противораковую активность.

Эфедрин и его фармакомодуляции могут решить проблему многих других важных патологических состояний. В данной работе, в основном, уделяется внимание химическим модификациям, которые, по данным литературным

источникам последних лет, проявляют биологическую активность в отношении различных видов болезней.

Несмотря на то, что эфедрин и его природные производные являются биоактивными веществами, их главной характерной особенностью является биодоступность молекул, хорошо растворимых в воде [5, 6]. Рассматривались структурные и формульные модификации, направленные на улучшение селективности и биодоступности [2], но на сегодняшний день не разработано ни одного кандидата на лекарственное средство.

В настоящей работе нами больше внимания было уделено синтетической модификации эфедрина и изучению его структурной, физико-химической и биологической активности, поскольку эфедрин, проявляя стимулирующие свойства на  $\alpha$ - и  $\beta$ -адренорецепторы, широко применяют в медицине, и поэтому его различные структурные модификации вызывают интерес [7, 8].

Полученные из этих растений алкалоиды проявляют антихолинэстеразную активность действия [9], ингибирующий эффект [10] и ряд других свойств.

### **Результаты и обсуждение**

В литературе сообщается о различных модификациях эфедрина для улучшения его биологической активности и биодоступности (или растворимости в воде), в основном, с NH- и OH-группами боковой цепи и бензольного кольца в *орто*- и *пара*-положениях. Различные фармакомодуляции будут последовательно обсуждаться с точки зрения их влияния на целевые биологические приложения и в зависимости от места модификации эфедрина.

### ***Модификация NH-группы эфедрина (путём реакции ацилирования и реакции Манниха).***

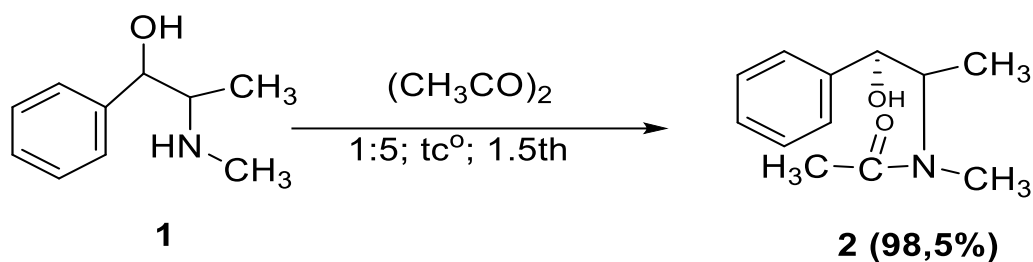
Одним из удобных методов создания ценных фармакологически активных препаратов является модифицирование природных биологически активных веществ. Эфедрин и его стереоизомеры, молекулы которых имеют два реакционных центра - вторичный амин и гидроксильную группу, это обуславливает широкое использование возможностей синтеза, привлекает внимание химиков-органиков. Соединения, полученные в результате реакции ацилирования NH-группы эфедрина, играют важную роль в различных приложениях медицинской химии.

Реакция ацилирования RNH-содержащих групп эфедрина уксусным ангидридом является популярным методом для модифицирования природной системы [11].

Реакция ацилирования *l*-фенил-2-метиламинопропанол-1 проводили уксусным ангидридом в среде реагента при температуре кипения растворителя, в соотношении 5:1, в течение 1 часа, что приводит к образованию N-((1S)-1-гидрокси-1-фенилпропан-2-ил)-N-метилацетамида (**2**) с хорошим выходом синтетического эфедрина (98.5%). После охлаждения реакционной смеси выделяют N-((1S)-1-гидрокси-1-фенилпропан-2-ил)-N-метилацетамид (**2**) в виде масляной жидкости.

Реакция ацилирования *l*-фенил-2-метиламинопропанол-1 (**1**) с уксусным ангидридом протекает по схеме:

### **Схема 1**



По данным авторов [12, 13], многочисленные работы посвящены исследованию соотношения между фармакологическим действием, химическим строением и конфигурацией оптических изомеров эфедрина и их производных. Совсем недавно были продемонстрированы некоторые фармакологические свойства подобных производных, в частности, таких, как производные *l*-эфедрина, которые можно применять при лечении варикоза, как стимулятор деятельности сердца вследствие меньшего, чем природный *l*-эфедрин, воздействия на нервную систему [14-17].

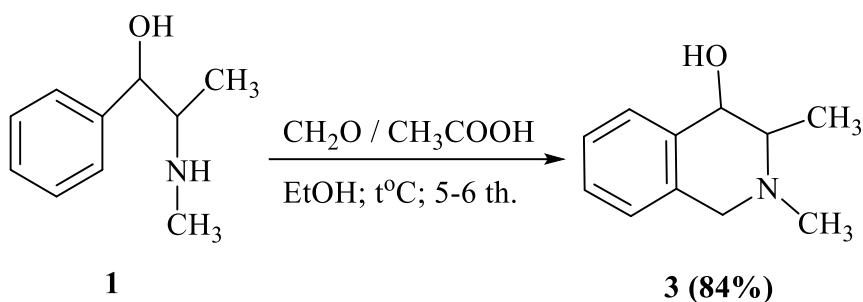
Установлено, что при ацилировании соединения **1** уксусным ангидридом реакция ацилирования идёт по аминогруппе, в результате образуется соединение **2**, что подтверждается литературными данными [18-20].

В ИК-спектрах соединения **2** отсутствует полоса поглощения NH-группы, что свидетельствует о протекании реакции ацилирования. Вместо этого обнаруживаются полосы поглощения при 1643, 1026, 1736  $\text{cm}^{-1}$ , что соответствует валентным колебаниям связей фенильной, гидроксильной и карбонильной групп, а также метильной группы  $\text{CH}_3$  (между  $\text{CH}_3\text{-N-}$  и  $\text{CH}_3\text{-C}$ ) в областях  $\nu = 1404, 1433$  и  $2985 \text{ cm}^{-1}$ .

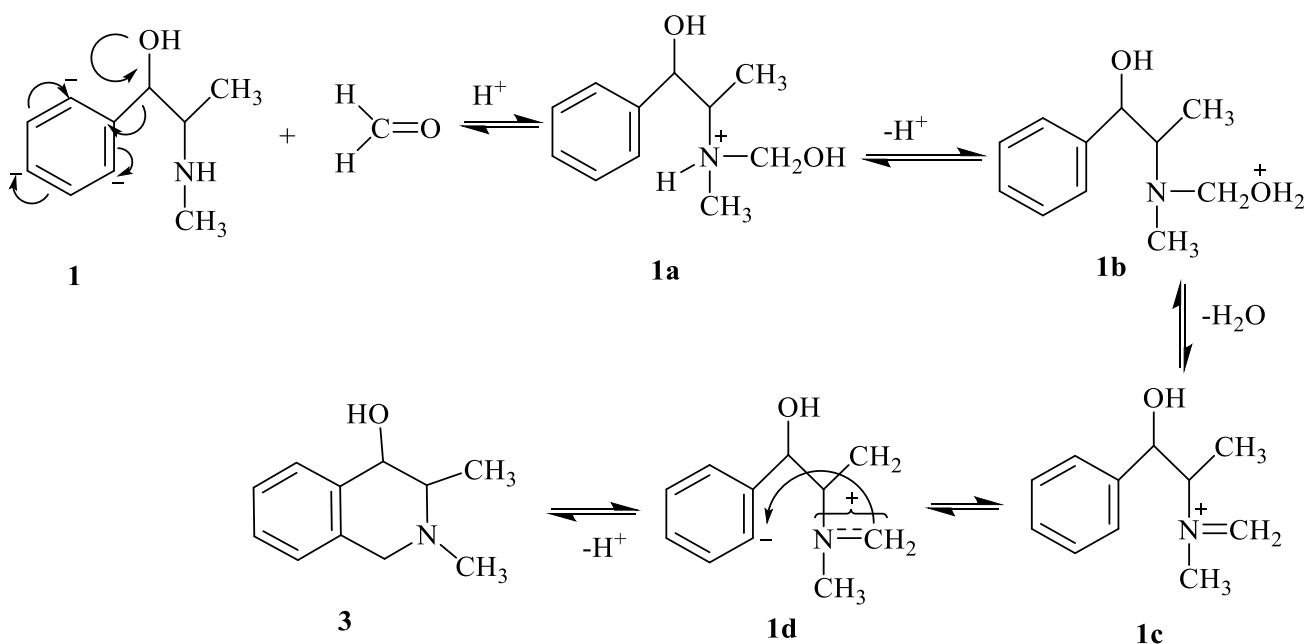
На основе спектральных данных можно предположить, что под влиянием электронодонорным и электроотрицательным заместителей соединения **2**, которые влияют на распределение электронной плотности, происходят изменения в интенсивности некоторых пиков данного соединения. В соединении **2** эти эффекты обусловлены сильным стерическим взаимодействием между группами OH и  $\text{NCOCH}_3$ , а также между N-алкильными заместителями.

В продолжении данной работы была исследована реакция аминотилирования *l*-фенил-2-метиламинопропанол-1 (**1**) в условии реакции Манниха. Реакция соединения **1** проводилась в присутствии формальдегида и с добавлением уксусной кислоты при кипячении изопропилового спирта в течение 5 часов. В результате с хорошим выходом (84%) синтезировано вещество - (4S)-2,3-диметил-1,2,3,4-тетрагидроизохинолин-4-ол (**3**). Очевидно, и здесь реакция аминотилирования соединения **1** проходит через иминиевые соли, которые образуются из формальдегида и аминов [21].

## Схема 2



### Механизм:



Как видно из схемы реакции, возможно, под электродонорным влиянием фрагмента 2-метиламинопропанол-1 плотность электронов увеличивается в *орто*-положении фенильной группы. С другой стороны, делокализация положительного заряда между атомами азота и углерода позволит легко протекать реакции внутримолекулярного электрофильного замещения с *орто*-положения фенильной группы.

Структура соединения **3** установлена физико-химическими методами анализа. Замена атома водорода в *орто*-положении соединения **1** иминовым фрагментом ( $^+\text{CH}_2=\text{N}(\text{CH}_3)^-$ ) приводит к изменению интенсивности соединений **3**.

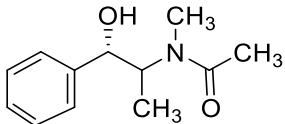
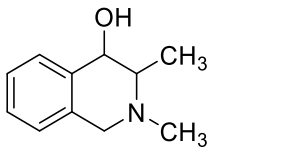
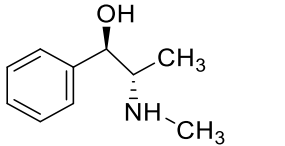
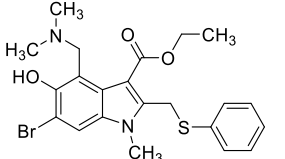
По сравнению с соединением **1**, у ИК-спектра соединения (**3**) не обнаружена частота поглощения, характерная фрагменту бокового бензольного кольца, а вместе этого обнаружены только валентные колебания, характерные для тетрагидроизопинолинолового фрагмента. В зависимости от числа атомов водорода в замещённых положениях бензольного кольца [22], обнаружено несколько плоских и неплоских деформационных колебаний в областях 1229, 1046, 994 и 700  $\text{см}^{-1}$ , а полоса поглощения валентного колебания  $\delta_{\text{CH}_2\text{цикл}}$  проявлена, в среднем, в частоте 1455  $\text{см}^{-1}$ . Валентные колебания метильных групп проявлены при 2975 и 2883  $\text{см}^{-1}$ . Характерная полоса поглощения ОН-группы проявлена в виде сильной ширины колебания и шириной колебания, связанного атома в

области 1391 и 754 см<sup>-1</sup>, что свидетельствует об ассоциированной гидроксильной группе в межмолекулярных водородных связях [23].

### Исследование противовирусных свойств производных эфедрина

Величина молекулярного докинга исследуемых веществ для ангиотензинпревращающего белка 2 составляет от -5.0 до -6.7 ккал/моль, для полипротеинрепазы 1ab — от -4.7 до -5.9 ккал/моль, а величина положительного контроля умифенавира составляет -6.4 ккал/моль для ангиотензинпревращающего белка 2 и -5.6 ккал/моль для полипротеиновой репликазы 1ab. Результаты молекулярного докинга производных эфедрина и умифенавира по целевым белкам представлены в таблице 1.

**Таблица 1.** Результаты противовоспалительных свойств производных эфедрина

| название                                               | химическая структура                                                                | величина докинга, ккал/моль |       |        |        |
|--------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------|-------|--------|--------|
|                                                        |                                                                                     | 1r4l*                       | 2gz8* | 1r4l** | 2gz8** |
| N-((1S)-1-гидрокси-1-фенилпропан-2-ил)-N-метилацетамид |   | - 6.5                       | - 5.8 | - 6.6  | - 5.8  |
| (4S)-2,3-диметил-1,2,3,4-тетрагидроизохинolin-4-ола    |  | - 6.3                       | - 5.2 | - 6.7  | - 5.9  |
| эфедрин                                                |  | - 6.2                       | - 5.1 | - 5.5  | - 4.7  |
| умифеновир (Арбидол)                                   |  | - 6.4                       | - 5.5 | - 6.2  | - 5.6  |

\* SeamDock. \*\* Mcule

### Выводы

Ацилирование NH-содержащих алкалоидов при соотношении 5:1 с ангидридом уксусной кислоты и при нагревании приводит к большему выходу синтетического эфедрина (98.8%) по сравнению с результатами работы других авторов [15, 18]. Результаты исследования показали, что при ацилировании соединения 1 уксусным ангидридом данная реакция идёт по аминогруппе, в результате чего образуется соединение 2.

С использованием реакция Манниха получено вещество (4S)-2,3-диметил-1,2,3,4-тетрагидроизохинолин-4-ола (3) с хорошим выходом.

Структура модифицирующих соединений 2 и 3 установлена методом ИК-спектроскопии при частоте в области 600 – 3400 см<sup>-1</sup>. Установлено, что частота

колебаний гидроксильной группы обнаружена в виде связывающих с карбонильной группой межмолекулярных или внутримолекулярных водородных связей, а для фенильной группы обнаружено два типа валентных колебаний, благодаря влиянию боковой цепи с  $\pi$ -электронами атома *C-орто* – фенильной группы соединений **2** и **3**.

Результаты, полученные в данной работе, подтверждают возможность проявления противовирусных свойств синтезированных производных эфедрина.

### Литература

1. Бобров Е.Г. Род 45. Хвойник – *Ephedra* L. Флора СССР // В 30 т. М.-Л. Изд.: АН СССР, 1934. – Т. 1. – С. 203.
2. Ходжиматов М. Дикорастущие лекарственные растения Таджикистана // Таджикская Советская Энциклопедия: Душанбе, 1989. – С.365.
3. Zheng Q., Mu X., Pan S., Luan R., Zhao P. *Ephedrae herba*: A comprehensive review of the traditional uses, phytochemistry, pharmacology and toxicology // *J. of Ethnopharmacology*, 2023. 307: Pp. 116-153.
4. Tang S., Ren J., Kong L., Yan G., Liu C., Han Y., Sun H., Wang X.J. *Ephedrae herba*: A review of its phytochemistry, pharmacology, clinical application, and alkaloid toxicity. *Molecules*, 2023. 28(2): P. 663.
5. Музычкина Р.А., Корулькин Д.Ю., Абилов Ж.А. и др. Основы химии природных соединений // Алматы, Қазақ университеті, 2010. – С. 564.
6. Овчинников Ю.А. Биоорганическая химия. М. 1987. – С.815.
7. Куркин В.А. Фармакогнозия// Учебник для студентов фармацевтических вузов. – Самара: ООО «Офорт», ГОУВПО «СамГМУ», 2007. – 1180 с.
8. Племенков В.В. Введение в химию природных соединений// Для хим., биол. и мед. спец. вузов. - Казань, 2001., - 276 с.
9. Соколов Д.В., Исин Ж.И., Куриленко В.М., Хлиенко Ж.Н. // А.С. №468916, СССР. Способ получения N-замещенных производных эфедрина и его хлоргидрата. Б.И. 1975. – №16. – С. 65.
10. Барамысова Г.Т., Джимбаев Б.Ж., Пралиев К.Д. // Тез. докл. Международ. научно-практич. конф. «Перспективы развития производства биопрепаратов для медицины и сельского хозяйства». Степногорск, 1995. – 77 с.
11. Музычкина Р.А., Корулькин Д.Ю., Абилов Ж.А. и др. Биологически активные вещества растений. Выделение, разделение, анализ // Алматы, 2006. – 438 с.
12. Bruneton J. Pharmacognosy. Phitochemistry Medicinal Plants, 2<sup>nd</sup> edition // 1999. – P. 670.
13. Юделевич В.И., Комаров Е.В., Ионин Б.И. Фосфорорганические лекарственные препараты // Ж. Химфарм. 1985. – № 6. – С. 668-685.
14. Стуловский А.В. Сравнительное исследование субстратно ингибиторной специфичности глутатионтрансфераз/ Диссертация на соиск кандидат биол. наук. Л. 1991.
15. Журинов М.Ж., Газалиев М.А., Нуркенов О.А., Турдыбеков К.М. Гетероциклизация эфедриновых алкалоидов // Алматы, Ғылым, 2006. – 192 с.

16. Семеннов А.А. Очерк химии природных соединений // Новосибирск, 2000. – 664 с.
17. Орехов А.П. Химия Алкалоидов // – М.: АН СССР, 1955. – С. 828.
18. Журинов М.Ж., Газалиев А.М., Фазылов С.Д. Химия эфедриновых алкалоидов // Алма-Аты, Наука, 1990. – 144 с.
19. Газалиев А.М., Журинов М.Ж., Алиякпаров М.Т., Фазылов С.Д. Модифицированные производные алкалоидов в качестве перспективных алкалоидов // Мат. междуна. конф. «Актуальные проблемы технологии производства, переработки лекарственного растительного сырья и получения фитопрепаратов»/ Тез. докл. – Караганда, 1994. – С. 51-56.
20. Нуркенов О.А., Газалиев А.М., Кокжалова Б.З. О реакционной способности некоторых алкалоидов в условиях реакции Манниха// Сборник депонирование науч. трудов. Алматы, 1996. – Вып. 5. – С.13.
21. Kamal F.M. Atta, Omaima O.M. Farahat, Alaa Z.A. Ahmed, Mohamed G. Marei. Synthesis and Antibacterial Activities of Novel Imidazo[2,1-b]-1,3,4-thiadiazoles. //J. Molekules, 2011, v. 16. – Рр. 5496-5506.
22. Васильев А.В., Гриненко Е.В., Щукин А.О., Федудина Т.Г. Инфракрасная спектроскопия органических и природных соединений// Учеб. пособие. СПб.: СПбГЛТА, 2007. – С. 54
23. Тарасович Б.Н. ИК спектры основных классов органических соединений// Справочные материалы / Б.Н. Тарасевич. – М.: МГУ имени М.В. Ломоносова, 2012. – 55 с.

УДК 5456.54.54-162.541-67

## СИНТЕЗ И ИССЛЕДОВАНИЕ ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ФЕРРИТА ЛАНТАНА

**Морозова В.А., Новоженев В.А., Смагин В.П.,  
Стручева Н.Е., Калинин А.И.  
Алтайский государственный университет  
(г. Барнаул, Российская Федерация)**

***Аннотация.** Автором в данной статье рассматривается синтез и физико-химические свойства феррита лантана. Представлены результаты синтеза феррита лантана структура перовскит. Для идентификации синтезированных веществ применяли методы инфракрасной спектроскопии и РФА. В работе была определена истинная плотность вещества.*

***Ключевые слова:** метод соосаждения, феррит лантана, структура перовскита, синтез феррита лантана, инфракрасная спектроскопия.*

## SYNTHESIS AND STUDY OF PHYSICOCHEMICAL PROPERTIES OF LANTHANUM FERRITE

V.A. Morozova, V.A. Novozhenov, V.P. Smagin,  
N.E. Strucheva, A.I. Kalinin  
Altai State University  
(Barnaul, Russia)

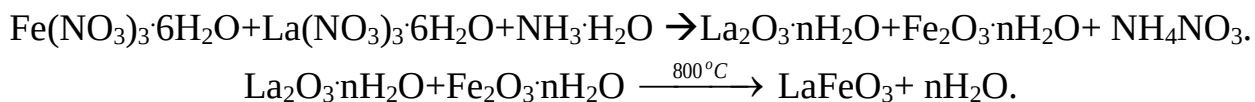
**Annotation.** In this article the author considers synthesis and physicochemical properties of lanthanum ferrite. The results of synthesis of lanthanum ferrite perovskite structure are presented. The method of infrared spectroscopy and RFA was used to identify the synthesized substances. The true density of the substance was determined in the work.

**Keywords:** co-precipitation method, lanthanum ferrite, perovskite structure, synthesis of lanthanum ferrite, infrared spectroscopy.

Ферриты представляют собой класс немагнитных материалов с огромной электроизоляционной способностью. Феррит образуется на основе оксида железа  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  и оксида другого элемента  $\text{Э}_2\text{O}_3$ . Их атомы образуют кубическую, гексагональную или орторомбическую решётку, чаще перовскитной структуры, в которой катионы железа занимают положение октаэдра, а кислород – положение тетраэдра. Феррит – диэлектрик с высокой магнитной восприимчивостью. Они в основном используются для создания магнитопроводов в трансформаторах и катушках индуктивности [1, 2].

Большей частью для синтеза ферритов лантана используют высокотемпературное спекание. Так в [3] и [4] феррит лантана получают прокаливанием смесей оксидов лантана и железа при 1000-1300 °С в течение 72 часов. В работе [5] феррит лантана получали золь-гель синтезом при прокаливании при 400 °С.

Для получения феррита лантана была выбрана методика соосаждения смеси гидратированных оксидов из растворов нитратов железа и лантана раствором аммиака и последующем прокаливании полученных смесей гидратированных оксидов компонентов при 800°С. В течение 24 час. Аналогичная методика предложена в [6]. Реакции синтеза приведены ниже:



Полученная смесь гидратированных оксидов железа и лантана была обработана ультразвуком. В качестве источника ультразвуки использовали УЗ-ванну WVC-AOPH.

Для контроля протекания химической реакции были сняты ИК-спектры смесей гидратированных оксидов железа до прокаливания, после обработки ультразвуком и после прокаливания. ИК спектры были получены на спектрометре «Инфралюм ФТ-801» в диапазоне частот 4000-550  $\text{см}^{-1}$  [7].

ИК-спектроскопия (инфракрасная спектроскопия) является важным инструментом для изучения компонентов и процессов, происходящих при

спекании оксидов с целью получения ферритов лантана. Этот метод позволяет определять функциональные группы в образцах оксидов и ферритов, что помогает понять, какие химические связи и группы присутствуют в исходных материалах и как они изменяются в процессе спекания. Кроме того, ИК-спектроскопия позволяет отслеживать изменения в составе и структуре материалов во время спекания, например, наблюдая исчезновение определенных пиков в спектре, что может свидетельствовать о реакции между компонентами и образовании новых соединений [8]. ИК-спектры исходных смесей оксидов и продуктов, полученных после прокаливания приведены на рис. 1, 2.

На рисунке 1а полосы поглощения:  $1635,7\text{ см}^{-1}$  относится к деформационным колебаниям О-Н в молекуле воды,  $1472,2\text{ см}^{-1}$  принадлежит группе  $\text{NO}_2^-$ ,  $1384,4\text{ см}^{-1}$  и  $1323,8\text{ см}^{-1}$  соответствуют  $\text{NO}_3^-$  группе,  $1040,7\text{ см}^{-1}$  пик указывает на колебания связи Fe-O,  $816,29\text{ см}^{-1}$  пик указывает на  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ .

На рисунке 1б на ИК-спектре отсутствуют полосы:  $3382,2\text{ см}^{-1}$  колебания О-Н в молекуле воды, полосы деформационных колебаний О-Н в молекуле воды  $1770,4\text{ см}^{-1}$  и  $1628,8\text{ см}^{-1}$ . Сигнал  $1472,2\text{ см}^{-1}$  из рисунка 1, распался на дублеты  $1483,6\text{ см}^{-1}$  и  $1447,8\text{ см}^{-1}$ , что соответствует соединению азота  $\text{NO}_2^-$ . Пик  $1384,3\text{ см}^{-1}$  принадлежит  $\text{NO}_3^-$  группе. Сигнал  $1040,7\text{ см}^{-1}$  из рисунка 1, распался на дублеты  $1072,8\text{ см}^{-1}$  и  $1042,4\text{ см}^{-1}$ , что относится к связи Fe-O. После ультразвука интенсивность и количество сигналов увеличилось, так как синглеты перешли в дублеты, изменилась структура связи. Зарегистрированы сигналы:  $856,23\text{ см}^{-1}$ ,  $815,64\text{ см}^{-1}$ ,  $724,26\text{ cm}^{-1}$ ,  $695,94\text{ см}^{-1}$ , которые соответствуют связи Fe-O [9].

На рисунке 2 отсутствуют полосы, соответствующие колебаниям О-Н групп и соответствующие колебаниям групп  $\text{NO}_3^-$ , а также колебаниям  $\text{NO}_2^-$ . Появились полосы:  $1187,8\text{ см}^{-1}$  – La-O,  $1107,6\text{ см}^{-1}$  – Fe-O,  $1069,1\text{ см}^{-1}$  –  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ .

Для идентификации полученного вещества был проведён рентгенофазовый анализ. Фазовый состав устанавливали методом РФА, который проводили на рентгеновском дифрактометре «XRD-6000» (производитель - «Shimadzu», Япония) на  $\text{CuK}_\alpha$ -излучении.

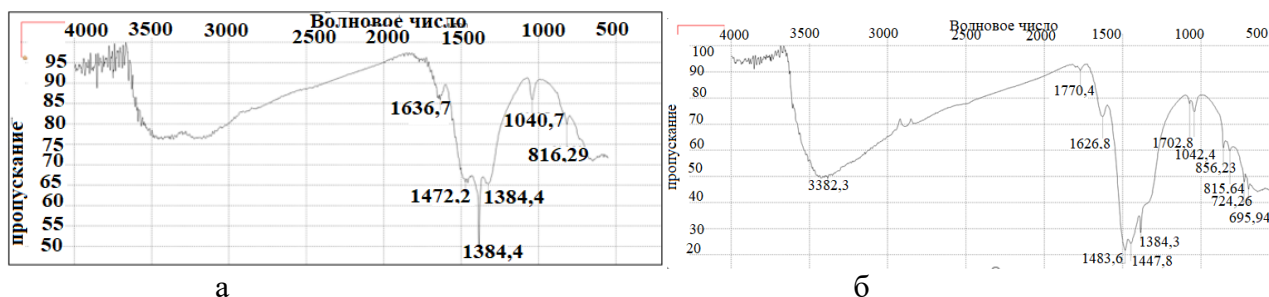


**Рисунок 1.** ИК-спектр смеси гидратированных оксидов лантана и железа до прокаливания: а-осажденные, б-после обработки ультразвуком.

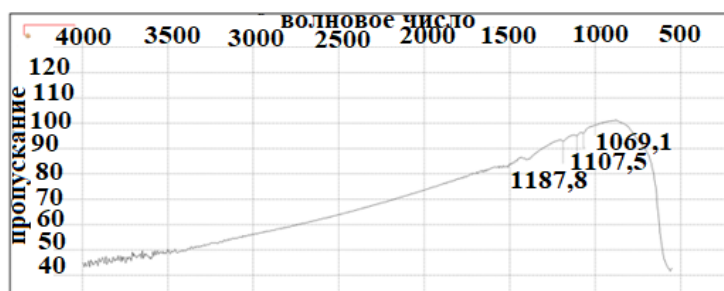


Рисунок 2. ИК-спектр  $\text{LaFeO}_3$ , прокалённого 30 часов при  $800^\circ\text{C}$ .

Рентгенофазовый анализ показал образование феррита лантана перовскитной структуры с орторомбической кристаллической решёткой, параметры которой  $a=5.5669$ ,  $b=7.8647$ ,  $c=5.5530$  Å, что хорошо коррелируется с параметрами решётки феррита лантана, приведенными в [1]  $a=5.562$ ,  $b=7.856$ ,  $c=5.554$  Å и  $a=5.554$ ,  $b=7.851$ ,  $c=5.553$  Å [2].

Для полученного феррита определена пикнометрическая плотность [9] Получено значение плотности равное  $6.60$  г/см<sup>3</sup>. Литературное значение плотности феррита лантана составляет  $6.64$  г/см<sup>3</sup> [1].

Изучение плотности ферритов помогает понять их поведение в различных условиях. Измерение плотности позволяет оценить качество и чистоту синтезированного феррита. Отклонения от ожидаемых значений плотности могут указывать на наличие примесей или недостатки в процессе синтеза. В-третьих, понимание плотности помогает в оптимизации условий синтеза ферритов, что может включать выбор температуры, времени реакции и других параметров, чтобы достичь желаемых характеристик материала.

Таким образом, в результате синтеза получен феррит лантана с перовскитной структурой. Выход продукта составил  $97.5\%$ .

### Литература

1. Saha J., Jana Y.M., Mukherjee G.D., Mondal R., Kumar S., Gupta H.C.: Structure, Mossbauer spectroscopy and vibration phonon spectra in valence-bond force-field model approach for distorted perovskites  $\text{AFeO}_3$  ( $\text{A}=\text{La}, \text{Y}$ ). //Materials Chemistry and Physics, Lausanne 240:122286. 2020. P. 1-10.
2. Bhargav K.K., Ram S., Majumder S.B.: Small polaron conduction in lead modified lanthanum ferrite ceramics. //Journal of Alloys and Compounds 638. 2015. P. 334-343
3. Яхкинд М.И. Технология получения ферритов, предусматривающая использование методов низкотемпературного и высокотемпературного окисления соединений железа / М. И. Яхкинд, С. Ю. Андреев, М. А. Сафронов, В. А. Князев. – Текст: непосредственный // Молодой ученый. – 2015. – № 12 (92). – С. 366-371. – URL: <https://moluch.ru/archive/92/20364/> (дата обращения: 15.12.2023).
4. Parida S.C., Singh Z., Dash S., Prasad R., Venugopal V. Thermodynamic studies on  $\text{LaFeO}_3(\text{s})$ . //J. Alloys Compd. 280. 1998. P. 94-98.

5. Bellakki M.B., Kelly B.J., Manivannan V. Synthesis, characterization, and property studies of (La, Ag) FeO<sub>3</sub> (0.0 ≤ x ≤ 0.3) perovskites // J. Alloys Compd. 489. 2010. P. 64-71.
6. Пат. 2663736 Российская Федерация, МПК С 01 F 17/00, С 01 G 15/00. Способ получения галлата лантана LaGaO<sub>3</sub> /Новоженков В. А. [и др.]; патентообладатель фед. гос. бюджетное образоват. учреждение высшего проф. образования «Алтайский государственный университет» № 2016126014; заявл. 16.05.2018; опубл. 09.08.2018, Бюл. № 22. 7 с.
7. ИК фурье-спектрометр «ФТ-801» [Электронный ресурс] // Ассоциация СибАкадемИнновация. URL: <http://www.sibai.ru/ik-fure-spektrometr-ft-801.html> (дата обращения: 08.02.2023).
8. Pratibha S., Dhananjaya N., Lokesh R. Investigations of enhanced luminescence properties of Sm<sup>3+</sup> doped LaAlO<sub>3</sub> nanophosphors for field emission displays // Materials Research Express. 2019. Vol. 6. № 12. 25 p. DOI: 10.1088/2053-1591/ab6381.
9. Накомото К. ИК спектры и спектры КР неорганических и координационных соединений // М.: Мир. – 1991. – 536 с.
10. Мордасов Д.М. Технические измерения плотности сыпучих материалов / Д.М. Мордасов, М.М. Мордасов. – Тамбов: Тамб. гос. техн. ун-т, 2004. – 80 с.

УДК 541.271

## СИНТЕЗ БОРОГИДРИДА НАТРИЯ КАК ИСТОЧНИК ВОДОРОДА ДЛЯ ТОПЛИВНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ

**Назаров Ф.А., Гулова Д.А., Исозода Д.Т., Мирсайдов У.М.**

*Институт химии имени В.И. Никитина  
Национальной академии наук Таджикистана  
(г. Душанбе, Республика Таджикистан)*

***Аннотация.** Получен борогидрид натрия из боросиликатного стекла взаимодействием металлического натрия и водорода под давлением.*

***Ключевые слова:** борогидрид натрия, борное стекло, топливный элемент, водород, натрий.*

## SYNTHESIS OF SODIUM BOROHYDRIDE AS A SOURCE OF HYDROGEN FOR FUEL CELLS

**F.A. Nazarov, D.A. Gulova, D.T. Isozoda, U.M. Mirsaidov**

*V.I. Nikitin Institute of Chemistry  
of the National Academy of Sciences of Tajikistan  
(Dushanbe, Tajikistan)*

***Annotation.** Sodium borohydride was obtained from borosilicate glass by the interaction of metallic sodium and hydrogen under pressure.*

***Keywords:** sodium borohydride, boron glass, fuel cell, hydrogen, sodium.*

Сокращение запасов ископаемого топлива ускоряет поиск новых источников энергии. В перспективе самым эффективным и экологически чистым топливом

будет водород. Для использования водорода необходимо решить вопросы хранения, безопасности и транспортировки.

Для топливных элементов самым удобным хранением водорода является химическое аккумулирование в виде комплексных борогидридов металлов. Среди гидридов борогидриды лития и натрия ( $\text{MBH}_4$ , где  $\text{M}=\text{Li}, \text{Na}$ ) занимают особое место, так как они аккумулируют водород до 18%.

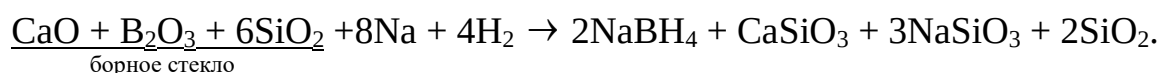
Получение борогидридов металлов описано во многих работах [1-4]. Однако нет работ, где  $\text{NaBH}_4$  получен непосредственно из боросиликатного сырья.

Известно, что борогидрид натрия восстанавливает многие органические карбонилы в зависимости от конкретных условий.

Известно также, что  $\text{NaBH}_4$  выгодно отличается от других гидридов, он устойчив на воздухе и в щелочной среде. Это свойство позволяет легко оперировать с  $\text{NaBH}_4$ . Другие борогидриды щелочных металлов бурно взаимодействуют с влагой, и при их синтезе необходима инертная атмосфера [4].

Целью разработанного нами способа является получение борогидрида натрия непосредственно из борного стекла, полученного из местных сырьевых материалов и экстракция органическим растворителем вместо жидкого аммиака.

Техническое решение направлено на разработку нового способа получения  $\text{NaBH}_4$  при взаимодействии борного стекла с натрием и водородом и экстракцией органическими растворителями по реакции:



Процесс получения  $\text{NaBH}_4$  проводился на установке, представленной на рисунке 1.

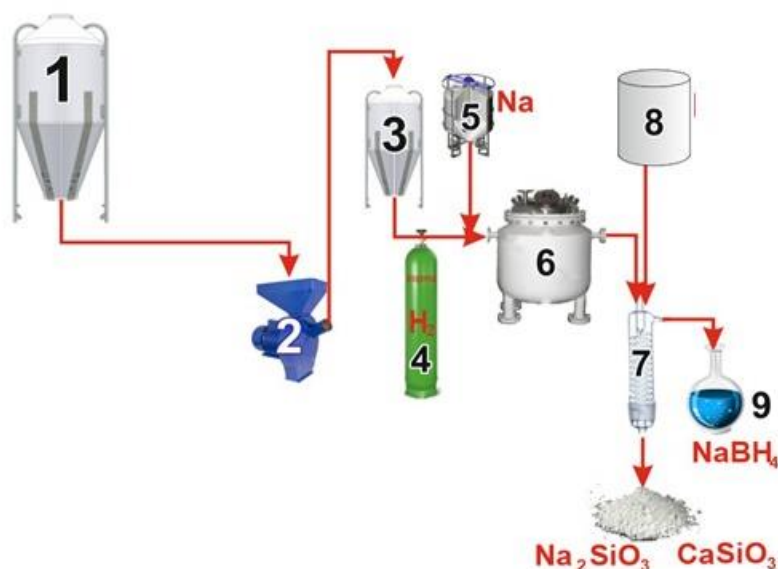


**Рисунок 1.** Установка для получения  $\text{NaBH}_4$ , 1 – бункер борного стекла, 2 – дробилка, 3 – бункер для молотого стекла, 4 – баллон водорода, 5 – плавитель натрия, 6 – реактор, 7 – экстрактор, 8 – резервуар органического растворителя, 9 – раствор  $\text{NaBH}_4$  для непосредственного использования.

Как видно из рисунка 1, процесс получения  $\text{NaBH}_4$  протекает по указанной схеме, где отсутствуют несколько технологических процессов.

Из полученного непосредственно раствора можно выделить  $\text{NaBH}_4$  для топливных элементов.

### Литература

1. Мальцева Н.Н. Борогидрид натрия / Н.Н. Мальцева, В.С. Хаин. – М.: Наука, 1985. – 206 с.
2. Мирсаидов У.М. Свойства тетрагидритов щелочных металлов / У. Мирсаидов, В.С. Хаин, Ю.М. Шевченко, Н.Н. Мальцева. – Душанбе: Дониш, 1984. – 358 с.
3. Мирсаидов У.М. Борогидриды переходных металлов / У.М. Мирсаидов, Т.Н. Дымова. – Душанбе: Дониш, 1985. – 121 с.
4. Мирсаидов У.М. Борогидриды металлов / У.М. Мирсаидов. – Душанбе: Дониш, 2004. – 121 с.

УДК 5456.54.54-162.541-67

## СИНТЕЗ И ИССЛЕДОВАНИЕ ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ФЕРРИТА САМАРИЯ

Нечепоренко К.В., Калинин А.И., Новоженев В.А., Стручева Н.Е.

*Алтайский государственный университет  
(г. Барнаул, Российская Федерация)*

**Аннотация.** В данной статье представлен материал о синтезе и физико-химических свойствах феррита самария. Представлены результаты синтеза феррита самария, структуры перовскита. Для идентификации синтезированных веществ применяли метод инфракрасной спектроскопии и рентгенофазовый анализ. В работе была определена истинная плотность вещества.

**Ключевые слова:** метод соосаждения, феррит самария, структура перовскит, синтез феррита самария, инфракрасная спектроскопия, истинная плотность.

## SYNTHESIS AND INVESTIGATION OF PHYSICO-CHEMICAL PROPERTIES OF SAMARIUM FERRITE

K.V. Necheporenko, A.I. Kalinin, V.A. Novozhenov, N.E. Strucheva

*Altai State University  
(Barnaul, Russia)*

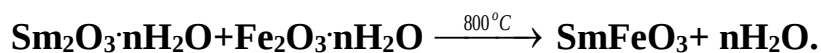
**Annotation.** In this article, the author talks about the synthesis and physicochemical properties of samarium ferrite. The results of the synthesis of samarium ferrite of the perovskite structure are presented. The infrared spectroscopy method was used to identify the synthesized substances. The true density of the substance was determined in the work.

**Keywords:** coprecipitation method, method, samarium ferrite, perovskite structure, synthesis of samarium ferrite, infrared spectroscopy, true density.

Ферриты используются в качестве магнитных материалов в радиотехнике, электронике, автоматике и вычислительной технике (ферритовые поглотители электромагнитных волн, антенны, сердечники, накопительные элементы, постоянные магниты). Из-за наличия железа в структуре, самариевый феррит демонстрирует ферромагнитные свойства при определенных температурах. Феррит самария, относящийся к классу перовскитов, обладает высокими значениями магнитной анизотропии и может проявлять эффект магнеторезистивности, что делает его перспективным для применения в магнитных сенсорах и устройствах хранения данных [1, 2].

В литературе синтез феррита самария преимущественно проводили методом спекания при температурах выше 1200-1500 °С. Так в работе [3], осажденные из смесей нитратов смеси гидратированных оксидов самария и железа после высушивания при 140°С прокаливали при температуре 1200 °С в течение 72 часов. В работе [4] для синтеза использовали оксиды  $\text{Sm}_2\text{O}_3$  и  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ , которые после трехчасового измельчения, прессования при 0.1 ГПа, прокаливали при 1200 °С в течение 72 часов с двумя перетираниями.

Нами для получения феррита самария использовали метод совместного осаждения с последующим прокаливанием полученной смеси, аналогичный методу получения галлатов неодима, описанный в [5]. В качестве исходных материалов использовали шестиводные нитраты самария (III) ( $\text{Sm}(\text{NO}_3)_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ ) и железа (III) ( $\text{Fe}(\text{NO}_3)_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ ). Схемы реакций имеют вид:



Просушенное на воздухе твердое кристаллическое вещество прокаливали в муфельной печи в течение 30 часов при 800 °С. В качестве контроля протекания химических реакций использовали метод ИК-спектроскопии [6]. ИК спектры были получены на спектрометре «Инфралюм ФТ-801» в диапазоне частот 4000-550  $\text{см}^{-1}$  [7].

Ик-спектры продуктов химических реакций после осаждения гидратированных оксидов самария и железа, обработанных ультразвуком и прокаленных при 800 °С приведены на рис. 1, 2.

На рисунке 1а приведён зарегистрированный спектр образца  $\text{SmFeO}_3$  до прокаливания. Полосы поглощения 3129.8, 3030.8 и 2797.9  $\text{см}^{-1}$  соответствуют колебаниям ОН-группы. Пик 1767.2  $\text{см}^{-1}$  представлен деформационными колебаниями в молекуле воды. В диапазоне 1350-1400  $\text{см}^{-1}$  соответствует нитрогруппе ( $\text{NO}_3^-$ ) из побочных продуктов реакций синтеза. Полосы поглощения 1039.2  $\text{см}^{-1}$  и 813.42  $\text{см}^{-1}$  относятся к колебаниям связи Fe-O и представлены оксидами железа.

На рисунке 1б полосы: 1636  $\text{см}^{-1}$  соответствуют деформационным колебаниям в ОН-группе, нитрогруппе принадлежат полосы поглощения 1384.5  $\text{см}^{-1}$  и 1329.3  $\text{см}^{-1}$ . После ультразвука сигналы оксидов железа зарегистрированы

чётче.  $1038.5\text{ см}^{-1}$  соответствует оксиду  $\text{FeO}$ , а полосы  $814.94\text{ см}^{-1}$  и  $742.82\text{ см}^{-1}$  соответствуют оксиду  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  [4, 5]. По соотношению пиков интенсивности  $\text{SmFeO}_3$  до ультразвука и после, заметно изменение интенсивности спектра (пик нитрогрупп становится более широким), что связано с изменением структуры связей. Синглеты на рисунке 1 переходят в дублеты на рисунке 2, следовательно, после ультразвука изменяется структура связей в оксидах железа.

На рисунке 2 полосы соответствуют:  $632.31\text{ см}^{-1}$  –  $\text{Sm-O}$  в оксиде самария (III),  $579.82\text{ см}^{-1}$  –  $\text{Fe-O}$  в оксиде железа (II). Колебания очищенных прокаливанием оксидов. Прокаленная система очищена от примесей воды и нитратов.

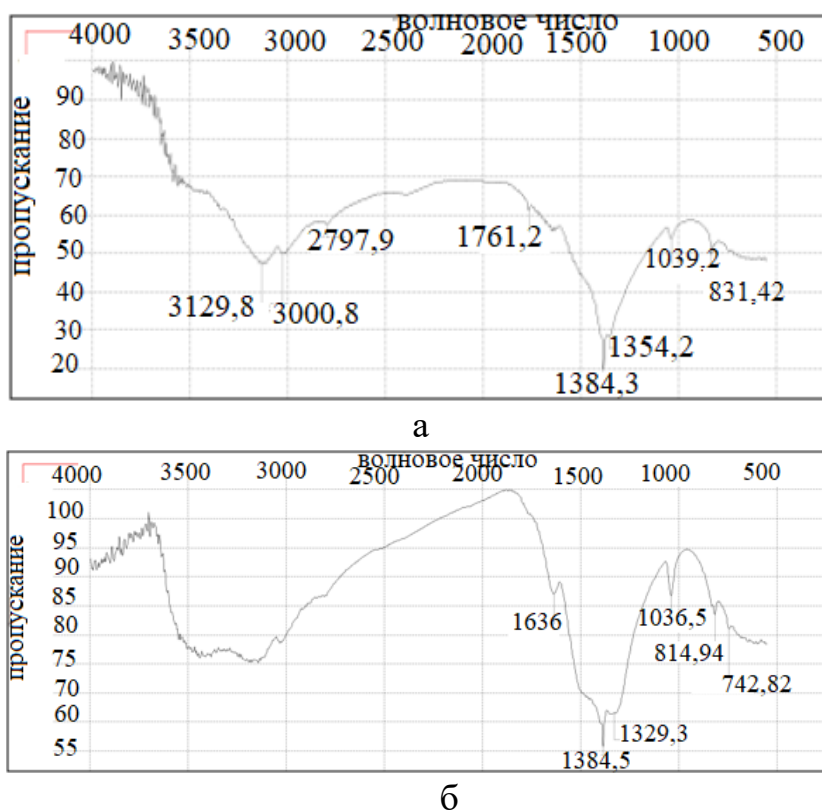


**Рисунок 1.** ИК-спектры смеси оксидов  $\text{Sm}_2\text{O}_3 \cdot n\text{H}_2\text{O}$  и  $\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot n\text{H}_2\text{O}$  до прокаливания (а) и после обработки ультразвуком (б).



**Рисунок 2.** ИК-спектр  $\text{SmFeO}_3$ , прокалённого 30 часов при  $800^\circ\text{C}$ .

Для идентификации полученного вещества был проведён анализ. Фазовый состав устанавливали методом РФА, который проводили на рентгеновском дифрактометре «XRD-6000» (производитель - «Shimadzu», Япония) на  $\text{CuK}\alpha$ -излучении. Рентгенофазовый анализ показал образование феррита самария перовскитной структуры с параметрами кристаллической решетки  $a=5.59835$ ,  $b=7.70096$ ,  $c=5.3959$  Å, что хорошо совпадают с параметрами решетки феррита самария, приведенными в [9]  $a=5.592$ ,  $b=7.710$ ,  $c=5.398$  Å и  $a=5.589$ ,  $b=7.727$ ,  $c=5.391$  Å [10].

Измерив плотность полученного в ходе синтеза соединения, было получено значение плотности равное  $7.19 \text{ г/см}^3$ . Литературное значение плотности феррита самария, рассчитанное по рентгенофазовому анализу, составляет  $7.26 \text{ г/см}^3$  [11, 12].

Синтез феррита самария  $\text{SmFeO}_3$  проведен при более энергосберегающих условиях с выходом продукта 100 %, что позволяет сделать процесс получения более феррита самария экономически более выгодным.

### Литература

1. Hurd C.M. Varieties of Magnetic Order in Solids. //Gontemp. Phys., 1982, v. 23, No. 5, pp. 469-493.
2. Щербаков С.С., Горбунов Д.В. Магнитные свойства ферритов редкоземельных элементов: структурные и магнитные корреляции //Ж-л магнитных материалов. – 2019. – № 478. – С. 53-60.
3. Parida S.C., Rakshit S.K., Singh Z.: Heat capacities, order-disorder transitions, and thermodynamic properties of rare-earth orthoferrites and rare-earth iron garnets //J. Solid State Chem. 181. 2008. P. 101-121.
4. Mathe V.L. Structural, dielectric and electrical properties of  $\text{Sm}_x\text{Bi}_{1-x}\text{FeO}_3$  ceramics. //J. Magn. Magn. Mater. **263**. 2003. P. 344-352.
5. Пат. 2721700 Российская федерация, СПК C01B 13/36 (2020.01); C01F 17/00 (2020.01); C01G 15/00 (2020.01). Способ получения галлатов неодима  $\text{NdGaO}_3$ ,  $\text{Nd}_5\text{Ga}_3\text{O}_{12}$  и  $\text{Nd}_4\text{Ga}_2\text{O}_9$  / Белова Ольга Владимировна, Новожинов Владимир Антонович; заявитель и патентообладатель Алтайский гос. ун-т. № 2019126486; заявл. 20.08.2019; опубл. 21.05.2020, Бюл. – № 15. – 10 с.
6. Бёккер Ю. Спектроскопия / Пер. с нем. Л. Н. Казанцевой, под ред. А.А. Пупышева, М.В. Поляковой. М.: Техносфера, 2009. – 528 с.
7. ИК фурье-спектрометр «ФТ-801» [Электронный ресурс] // Ассоциация СибАкадемИнновация. URL: <http://www.sibai.ru/ik-fure-spektrometr-ft-801.html> (дата обращения: 19.02.2024).
8. Накомото К. ИК спектры и спектры КР неорганических и координационных соединений. М.: Мир. 1991. – 536 с.
9. Gupta S., Medwal R., Pavunny S.P., Sanchez D., Katiyar R.S.: Temperature dependent Raman scattering and electronic transitions in rare earth  $\text{SmFeO}_3$ . //Ceramics International. 44. 2018. P. 4198-4203.
10. Berini B., Fouchet A., Popova E., Scola J., Dumont Y., Franco N., Da Silva R.M.C., Keller N. High temperature phase transitions and critical exponents of Samarium

orthoferrite determined by in situ optical ellipsometry //J. of Applied Physics 111:053923. 2012. P. 1-5.

11. Михайлов В.И. Жидкостная пикнометрия: принципы и применение //Журнал аналитической химии. 2018. – 73(2). – С. 145-152.
12. Мордасов Д.М. Технические измерения плотности сыпучих материалов// Учеб. пособие/ Д.М. Мордасов, М.М. Мордасов. Тамбов: Тамб. гос. техн. ун-т, 2004. – 80 с.

УДК 632.15.

## **ПЕРСПЕКТИВЫ КОМПЛЕКСНОЙ ПЕРЕРАБОТКИ ОТХОДОВ КРИОЛИТ-ГЛИНОЗЁМНОГО КОНЦЕНТРАТА СОВМЕСТНО С ФЛЮОРИТОМ И ПОЛУЧЕНИЕ ПЛАВИКОВОЙ КИСЛОТЫ**

**Раджабов Ш.Х.**

***Таджикский национальный университет  
(г. Душанбе, Республика Таджикистан)***

**Аннотация.** Для производства технической плавиковой кислоты обычно используют минерала флюорит (плавиковый шпат с содержанием  $\text{CaF}_2$  не менее 92%). В последнее время в связи с увеличением спроса на фтористые соли заметно истощаются запасы флюоритовой руды. Кроме того, при производстве алюминия накапливаются ценные фторсодержащие отходы – шлам газоочистки, отработанная футеровка электролизеров и др., переработка которых позволит снизить нагрузку на окружающую среду и увеличить эффективность производства алюминия за счёт снижения платы за выбросы. Результаты исследований позволят последовательно высвободить шламовые поля предприятий алюминиевого производства, уменьшить расход ценного сырья, снизить себестоимость производимого алюминия и улучшить экологическую обстановку.

**Ключевые слова:** производство алюминия, флюорит, фторсодержащие отходы, кислотное разложение, плавиковая кислота, криолит-глиноземный концентрат (КТК), производство криолита и фторида алюминия.

## **PROSPECTS FOR COMPREHENSIVE PROCESSING OF KGK WASTE TOGETHER WITH FLUORITE AND PRODUCTION OF HYDROFLUORIC ACID**

**Sh.Kh. Radjabov**

***Tajik National University  
(Dushanbe, Tajikistan)***

**Annotation.** For the production of technical hydrofluoric acid, fluorite mineral (fluorspar with a  $\text{CaF}_2$  content of at least 92%) is usually used. Recently, due to the increased demand for fluoride salts, fluorite ore reserves have been noticeably depleted. In addition, valuable fluorine-containing waste accumulates during aluminum production - gas cleaning sludge, spent lining of electrolyzers, etc., the processing of which will reduce the burden on the environment and increase the efficiency of aluminum production by reducing emissions fees. The research results will allow for the consistent release of sludge fields at aluminum production enterprises, reduce the consumption of valuable raw materials, reduce the cost of aluminum production and improve the environmental situation.

**Keywords:** aluminum production, fluorite, fluorine-containing waste, acid decomposition, hydrofluoric acid, cryolite-alumina concentrate (CAC), cryolite and aluminum fluoride production.

Объём производства алюминия является наибольшим среди цветных металлов, и в развитии мировой экономики требует постоянного увеличения производства оксида алюминия для его получения.

Ежегодно на предприятиях по производству алюминия образуются миллионы тонн отходов, которые создают глобальную экологическую проблему. Поэтому нами было исследовано получение криолит-глинозёмного концентрата (КГК) из шламовых отходов производства алюминия со спеканием углерода в его состава и получении вторичного КГК. В состав шламового отхода согласно химическим анализам содержится (масс. %):  $\text{Al}_2\text{O}_3$  – 10-18; С - 10;  $\text{Na}_3\text{AlF}_6$  – 15-26;  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  – 5-14;  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  и  $\text{NaHCO}_3$  – 0.8-1.2;  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  – 3-4;  $\text{SiO}_2$  – 0.8-1.5;  $\text{CaF}_2$  и  $\text{MgF}_2$  – 0.6-0.8. Однако при производстве вторичного КГК иногда нарушается технологическая линия и образуется огромное количество отходов, которое богато фтором [1, с. 35].

Исходя из этого, нами была поставлена задача проведения экспериментов по кислотному разложению отходов некондиционного КГК совместно с флюоритом с целью получения плавиковой кислоты. Проведенные опыты показали, что наиболее благоприятные условия для получения плавиковой кислоты из смеси шихты некондиционного КГК со флюоритом является: соотношение смесь шихты некондиционного КГК с флюоритом по процентному соотношению: 70-30; соотношение пробы с кислотой 1:1.5; время процесса  $\tau=20$  мин; температура  $t=260-280^\circ\text{C}$ ; при этом степень извлечения фтора достигается до 93.2%. В дальнейшем, изучался процесс водной обработки твёрдого остатка, образующегося после сернокислотного разложения с целью извлечения глинозема и дальнейшего его применения в цементной промышленности и др. отраслях [2, с. 114].

Также, было исследовано получение глинозема водной обработкой твёрдого остатка после сернокислотного разложения. В твёрдом остатке, согласно протеканию химической реакции сернокислотного разложения, содержится (масс. %):  $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$ ;  $\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$ ;  $\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$ ; и  $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$  [2, с. 201]. Поэтому для установления оптимальных условий извлечения солей сульфата алюминия из проб данных отходов был проведен цикл исследований по изучению зависимости степени извлечения водорастворимых солей от различных факторов: температуры, продолжительности процесса и отношения твёрдой фазы к жидкой. По водорастворимому сульфату алюминия рассчитывалась степень извлечения глинозёма.

**Таблица 1** - Сводные данные по изучению процесса водной обработки твёрдого остатка, образующегося после сернокислотного разложения

| Пробы | Условия водной обработки           |                        |                    |              | Анализ основных компонентов       |                                   |                                    |                                                                 |
|-------|------------------------------------|------------------------|--------------------|--------------|-----------------------------------|-----------------------------------|------------------------------------|-----------------------------------------------------------------|
|       | Температура<br>$t, ^\circ\text{C}$ | Время<br>$\tau$ , мин. | Соотношения<br>Т:Ж | В/ч<br>в, %. | $\text{Al}_2\text{O}_3$<br>в, г/л | $\text{Fe}_2\text{O}_3$<br>в, г/л | $\text{Na}_2\text{SO}_4$<br>в, г/л | Степень<br>извлечения<br>$\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$<br>в, % |
| 1.    | 25                                 | 20                     | 1:5                | 4,00         | 0,14                              | 0,05                              | 11,4                               | 14,0                                                            |
| 2.    | 75                                 | 20                     | 1:5                | 25,5         | 0,89                              | 0,15                              | 7,80                               | 87,0                                                            |
| 3.    | 95                                 | 20                     | 1:5                | 36,5         | 0,91                              | 0,45                              | 5,51                               | 88,9                                                            |
| 4.    | 95                                 | 30                     | 1:5                | 36,0         | 0,74                              | 0,16                              | 10,1                               | 72,3                                                            |
| 5.    | 95                                 | 40                     | 1:5                | 19,0         | 0,96                              | 0,21                              | 8,90                               | 93,8                                                            |
| 6.    | 95                                 | 60                     | 1:5                | 36,5         | 0,95                              | 0,39                              | 5,12                               | 93,4                                                            |
| 7.    | 95                                 | 30                     | 1:6                | 34,5         | 0,58                              | 0,23                              | 5,17                               | 57,0                                                            |
| 8.    | 95                                 | 30                     | 1:7                | 32,0         | 0,96                              | 0,11                              | 5,47                               | 93,8                                                            |
| 9.    | 95                                 | 30                     | 1:8                | 28,4         | 0,63                              | 0,20                              | 6,19                               | 61,5                                                            |
| 10.   | 95                                 | 30                     | 1:7                | 36,6         | 0,96                              | 0,32                              | 5,47                               | 93,8                                                            |

**Таблица 2** - Степень осаждения гидроксидов алюминия и железа при обработке раствора сульфата алюминия различными концентрациями кальцинированной соды (объём раствора 100 мл)

| №  | количество<br>исрасходован-<br>ного<br>гидроксида<br>натрия,<br>мл | концентрация,<br>кальцинирован-<br>ной соды,<br>г/экв | масса<br>выпав.смесь<br>осадков<br>алюминия и<br>железа,<br>г. | степень<br>осаждения<br>гидроксида<br>алюминия,<br>% | степень<br>осаждения<br>гидроксида<br>железа,<br>% |
|----|--------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------|----------------------------------------------------|
| 1  | 30                                                                 | 1                                                     | 0.21                                                           | 0.53                                                 | 0.72                                               |
| 2  | 40                                                                 | 1                                                     | 0.27                                                           | 1.23                                                 | 1.45                                               |
| 3  | 50                                                                 | 1                                                     | 0.43                                                           | 3.04                                                 | 3.32                                               |
| 4  | 60                                                                 | 1                                                     | 0.49                                                           | 14.28                                                | 14.09                                              |
| 5  | 70                                                                 | 1                                                     | 0.58                                                           | 47.96                                                | 52.51                                              |
| 6  | 80                                                                 | 1                                                     | 0.80                                                           | 60.20                                                | 67.86                                              |
| 7  | 90                                                                 | 1                                                     | 1.26                                                           | 73.99                                                | 80.42                                              |
| 8  | 100                                                                | 1                                                     | 1.34                                                           | 91.56                                                | 98.8                                               |
| 9  | 110                                                                | 1                                                     | 1.20                                                           | 90.71                                                | 97.9                                               |
| 10 | 120                                                                | 1                                                     | 1.12                                                           | 88.89                                                | 93.80                                              |
| 11 | 100                                                                | 0.8                                                   | 0.93                                                           | 85.75                                                | 83.90                                              |
| 12 | 100                                                                | 1.5                                                   | 1.22                                                           | 90.14                                                | 98.6                                               |

Результат проведенных опытов показал, что наиболее благоприятные условия при водной обработке, является: соотношение Т: Ж = 1:7, температура  $t=95^\circ\text{C}$  и продолжительность времени  $\tau = 30$  мин; при этом степень извлечения водорастворимых сульфатных солей достигается до 93.8% [3, с. 98].

При увеличении расхода соды от 30 до 100 мл, степень осаждения гидроксида железа меняется от 0.72 до 98.8%, а гидроксид алюминия - от 0.53 до 91.56% при расходе раствора кальцинированной соды концентрацией 1 г/экв (табл. 3, п.1-8). [4, с. 6].

В результате проведенных исследований установлено, что с увеличением концентрации соды, степень осаждения гидроксида железа достигает максимума, а содержание гидроксида алюминия снижается вследствие образования алюмината натрия.

Полученная смесь осадков гидроксида алюминия и железа высушивались при температурах 100-120°C до постоянной массы и подвергалась выщелачиванию раствором гидроксида натрия различной концентрации и объема с целью разделения алюминия от железа в виде алюминатного раствора [5, с. 846]. Также были изучены условия извлечения алюминия в виде алюмината натрия из смеси осадков в зависимости от продолжительности процесса, температуры, объема и концентрации раствора щелочи. Результаты приведены в таблице 3 [5, с. 848].



**Таблица 3** - Степень разделения глинозёма из смеси осадков гидроксида алюминия и железа после обработки гидроксидом натрия

| №<br>Опытов | исходная<br>масса, смесь<br>осадков | объём<br>израсходован.<br>раств. NaOH,<br>мл | конц.<br>NaOH,<br>г/л | темпера<br>тура,<br>°C | время,<br>мин. | извлечение<br>Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub><br>% |
|-------------|-------------------------------------|----------------------------------------------|-----------------------|------------------------|----------------|---------------------------------------------------|
| 1           | 1,3                                 | <b>10</b>                                    | 100                   | ком                    | 15             | 63,4                                              |
| 2           | 1,3                                 | <b>20</b>                                    | 100                   | 20                     | 15             | 81,0                                              |
| 3           | 1,3                                 | <b>30</b>                                    | 100                   | 20                     | 15             | 96,9                                              |
| 4           | 1,3                                 | <b>40</b>                                    | 100                   | 20                     | 15             | 84,5                                              |
| 5           | 1,3                                 | 30                                           | <b>80</b>             | 20                     | 15             | 82,1                                              |
| 6           | 1,3                                 | 30                                           | <b>120</b>            | 20                     | 15             | 91,5                                              |
| 7           | 1,3                                 | 30                                           | 100                   | <b>30</b>              | 15             | 97,0                                              |
| 8           | 1,3                                 | 30                                           | 100                   | <b>40</b>              | 15             | 97,6                                              |
| 9           | 1,3                                 | 30                                           | 100                   | <b>60</b>              | 15             | 97,1                                              |
| 10          | 1,3                                 | 30                                           | 100                   | 40                     | <b>10</b>      | 96,1                                              |
| 11          | <b>1,3</b>                          | <b>30</b>                                    | <b>100</b>            | <b>40</b>              | <b>5</b>       | <b>97,6</b>                                       |

Проведенные анализы доказывают, что рациональным условием степени перехода алюминия в раствор в виде алюмината натрия происходит при следующих условиях: расход раствора щелочи – 30 мл, концентрация NaOH 100 г/л, температура 40°C и продолжительность 5 минут, при этом степень извлечения алюминия из осадка в раствор составляет в пересчёте на глинозем 96.1% (табл. 3).

Кроме того, было изучено получение криолита из алюминатного раствора с концентрацией Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 21 г/л. Для проведения опытов брали по 100 мл алюминатного раствора. Результаты проведенных исследований представлены в нижеследующей таблице.

**Таблица 4 - Варка криолита из алюминатного раствора**

| № опытов | время, мин | температура, °С | масса осадка, г | примечание                                                                                |
|----------|------------|-----------------|-----------------|-------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1        | 5          | 20              | 0.8             | из-за отсутствия кислотоупорного газорасходомера количественное определение HF невозможно |
| 2        | 10         | 20              | 1.7             |                                                                                           |
| 3        | 15         | 20              | 2.6             |                                                                                           |
| 4        | 20         | 20              | 3.5             |                                                                                           |
| 5        | 25         | 20              | 3.3             |                                                                                           |
| 6        | 20         | 40              | 3.2             |                                                                                           |
| 7        | 20         | 60              | 2.5             |                                                                                           |

Результаты исследований позволяют последовательно высвобождать шламовые поля предприятий алюминиевого производства, уменьшить расход ценного сырья, снизить себестоимость производимого алюминия, что в целом улучшит экологическую обстановку.

### Литература

1. Фатьянов А.В. Состояние обогащения флюоритовых руд // Фатьянов А.В., Леонов С.Б., Каташин Л.В. – М.: Цветметинформация, 1972. – 65 с.
2. Черепанов К.А. Утилизация вторичных материальных ресурсов в металлургии // Черепанов К.А., Черныш Г.И., Динельт В.М., Сухарев Ю.И. // – М.: Металлургия, 1994. – 224 с.
3. Зайцев В.А. Производство фтористых соединений при переработке фосфатного сырья// Зайцев В.А., Новиков А.А., Родин В.И./ – М.: Химия, 1982. – 248 с.
4. Раджабов Ш.Х. Способ комплексной переработки твёрдых фторсодержащих отходов производства алюминия// Ш.О. Кабиров, Х.С. Сафиев, Н.М. Сирочов, Б.С.Азизов, Х.А. Мирпочаев, Д.Р. Рузиев, Н.П. Мухамедиев, Х.Э. Бобоев, Ш.Х. Раджабова // Малый патент на изобретение №515 РТ. – Душанбе, 2012.
5. Раджабов Ш.Х. Технология получения криолита и фторида алюминия из глинозем-, фторсодержащих отходов производства алюминия// Х. Сафиев, Ш.О. Кабиров, Б.С. Азизов, Х.А. Мирпочаев, Д.Р. Рузиев, Х.Э. Бобоев, Ш.Х. Раджабов // Доклады АН РТ, 2011. – Т.54. – № 10. – С. 845-850.

## ОПРЕДЕЛЕНИЕ ГОРИЗОНТАЛЬНОЙ СОСТАВЛЯЮЩЕЙ ВЕКТОРОВ НАПРЯЖЕННОСТИ И ИНДУКЦИИ МАГНИТНОГО ПОЛЯ ЗЕМЛИ

Рахмонов Р.К., Олимов А.М.

*Филиал Московского государственного университета  
имени М.В. Ломоносова в городе Душанбе  
(г. Душанбе, Республика Таджикистан)*

**Аннотация.** В данной работе разработана и предложена методика измерения горизонтальной составляющей вектора напряжённости и индукции магнитного поля Земли. Проведено сравнение полученных результатов с результатами, измеренных в течение трёх предыдущих лет. Представлена графическая зависимость горизонтальной составляющей магнитного поля Земли от времени, в течение суток, а также в течение шести месяцев.

**Ключевые слова:** напряжённость магнитного поля, индукция, суперпозиция, тангенс гальванометр, окружность, напряжение, вектор, ток.

## DETERMINATION OF THE HORIZONTAL COMPONENT OF THE VECTORS OF INTENSITY AND INDUCTION OF THE EARTH'S MAGNETIC FIELD

R.K. Rahmonov, A.M. Olimov

*Lomonosov Moscow State University in Dushanbe  
(Dushanbe, Tajikistan)*

**Annotation.** In this paper, a method for measuring the horizontal component of the intensity and induction vector of the Earth's magnetic field is developed and proposed. The results obtained are compared with those obtained over the previous three years. A graphical dependence of the horizontal component of the Earth's magnetic field on time, during the day, and over six months is presented.

**Keywords:** magnetic field strength, induction, superposition, tangent galvanometer, circle, voltage, vector, current.

Магнитное склонение и магнитное наклонение определяют направление магнитной индукции поля Земли в каждом конкретном месте. Численное значение этой величины можно найти, зная наклонение и одну из проекций вектора магнитной индукции — на вертикальную или горизонтальную ось (последнее оказывается более удобным на практике). Таким образом, три этих параметра — магнитное склонение, наклонение и модуль вектора магнитной индукции  $\vec{B}$  (либо вектора напряжённости магнитного поля  $\vec{H}$ ) — полностью характеризуют геомагнитное поле в данном месте. Их точное знание для максимально большого числа пунктов на Земле имеет чрезвычайно важное значение. Составляются специальные магнитные карты, на которых нанесены изогоны (линии одинакового склонения) и изоклины (линии одинакового наклонения), необходимые для ориентации с помощью компаса [1].

Наглядное представление о положении линий магнитной индукции поля Земли даёт магнитная стрелка, закреплённая таким образом, что может свободно вращаться и вокруг вертикальной, и вокруг горизонтальной оси (например, в

кардановом подвесе), в каждой точке вблизи поверхности Земли она устанавливается определённым образом вдоль этих линий.

Поскольку магнитные и географические полюса не совпадают, магнитная стрелка указывает направление с севера на юг только приблизительно. Вертикальную плоскость, в которой устанавливается магнитная стрелка, называют плоскостью магнитного меридиана данного места, а линию, по которой эта плоскость пересекается с поверхностью Земли — магнитным меридианом. Таким образом, магнитные меридианы — это проекции силовых линий магнитного поля Земли на её поверхность, сходящиеся в северном и южном магнитных полюсах. Угол между направлениями магнитного и географического меридианов называют магнитным склонением. Оно может быть западным (часто обозначается знаком «-») или восточным (обозначается знаком «+»), в зависимости от того, к западу или востоку отклоняется северный полюс магнитной стрелки от вертикальной плоскости географического меридиана.

Магнитная индукция поля Земли не лежит в плоскости горизонта данного места, а образует с этой плоскостью некий угол — он называется магнитным наклоном. Он близок к нулю лишь в точках магнитного экватора — окружности большого круга в плоскости, которая перпендикулярна к магнитной оси.

Исходя из этого была поставлена задача определить вектор напряжённости  $\vec{H}$  и магнитной индукции  $\vec{B}$  магнитного поля Земли в городе Душанбе. Для этого нами была усовершенствована установка для измерения данных величин.

В среднем интенсивность магнитного поля Земли колеблется от 25 до 65 мкТл (0.25 — 0.65 Гс) (соответствует напряжённости 20 А/м — 52 А/м) и сильно зависит от географического положения. Это соответствует средней напряжённости поля около 0.5 Э (40 А/м). На магнитном экваторе её величина — около 0.34 Э, у магнитных полюсов — около 0.66 Э. В некоторых районах (магнитных аномалий) напряжённость резко возрастает.

Принято считать, что силовые линии магнитного поля выходят из Северного магнитного полюса и заканчиваются на Южном. Тогда согласно современным представлениям о магнитном поле Земли, силовые линии магнитного поля начинаются в Южном и заканчиваются в Северном полушарии (рис. 1).

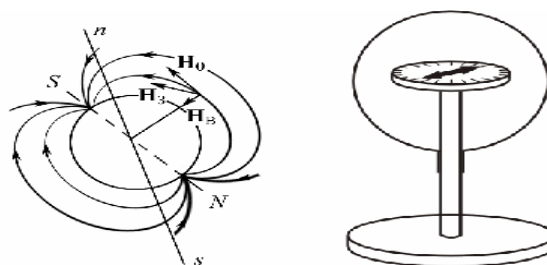


Рисунок 1. Тангенс – гальванометр.

Плоскость, проведенная через магнитную силовую линию и магнитные полюса, называется плоскостью магнитного меридиана. Линия пересечения этой плоскостью поверхности Земли называется магнитным меридианом. Так как

напряженность магнитного поля Земли меняет свою ориентацию при переходе из Южного полушария в Северное, то её можно разложить на две составляющие: горизонтальную  $\vec{H}_0$  и вертикальную  $\vec{H}_B$  [2-4].

Горизонтальную составляющую напряженности магнитного поля Земли для данного географического пункта определяют с помощью тангенс-гальванометра (рис. 1).

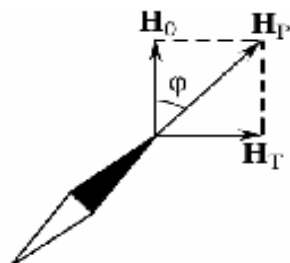


**Рисунок 2.** Напряженность горизонтальной составляющей магнитного поля Земли ( $\vec{H}_0$ ), вектор напряженности магнитного поля витка с током ( $\vec{H}_T$ ) и результирующая напряженность ( $\vec{H}_P$ ).

Прибор состоит из нескольких витков медной проволоки, расположенных вертикально. В центре витка на вертикальном острие помещена магнитная стрелка, положение которой определяется по лимбу. Если виток тангенс-гальванометра установить в положение магнитного меридиана, то на стрелку действует горизонтальная составляющая магнитного поля Земли, и она устанавливается на нулевой отметке шкалы тангенс-гальванометра. Если пропустить ток через виток, то вокруг витка появится магнитное поле. Напряженность этого поля определяется по правилу правого винта, и направление вектора напряженности  $\vec{H}_T$  зависит от направления тока в витке  $I$  [5, 6].

В этом случае на магнитную стрелку действуют два поля: магнитное поле Земли и магнитное поле витка с током. В результате магнитная стрелка отклоняется на угол  $\varphi$ , ориентируясь по результирующей  $\vec{H}_P$  полей, т.е.

$$\vec{H}_P = \vec{H}_0 + \vec{H}_T.$$

Так как вектор напряженности горизонтальной составляющей магнитного поля Земли и вектор напряженности магнитного поля витка с током перпендикулярны, то

$$H_0 = \frac{H_T}{\operatorname{tg} \varphi}$$

Напряженность в центре витка с током определяется по закону Био – Савара – Лапласа:

$$H_T = \frac{J n}{2r}$$

где  $n$  – число витков;  $J$  – сила тока;  $r$  – радиус витка.

Окончательно напряженность горизонтальной составляющей магнитного поля Земли можно выразить следующим образом:

$$H_o = \frac{Jn}{2r \operatorname{tg} \varphi}$$

По известному вектору  $\vec{H}$  определим вектор  $\vec{B}$ :

$$\vec{B} = \mu \mu_0 \vec{H}$$

где  $\mu$  – магнитная проницаемость среды;  $\mu_0$  – магнитная постоянная [7, 8].

В таблице 1 и графике (рис. 3) приведены экспериментально полученные данные зависимости горизонтальной составляющей вектора напряженности магнитного поля Земли от времени в течение суток.

В указанных ниже таблицах и графиках приведены экспериментально полученные данные зависимости горизонтальной составляющей вектора напряженности магнитного поля Земли от времени в течение шести месяцев (табл. 2).

Из приведённых выше таблиц и графиков видно, что горизонтальная составляющая вектора напряжённости магнитного поля Земли в течении 24 часов меняется периодически.

**Таблица 1.** Зависимость горизонтальной составляющей вектора напряжённости магнитного поля Земли от времени (в течение 24 часов)

|                |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |
|----------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| t              | 8:00  | 9:00  | 10:00 | 11:00 | 12:00 | 13:00 | 14:00 | 15:00 | 16:00 | 17:00 | 18:00 | 19:00 |
| H <sub>0</sub> | 18.63 | 18.04 | 17.74 | 17.13 | 18.93 | 18.88 | 17.66 | 17.27 | 17.24 | 18.05 | 17.95 | 17.83 |

|                |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |
|----------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| t              | 20:00 | 21:00 | 22:00 | 23:00 | 0:00  | 1:00  | 2:00  | 3:00  | 4:00  | 5:00  | 6:00  | 7:00  | 8:00  |
| H <sub>0</sub> | 18.18 | 18.53 | 18.11 | 17.38 | 18.18 | 17.73 | 18.39 | 18.49 | 17.62 | 18.07 | 18.01 | 17.70 | 18.19 |

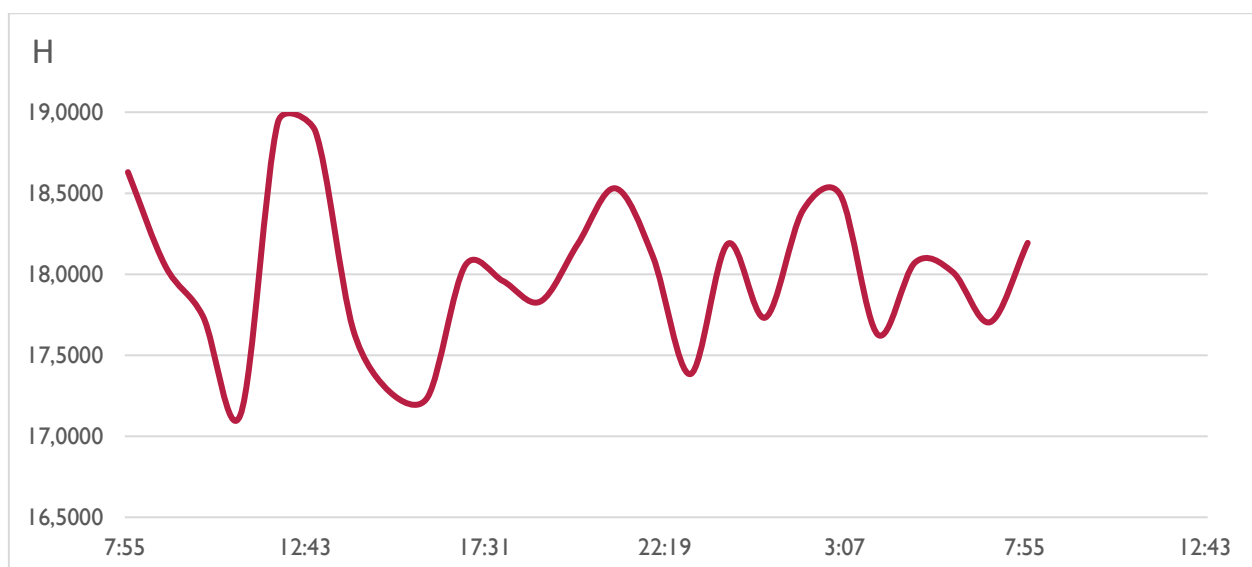


**Рисунок 3.** Зависимость горизонтальной составляющей вектора напряжённости магнитного поля Земли от времени (в течение 24 часов).

**Таблица 2.** Зависимость горизонтальной составляющей вектора напряжённости магнитного поля от времени (в течение 6 месяцев)

|       |             |             |             |             |             |             |             |             |             |             |
|-------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| $H_0$ | 17.32       | 18.92       | 17.93       | 18.02       | 17.94       | 17.47       | 20.04       | 17.99       | 18.89       | 16.64       |
| t     | 03.11. 2024 | 10.11. 2024 | 17.11. 2024 | 24.11. 2024 | 01.12. 2024 | 08.12. 2024 | 15.12. 2024 | 22.12. 2024 | 29.12. 2024 | 05.01. 2024 |

|       |             |             |             |             |             |             |             |             |             |             |
|-------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| $H_0$ | 16.52       | 20.14       | 17.4        | 19.55       | 18.83       | 18.57       | 16.56       | 16.41       | 18.28       | 20.93       |
| t     | 12.01. 2025 | 09.02. 2025 | 16.02. 2025 | 23.02. 2025 | 02.03. 2025 | 09.03. 2025 | 16.03. 2025 | 23.03. 2025 | 30.03. 2025 | 02.04. 2025 |



**Рисунок 4.** Зависимость горизонтальной составляющей вектора напряжённости магнитного поля Земли от времени (в течение 6 месяцев).

## Выводы

Результаты анализа и сравнения экспериментальных данных в течение трёх лет показывает, что численное значение горизонтальной составляющей

напряженности магнитного поля Земли (H) в городе Душанбе меняется в пределах от 16 до 22 А/м. Вектор магнитной индукции магнитного поля Земли (B) меняется в пределах 20 до 27.65 мкТл. Иногда числовое значение горизонтальной составляющей вектора напряжённости магнитного поля в течение года меняется скачкообразно до 40 А/м. Исследования показывают, что это изменение связано с резким изменением тока при подключении водяного насоса, при работе сварочного аппарата рядом с оборудованием и солнечной активности. Так как это изменение мгновенное, т.е. длится несколько секунд, то эти данные не учитывались.

### Литература

1. Короновский Н.В. Магнитное поле геологического прошлого Земли // Соросовский образовательный журнал. 1996. – № 5. – С. 56-63.
2. Рахмонов Р.К. Изучение контура магнитного поля посредством датчика Холла вокруг катушки, по которому течёт ток // Материалы республ. научно-практической конф. «Современные проблемы естественных наук». Филиал МГУ имени М.В. Ломоносова в городе Душанбе. 2017. – С. 92-96.
3. Рахмонов Р.К., Ахмеджанова К.М., Зоирова З.О. Определение векторов напряженности и индукции магнитного поля Земли в г. Душанбе // Материалы научно-практ. конференции «VIII Ломоносовские чтения». Филиал МГУ имени М.В. Ломоносова в г. Душанбе. 2018. – С. 28-29.
4. Рахмонов Р.К., Зоирова З.О., Ахмеджанова К.М. Изучение контура магнитного поля посредством датчика Холла вокруг катушки, по которому течет ток // Вестник филиала Московского государственного университета имени М.В. Ломоносова в городе Душанбе. 2017. – №3. – С. 75-83.
5. Рахмонов Р.К. Методические разработки к лабораторным работам по физике//– Душанбе: ЭР-граф. 2-е издание, 2024. – 432 с.
6. Рахмонов Р.К. Методические разработки к лабораторным работам по физике электромагнетизма и оптике // – Душанбе. Изд.: Типография филиала МГУ имени М.В. Ломоносова в городе Душанбе, 2024. – 308 с.
7. Сивухин Д. В. Общий курс физики// Изд. 4-е, стереотипное. — М.: Физматлит; Изд.: МФТИ, 2004. – Т. III. Электричество. – 656 с. – ISBN 5-9221-0227-3; ISBN 5-89155-086-5.
8. Трофимова Т.И. Курс физики // – М.Изд.: Высшая школа, 2007. – 560 с.

## ФЛОТАЦИОННЫЙ МЕТОД ОБОГАЩЕНИЯ РУДЫ МЕСТОРОЖДЕНИЯ «ПАХНДАРА»

**Рузиматова Д.З., Холов Х.И., Самихзода Ш.Р.**  
*Институт химии имени В.И. Никитина  
Национальной академии наук Таджикистана  
(г. Душанбе, Республика Таджикистан)*

**Аннотация.** Статья посвящена флотационному методу обогащения руды месторождения "Пахндара". В ней рассматривается эффективность данного метода, его основные принципы и преимущества. Представлены результаты флотационных опытов в открытом цикле. По результатам основной сурьмяной флотации отмечено возможность получения сурьмяной концентрат. Получен сурьмяный концентрат с содержанием 59.3 % и извлечением в него сурьмы – 67.1 %.

**Ключевые слова:** месторождения, обогащения, флотационный метод, концентрат, извлечения, золото-сурьмяных руд.

## FLOTATION METHOD OF ORE BENEFICIATION FROM THE PAKHNDARA DEPOSIT

**D.Z. Ruzimatova, H.I. Kholov, Sh.R. Samikhzoda**  
*V.I. Nikitin Institute of Chemistry  
of the National Academy of Sciences of Tajikistan  
(Dushanbe, Tajikistan)*

**Annotation.** The article is devoted to the flotation method of enrichment of ore of the Pakhndara deposit. It considers the efficiency of this method, its main principles and advantages. The results of flotation experiments in the open cycle are presented. According to the results of the main antimony flotation, the possibility of obtaining antimony concentrate was noted. Antimony concentrate with a content of 59.3% and antimony extraction in it - 67.1% was obtained.

**Keywords:** deposits, enrichment, flotation method, concentrate, extraction, gold-antimony ores.

Многие сурьмяно-ртутные месторождения богаты драгоценными металлами. Одним из таких месторождений является Пахндаринское сурьмяно-золоторудное месторождение.

Золото и сурьма, благодаря ряду ценных свойств находят всё большее применение в промышленности. Значительный рост потребления золота и сурьмы вызывает необходимость повышения комплексности переработки руд. Комплексность и экономическая эффективность использования руд цветных металлов определяются эффективностью процесса обогащения.

При обогащении золото-сурьмянных руд большую трудность представляет извлечение окисленных минералов сурьмы. Как правило, в концентрате извлекается только та часть оксидов, которая находится в сростках с антимонитом, основная же часть оксидов теряется в хвостах. В то же время окисленные руды составляют определенную долю в общих запасах сурьмы. Требуется своего удовлетворительного решения вопрос обогащения золото-сурьмянных руд.

В Иргиредмете разработан ряд общих принципов и рекомендаций, касающихся проблемы рационального использования руд, содержащих золото и сурьму [1, с. 99]. Золото и сурьма – как металлы обладают весьма высокой абсолютной ценностью. Это обуславливает технологическую необходимость и экономическую целесообразность извлечения указанных металлов даже при относительно низких содержаниях их в исходном сырье.

Предложенные многочисленные меры устранения вредного действия сурьмы на процесс цианирования оказались малоэффективными или экономически невыгодными. Следует также иметь в виду, что присутствие сурьмы в цианистых растворах при цементации благородных металлов из раствора цинком создает опасность выделения высокотоксичного стибина, а наличие сурьмы в цементном осадке затрудняет его аффинажную плавку [2, с. 190; 3, с. 23].

В настоящее время отсутствует единая классификация сурьмяных руд по технологическим свойствам. На основании практики работы отечественных и зарубежных предприятий представляется целесообразным условно разделить сурьмяные руды по вещественному составу на монометаллические и комплексные. Из последних можно выделить: сурьмяно-ртутные, сурьмяно-ртутно-флюоритовые, сурьмяно-вольфрамитовые, сурьмяно-шеелитовые, сурьмяно-золотые, сурьмяно-никелевые, свинцово-цинковые с плюмбо-антимонидами и арсено-антимонидами, медно-цинковые с блеклыми рудами и сурьмяно-мышьяковыми минералами.

Исследования, проведенные в [4] показывают, что в монометаллических рудах могут присутствовать в небольших количествах золото, серебро, медь, свинец, цинк и почти всегда мышьяк. В сурьмяно-ртутных и сурьмяно-ртутно-флюоритовых рудах содержание ртути, как правило, невысокое, хотя в некоторых случаях ценность ртути в таких рудах может превышать ценность сурьмы. Комплексные сурьмяно-золотые руды иногда содержат значительное количество меди, свинца, серебра.

Выбор метода обогащения сурьмяно-ртутных руд зависит не только от размера вкрапленности, но и от содержания сурьмы и ртути в руде. Богатые руды предпочтительнее перерабатывать по комбинированным или гравитационным схемам, а бедные руды – методом флотации.

Окисленные сурьмяные руды, содержащие более 60% сурьмы в виде окисленных минералов, флотационными методами обогащаются неудовлетворительно. Такие руды могут перерабатываться более эффективно с применением гравитационных методов. Обогащенный продукт – тяжёлая фракция в зависимости от содержания в нём сурьмы – направляется на металлургическую переработку для получения металла или сурьмяных возгонов.

Для подготовки пробы к исследованию руда была подвергнута дроблению, грохочению и измельчению. После измельчения руды из него была отобрана средняя проба для проведения спектрального и количественного анализов. Проведённые анализы в пробе показали содержание Pb 4 - 7 %, Au – 1.2 г/т.

Для выполнения задачи, которая была поставлена перед нами, необходимо разработать технологический режим флотации для руды Пахндаринского

месторождения. Для проведения исследований предварительно были проведены опыты по измельчаемости руды, результаты которых приведены на рис. 1.

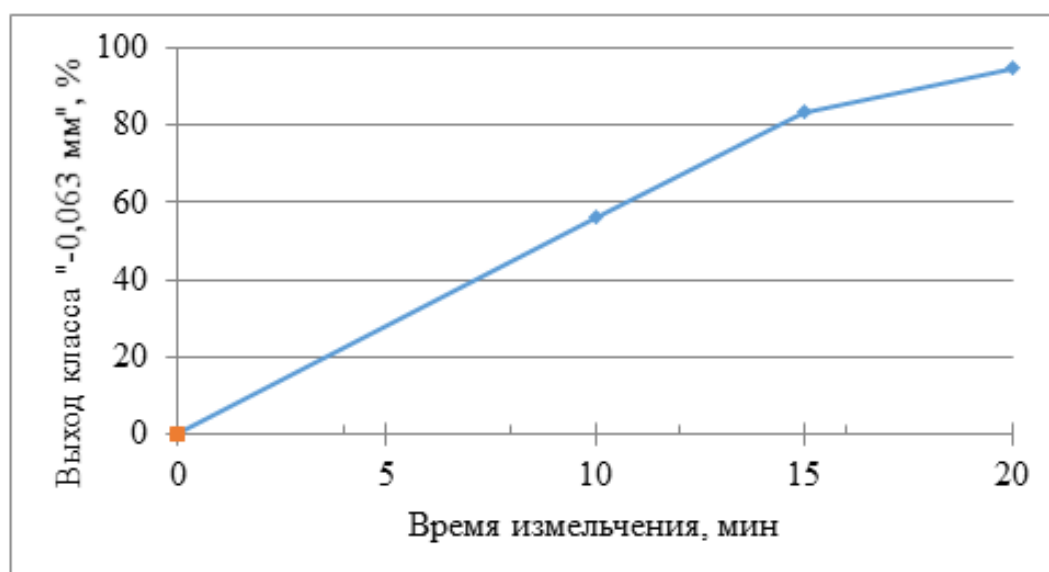


**Рисунок 1.** Зависимость степени измельчения руды от времени измельчения

Для дальнейших исследований необходимо было установить необходимую тонину помола руды. Для этих целей навески руд были подвергнуты измельчению при разной его продолжительности. При этом соблюдались следующие условия: навеска руды – 250 г, отношение Т:Ж:ШАР – 1:1:6. Время измельчения варьировалось от 10 до 20 минут. Для дальнейших исследований было принято время измельчения 15 минут, что соответствовало 83.47% класса «-0.063мм». Предварительные исследования по флотации проводили по схеме (рис. 2), которая включала в себя основную и контрольную флотации. Время основной и контрольной флотации было по 10 минут.

Результаты опытов по флотации руды месторождения Пахндара представлены в таблице 1. Расход азотнокислого свинца составлял 500 г/т, расход бутилового ксантогената варьировался от 150 до 300 г/т, в качестве вспенивателя использовался Т-80.

**Таблица 1.** Результат флотации сурьмяной руды месторождения Пахндара

| №  | наименование продуктов | выход |       | содержание Sb, % | извлечение, % |
|----|------------------------|-------|-------|------------------|---------------|
|    |                        | г     | %     |                  |               |
| 1. | концентрат             | 54.7  | 5.52  | 59.33            | 67.08         |
| 2. | пр.пр. переч.          | 27.2  | 2,74  | 5.80             | 3.26          |
| 3. | пр.пр. контр.          | 37.0  | 3.74  | 3.67             | 2.80          |
| 4. | хвосты                 | 872.3 | 88.00 | 1.49             | 26.86         |
| 5. | руда                   | 991.2 | 100   | 4.88             | 100           |



**Рисунок 2.** Схема проведения предварительных исследований по флотации

Таким образом, в результате проделанной работы получен сурьмяный концентрат с содержанием 59.3 % и извлечением в него сурьмы – 67.1 %. В сурьмяный концентрат золота извлекается 6 г/т, т.е., практически основная часть золота остаётся в хвостах, содержание его в них составляет 0.8 г/т.

### Литература

1. Мамадвафоев М.М., Дыщук Ю.И. Геология и оценка перспектив золотоносности месторождения Пиндар (Центральный Таджикистан)// Известия НАНТ, 2013. – №3. – С. 98-105.
2. Лодейщиков В.В., Панченко А.Ф. Основы технологии извлечения золота и сурьмы из комплексных руд// В кн. Интенсификация процессов обогащения минерального сырья. М.: Наука, 1981. – С. 189-193.
3. Холов Х.И. Исследование процесса цианидного выщелачивания золота из хвостов флотации месторождения Пахндара / Холов Х.И., Мирзозода У.С., Самихов Ш.Р. // Материалы международной научно-методической конференции: «Инновационные технологии добычи и переработки полезных ископаемых», посвященное объявлению 2022-2026 годов «Годами развития промышленности», 2020-2040 годов – «Двадцатилетием изучения и развития естественных, точных наук и математики в сфере науки и образования», г. Бустон, 19 мая 2023 г. – С. 22-23.
4. Самихов Ш.Р. Технология переработки свинцово-цинковых руд методом флотации / Самихов Ш.Р., Бадалов Дж.Н., Шамсиддинов А.И. // Доклады НАНТ. 2024. – Т. 67. – № 5-6. – С. 268-274.

## СИНТЕЗ ВА ТАҲҚИҚИ ПАЙВАСТҲОИ КООРДИНАТСИОНИИ МИС (II) БО МЕТАМИЗОЛАТИ НАТРИЙ

Холикова Л.Р.<sup>1</sup>, Бобоева Б.Т.<sup>1</sup>, Муминова С.Х.<sup>2</sup>, Мухаррамаи Зафар<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Донишгоҳи миллии Тоҷикистон

<sup>2</sup>Филиали Донишгоҳи давлатии Москва  
ба номи М.В. Ломоносов дар шаҳри Душанбе  
(ш. Душанбе, Ҷумҳурии Тоҷикистон)

**Аннотатсия.** Муаллифон дар мақола рафти пайвастагиҳои координатсионии мисро бо лигандҳои фаъоли органикиро, ки дар шакли доруворӣ мавҷуданд ва метавонанд нисбат ба комплексҳои аввалаи ибтидоӣ фаъолтар бошанд, баррасӣ мекунанд.

**Калидвожаҳо:** комплексҳо, мис, метамизолати натрий, таҳқиқотҳо, лигандҳои полидентатӣ, фаъолияти биологӣ, спи рти этанол, таҳлили элементӣ, ИК-спектрӣ, кондуктометрӣ.

## СИНТЕЗ И ИССЛЕДОВАНИЕ КООРДИНАЦИОННЫХ СОЕДИНЕНИЙ МЕДИ (II) С МЕТАМИЗОЛАТОМ НАТРИЯ

Холикова Л.Р.<sup>1</sup>, Бобоева Б.Т.<sup>1</sup>, Муминова С.Х.<sup>2</sup>, Мухаррамаи Зафар<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Таджикский национальный университет

<sup>2</sup>Филиал Московского государственного университета  
имени М.В. Ломоносова в городе Душанбе  
(г. Душанбе, Республика Таджикистан)

**Аннотация.** В данной статье рассматривается поведение координационных соединений меди с активными органическими лигандами, которые находятся в виде лекарственных перепаратов и могут быть активнее по отношению к первоначальным исходным комплексам.

**Ключевые слова:** комплексы, медь, метамизолат натрия, исследования, полидентатные лиганды, биологическая активность, этаноловый спирт, элементный анализ, ИК-спектр, кондуктометрия.

## SYNTHESIS AND STUDY OF COPPER (II) COORDINATION COMPOUNDS WITH SODIUM METHYLILATE

L.R. Kholykova<sup>1</sup>, B.T. Boboeva<sup>1</sup>, S.Kh. Muminova<sup>2</sup>, Muharramai Zafar<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Tajik National University

<sup>2</sup>Lomonosov Moscow State University in Dushanbe  
(Dushanbe, Tajikistan)

**Annotation.** The authors of this article examine the behavior of copper coordination compounds with active organic ligands, which are in the form of medicinal preparations and may be more active in relation to the original starting complexes.

**Keywords:** complexes, copper, sodium metamilate, research, polydentate ligands, biological activity, ethanol alcohol, elemental analysis, IR spectrum, conductometry.

Бо шарофати имконияти истифодабарии як қатор синфҳои нави лигандҳои органикӣ ва ғайриорганикӣ барои гузаронидани таҳқиқоти мақсадноки омӯзиши

комплексҳосилкунии металлҳои гуногун соҳаи химияи координатсионӣ бошиддат инкишоф ёфт.

Дар байни лигандҳои органикӣ, ки қобилияти ба реаксия дохилшавӣ бо металлҳоро доранд, пайваستҳои азолӣ нақши махсусро доранд, ки аз ҷумла ба онҳо метамизолати натрий ва ҳосилаҳои он дохил мешаванд.

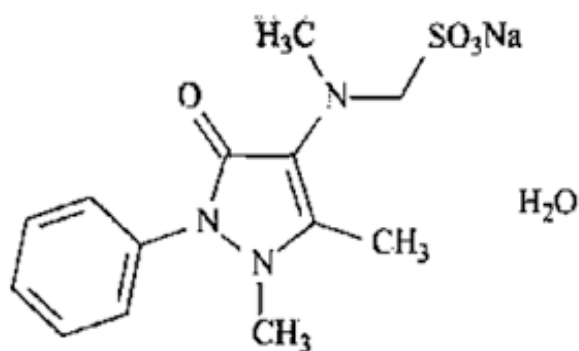
Мис, ҳамчун биометал дар як киллограми вазни бадан аз 1.4 то 2.1 мг мавҷуд аст. Мис дар рӯдаи борик ҷаббида шуда, сипас якҷоя бо альбумин ба ҷигар интиқол меёбанд. Мис хусусан пайвастҳои комплексиеро ҳосил мекунад, ки онҳо бо лигандҳои органикӣ дар таркибашон атомҳои N, S ва P – дошта, мавриди бештари омӯзиш қарор гирифтаанд.

Лиганди мазкур, яке аз пурқувваттарин аналгетикҳои ғайриопиоидӣ мебошад, ки ҳам дар тибби инсонӣ ва ҳам дар тибби байторӣ истифода мешаванд. Метамизол як доруест, ки пас аз ба даҳон ворид кардан ба худ аз худ таҷзия шуда, ба пайвастҳои ҳаммонанди пиразолон мубаддал мешавад. Илова бар таъсири бедардкунанда, он дорои таъсири зиддиилтиҳобӣ мебошад. Ногуфта намонанд, ки дар аксар кишварҳо бо сабаби хатари агранулоцитоз истифода намудани ин маводро қатъ кардаанд. Ҳол он, ки ҳосилаҳои он дар тиб, саноат, хоҷагии қишлоқ ва соҳаи суратгирӣ васеъ истифода мешаванд [2].

Дар байни онҳо пайвастҳое ёфт шудаанд, ки хосияти гербитсидӣ ва хосияти антикорозионӣ доранд. Барои химияи координатсионӣ ин синфи пайвастҳо аҳамияти махсус дорад, зеро ин пайвастҳои органикӣ дар гетероҳалқаашон атомҳои донорӣ доранд.

Дар адабиёт миқдори муайяни маълумот, ки ба комплексҳосилкунии мис бо ҳосилаҳои он тааллуқ доранд, оварда шудаанд, аммо бевосита бо метамизолати натрий маълумоти хеле ночизро пайдо намудем.

Шакли структурии лиганди интиҳобнамудаамон чунин мебошад, ки дар намуди Ҳаб (таблеткаҳо) (расми 1.) мавриди истифода қарор дорад:



Расми 1. Сохти структурии лиганди полидентатӣ.

Дар натиҷаи таҳқиқоти пайвастҳои нави комплекси Cu(II) бо лигандҳои полидентатӣ ду комплекс ҳосил карда шуд. Барои омӯзиши хосиятҳои фаъолияти биологӣ ин комплексҳо таҷрибаҳоро дар зироатҳои полезӣ гузаронида истодаем.

Аз намаки кристаллогидрати  $\text{CuCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ , ки ранги сабз дорад ва  $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$  (рангаш кабуд аст) истифода намудем. Як миқдори ин намакҳоро

дар тарозуи аналитикӣ пас аз ҳисобкуниҳо баркаш намуда, онро дар 10-15 мл спирти этанол (70%) ҳал намудем [1, 3].

Барои пешгирии раванди гидролиз ба маҳлули ин нмакҳо як ду қатрагӣ кислотаҳои мувофиқро илова намудем.

Омехтаро дар омехтакунаки магнитӣ то пурра ҳалшавии намаки намакҳои мис нигоҳ доштем. Пас аз он 0,5 г метамизолро, ки рангаш зардчаи кристаллӣ мебошад, баркаш намуда, ба болояш 5-10 мл спирти этанол илова намудем. Маҳлули лигандро ба болои маҳлули  $\text{CuCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$  илова намуда дар давоми 1,5-2 соат омехта ва то ба охир расидани раванд нигоҳ доштем. Моддаҳои ҳосилкардамонро дар муддати 3-4 шабонарӯз дар эксикаторе ки бо NaOH пур карда шудааст хушконидем.

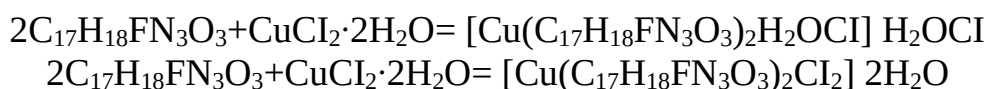
Дар натиҷа ранги маҳлуламон сурхи равшанмонанд ҳосил шуд. Формулаи химиявии моддаи ҳосилнамудамонро, пас из гузаронидани таҳлили элементӣ, ИК-спектрӣ ва кондуктометрӣ, дар чунин шакл пешниҳод намудем:  $[\text{Cu}(\text{C}_{13}\text{H}_{16}\text{N}_3\text{NaO}_4\text{S})_2(\text{H}_2\text{O})_2]\text{Cl}_2$ .

Натиҷаи таҳқиқоти таҳлили элементии химиявии моддаҳои синтезшуда, дар ҷадвали 1 гирд оварда шудаанд.

**Ҷадвали 1.** Таҳлили элементи-химиявии комплексҳои мис (II)

| комплексҳо                                                                                                             | ёфта шуд,<br>% |      |                  | муайян карда шуд, % |      |                  |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------|------|------------------|---------------------|------|------------------|
|                                                                                                                        | Cu             | Cl   | H <sub>2</sub> O | Cu                  | Cl   | H <sub>2</sub> O |
| $[\text{Cu}(\text{C}_{13}\text{H}_{16}\text{N}_3\text{NaO}_4\text{S})_2\text{H}_2\text{OCl}]\cdot\text{H}_2\text{OCl}$ | 8.2            | 8.8  | 5.0              | 7.7                 | 8.5  | 4.3              |
| $[\text{CuC}_{13}\text{H}_{16}\text{N}_3\text{NaO}_4\text{SCI}_2]\cdot 2\text{H}_2\text{O}$                            | 13.4           | 14.7 | 7.6              | 12.7                | 14.1 | 7.1              |

Дар асоси таҳлили элементӣ - химиявии гузаронидашуда, реаксияи ҳосилшавии комплексҳои мисро бо метамизолати натрий бо тарзи зерин навиштан мумкин аст:



Барои гузаронидани таҳлили таркибии элементӣ ва омӯзиши хосиятҳои физикию – химиявии моддаҳои синтезшуда, ҳалшавандагии онҳоро дар як қатор ҳалкунандаҳои органикӣ ва ғайриорганикӣ омӯхтем [3,4].

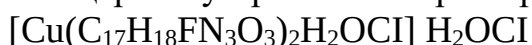
Натиҷаи тадқиқотҳои гузаронидашуда нишон дод, ки комплексҳо дар ДМСО ва кислотаҳои минералӣ ҳал шуда дар толуол, бензол, спирт ва ДМФА камҳалшаванда мебошанд.

Барои муайян намудани таркиб ва сохти пайваستҳои комплекси ҳосилшуда таҳлили ИК– спектрӣ гузаронида шуд. Спектрҳои пайвастҳои ҳосилкардамон нишон медиҳанд, ки хатҳои фурубарии метамизолати натрий бо хатҳои спектралӣ, ки дар комплексҳои Cu(II) ҳосил мешаванд, ба ҳамдигар шабохат доранд. Дар ИК – спектрҳои комплексҳои  $[\text{Cu}(\text{C}_{17}\text{H}_{18}\text{FN}_3\text{O}_3)_2\text{H}_2\text{OCl}] \text{H}_2\text{OCl}$  як қатор хатҳои спектрие ба назар мерасанд, ки таркиби комплексро муайян

мекунад. Дар ҳудудҳои  $3500 - 3600\text{см}^{-1}$  лаппиши валентии гурӯҳҳои  $\text{OH}^-$  –и молекулаи об ба қайд гирифта мешавад.

Муқоисаи ИК–спектрҳои моддаҳои синтез кардашуда ва лиганд нишон медиҳад, ки дар байни онҳо фарқият вучуд дорад. Ин далели он аст, ки пайвасти комплекси  $\text{Cu (II)}$  бо лиганди номбурда, тавассути гурӯҳҳои функционалии амидӣ ( $\text{NH}$ ) ва вобаста ба шароити гузаштани реаксия аз ҳисоби атоми оксигени беруни ҳалқа пайваст шуда метавонад. Мавҷудияти оби кристаллизатсионӣ ва координатсиониро аз рӯи пайдошавии хатҳои васеи спектри дар ҳудудҳои  $610\text{--}620$ ,  $1620$ ,  $3356\text{--}3390\text{ см}^{-1}$  низ муайян намудем.

Чараёнгузаронии молярӣ барои пайваستҳои комплексӣ бо усули кондуктометрӣ чен карда шуд. Бо ин мақсади омӯзиши раванди чараёнгузаронии комплексҳои ҳосилшударо дар ҳалқунандаҳои органикӣ омӯхтем. Натиҷаи таҳлил нишон дод, ки қимати чараёнгузаронии молярӣ барои комплекси



дар ҳудуди  $68\text{ Ом}^{-1}\text{ см}^{-1}$  то  $87\text{ Ом}^{-1}\text{ см}^{-1}$  меҳобанд, яъне комплекси мо ба электролити навъи 1: 1 мувофиқ аст.

Натиҷаи чараёнгузаронии молярӣ нишон медиҳад, ки ҳангоми таъсири байни ҳамдигарии  $\text{CuCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$  бо лиганди мазкур, вобаста ба нисбати моддаҳои ба реаксия дохилшаванда ва шароитҳои гузаронидани реаксия электролитҳои навъи 1:1 ва навъи 1:2 ҳосил мешаванд.

### Адабиёт

1. Холикова Л.Р., Хакимов А. Медь и его биологические свойства [Текст]: //Материалы научно-теорет. конф. проф.- препод. состава и сотрудников ТНУ посвящ. 20-ой годовщине Государственной Независимости Респ. Тадж. Душанбе, 2011. – С. 56.
2. Активные вещества [Электронный ресурс] – URL: <https://www.vidal.ru/drugs/molecule/667>. Метамизол натрия (metamizole sodium). (Дата обращения 30.07.2020).
3. Бобоева Б.Т., Холикова Л.Р., Курбонова М.З., Муродов Д.С. Исследования координационных соединения цинка(II) с 1,5 – дифенил-пентадиен–2,4-1-оном [Текст]: // Вестник педагогического университета (Изд. Тадж. госуд. педагог. универ. им. С. Айни). Серия естественных наук. 2021. – № 1(10-11). – С. 298-303.
4. Бобоева Б.Т., Холикова Л.Р., Курбонова М.З., Муродов Д.С. Синтез и исследование коорд. соедин. цинка(II) с 1,5дифенил -пентадиен – 2,4-1-оном. [Текст]: // Вестник ТНУ. Серия естественных наук. 2020. – №4. – С. 232-241.

## СИНТЕЗ 2-ГЕТЕРИЛПРОИЗВОДНЫХ 5-БРОМ-6-МЕТИЛИМИДАЗО [2,1-В][1,3,4]-ТИАДИАЗОЛА

Ходжибоев Ю.<sup>1</sup>, Шарипова К.С.<sup>2</sup>, Рахмонов О.Р.<sup>1</sup>

<sup>1</sup>*Институт химии имени В.И. Никитина  
Национальной академии наук Таджикистана*

<sup>2</sup>*Таджикский государственный медицинский  
университет имени Абуали ибни Сино  
(г. Душанбе, Республика Таджикистан)*

**Аннотация.** Изучены реакции нуклеофильного замещения 2,5-дибром-6-метилимидазо[2,1-*b*][1,3,4]-тиадиазола с гетероциклическими аминами. Показано, что атом брома, находящийся в пятом положении не замещается и облегчает реакции нуклеофильного замещения атома брома, находящегося во втором положении цикла. На основе параметров ИК-, ЯМР-спектроскопии и элементного анализа определена структура и состав гетериламинопроизводных 5-бром-6-метилимидазо[2,1-*b*][1,3,4]-тиадиазола.

**Ключевые слова:** синтез, нуклеофильное замещение, 2,5-дибром-6-метилимидазо[2,1-*b*][1,3,4]-тиадиазол, валентные колебания, химический сдвиг.

## SYNTHESIS OF 2-HETERYL DERIVATIVES OF 5-BROMO-6-METHYLIMIDAZO [2,1-B][1,3,4]-THIADIAZOLE

Yu. Khodzhiboev<sup>1</sup>, K.S. Sharipova<sup>2</sup>, R.O. Rakhmonov<sup>1</sup>

<sup>1</sup>*V.I. Nikitin Chemistry Institute  
of the National Academy of Sciences of Tajikistan*

<sup>2</sup>*Avicenna Tajik State Medical University  
(Dushanbe, Tajikistan)*

**Annotation.** The nucleophilic substitution reactions of 2,5-dibromo-6-methylimidazo[2,1-*b*][1,3,4]-thiadiazole with heterocyclic amines were studied. It was shown that the bromine atom in the fifth position is not substituted and facilitates the nucleophilic substitution reactions of the bromine atom in the second position of the cycle. Based on the parameters of IR, NMR spectroscopy and elemental analysis, the structure and composition of heteroamino derivatives of this heterocycle were determined.

**Keywords:** synthesis, nucleophilic substitution, 2,5-dibromo-6-methylimidazo[2,1-*b*][1,3,4]-thiadiazole, stretching vibrations, chemical shift.

За последние годы интерес к синтезу 2-гетерилпроизводных имидазо [2,1-*b*][1,3,4]-тиадиазолов возрос в связи с тем, что гетероциклические соединения обладают высокой реакционной способностью и вступают в различные химические превращения. Кроме того, не менее важным фактором является то, что введение третьего гетероцикла через аминные связи должно сильно отражаться на физиологической активности соединений [1-4].

Ранее сообщено о синтезе и антибактериальной активности 2-аминопроизводных 6-метилимидазо[2,1-*b*][1,3,4]-тиадиазола с алкиламинами [5]. Показано, что реакция замещения атома брома соединения 2,5-дибром-6-

метилимидазо[2,1-*b*][1,3,4]-тиадиазола на аминокгруппы хорошо идёт в протонном растворителе.

В настоящей работе предложено исследование реакции нуклеофильного замещения брома 2,5-дибром-6-метилимидазо[2,1-*b*][1,3,4]-тиадиазола с различным гетероаминосодержащими нуклеофилами. До настоящего времени отсутствовали данные о синтезе 2-гетериламин-5-бром-6-метилимидазо[2,1-*b*][1,3,4]-тиадиазолов. Сведения о синтезе этих аминов в литературе отсутствуют. Единичные примеры обобщены в источниках [6, 7], известен лишь синтез 2-аминопроизводных 6-(пара-*X*-фенил)имидазо[2,1-*b*][1,3,4]-тиадиазола.

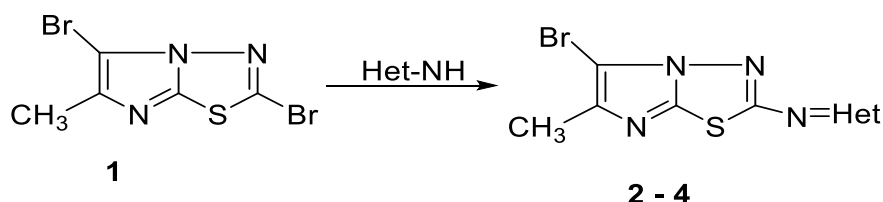
По данным авторов работ [8, 9], при введении атома галогена в положение 6 тиадиазолопиримидинов, повышается биологическая активность соединений, в частности противоопухолевая активность.

Аналогичный подход также используется для исследования возможности синтеза 2-*N*-замещенных 6-метилимидазо[2,1-*b*][1,3,4]-тиадиазола, содержащих в пятом положении бицикла атом брома исходя из 2,5-дибром-6-метилимидазо[2,1-*b*][1,3,4]-тиадиазола и различных аминов

Исходя из этого, с целью расширения синтетического арсенала в области азотосодержащих гетеробициклических соединений, особенно в ряду имидазотиадиазолов и поиска новых эффективных биологически активных соединений впервые разработаны удобные методы синтеза 2-гетерилпроизводных 5-бром-6-метилимидазо[2,1-*b*][1,3,4]-тиадиазола, исходя из 2,5-дибром-6-метилимидазо[2,1-*b*][1,3,4]-тиадиазола и аминов гетероциклических соединений при соотношении 2:1 в водно-спиртовом растворе.

Реакцию соединения **1** с гетероциклическими аминам проводили в спиртовой среде при температуре кипения растворителя в течение 1-3 часов. После охлаждения реакционной смеси продукт реакции выделяется путём выпаривания растворителя и трёхкратного промывания водой для освобождения от гидробромида аминов.

### Схема 1



Het =  $(-\text{CH}_2-)_5$  (**2**);  $(-\text{CH}_2-\text{CH}_2-)_2\text{O}$  (**3**);  $(-\text{CH}_2-)_4\text{NH}$  (**4**).

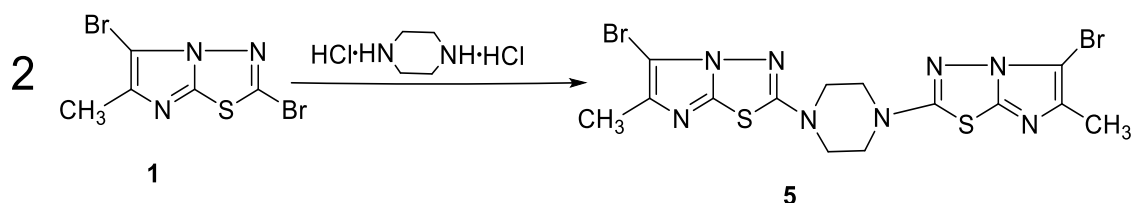
Полученные таким образом 2-*N*-замещенные 5-бром-6-метилимидазо[2,1-*b*][1,3,4]-тиадиазола **2-4** представляют собой белые кристаллические вещества, хорошо растворимые во многих органических растворителях. Все синтезированные соединения **2-4** хорошо перекристаллизовываются из водного раствора диоксана.

Следующей задачей было изучение влияния растворителя на протекание реакции замещения атома брома в соединении **1** на различные амины. Установлено, что реакции замещения брома в соединении **1** на различные амины, протекают гладко в протонном растворителе по сравнению с апротонным. Неактивность брома в пятом положении, по сравнению со вторым в наших условиях реакции замещения объясняется тем, что метильная группа, которая находится в шестом положении, как ориентант первого рода, давая электронную плотность в цикле и этим частично погашая электрофильные свойства углерода, находящегося в пятом положении. Во-вторых, предполагается, что электронное облако неподеленной пары электронов атома азота, находящегося в положении 4 цикла, смещено в сторону углерода в пятом положении. Отсюда электрофильность углерода в пятом положении намного понижена по сравнению с атомом углерода во втором положении и соответственно реакция замещения атома брома на амины происходит во втором положении цикла, а не в пятом.

В результате проведенных исследований выявлено, что атом брома, находящийся в положении 5 облегчает реакции нуклеофильного замещения атома брома, находящегося во втором положении на различные амины по сравнению с реакцией замещения брома 2-бром-6-метилимидазо[2,1-*b*][1,3,4]-тиадиазола [5]. Полностью замещение брома в положении 2 соединения **1** происходит в течение 1-3 часов, а в случае 2-бром-6-метилимидазо[2,1-*b*][1,3,4]-тиадиазола в течение 2.5 - 5 часов.

Изучена реакция нуклеофильного замещения атома брома соединения **1** с пиперазином в водно-спиртовой среде в присутствии  $\text{KHSO}_3$  при мольном соотношении 2:1:2 при температуре кипения растворителя. В результате реакции получен бис-(5-бром-6-метилимидазо[2,1-*b*][1,3,4]-тиадиазол-2-ил)пиперазин (**5**).

### Схема 2



Состав и структура полученных соединений **2-4** подтверждена ИК-,  $^1\text{H}$  ЯМР-спектроскопией, элементным анализом и встречным синтезом.

### ИК-спектр поглощения

В литературе редко приводятся данные сравнительного анализа свойств изомерных систем, которые могут быть использованы в структурных исследованиях на других объектах. Поэтому важно указать на принципиальные различия структур 2-бром- и 2,5-дибром-6-метилимидазо[2,1-*b*][1,3,4]-тиадиазола, о котором ранее сообщено в работе [5]. В ИК-спектрах соединений **2-4** характерные полосы поглощения  $\text{C}=\text{N}$  и  $\text{C}=\text{C}$  фрагментов гетероцикла,

которые проявляются в области 1640 - 1530  $\text{см}^{-1}$ , характерные полосы поглощения в области 730 - 779  $\text{см}^{-1}$ , соответствующие C-Br фрагменту, а также валентные колебания NH-группы в области 3290 - 3400  $\text{см}^{-1}$ .

Кроме того, константы продукта, полученного в результате взаимодействия 2,5-дибром-6-метилимидазо[2,1-b][1,3,4]-тиадиазола с аминами **2-4**, полностью совпали с константами продукта встречного синтеза, полученного путем взаимодействия молекулярного брома с 2-N-производных-6-метилимидазо[2,1-b][1,3,4]-тиадиазолом в среде ледяной уксусной кислоты при комнатной температуре.

Особенностями ИК-спектров соединений **2-4** являются отсутствие валентных колебаний C(2)-Br и легко идентифицировать валентные колебания связи гетериламинами в структуре данных соединений, что связано по нашему мнению со значительной поляризацией C(5)-Br и C(6)-CH<sub>3</sub> имидазольного фрагмента в соединениях **2-4**.

#### **<sup>1</sup>H ЯМР-спектр**

При <sup>1</sup>H-ЯМР-спектроскопии соединения **2** сигналы протонов метильной и пиперидинной групп в CDCl<sub>3</sub> были обнаружены в областях  $\delta = 2.23$  (3H, c, CH<sub>3</sub>) и 3.44 (4H, d, 2CH<sub>2</sub>), 1.65 м. д. (6H, c, 3CH<sub>2</sub>) (o-H<sub>(m)</sub>).

В спектре <sup>1</sup>H-ЯМР 2-морфолин-5-бром-6-метилимидазо[2,1-b][1,3,4]тиадиазола (**3**) сигналы протонов морфолиновой группы в CDCl<sub>3</sub> были обнаружены при  $\delta = 3.72$  (2H, t, CH<sub>2</sub>O); 3.45 (2H, t, CH<sub>2</sub>N), а для метильной группы были обнаружены при  $\delta = 2.25$  м.д. (3H, c, CH<sub>3</sub>).

В спектре <sup>1</sup>H-ЯМР 2-пиперазин-5-бром-6-метилимидазо[2,1-b][1,3,4]тиадиазола (**4**) сигналы протонов пиперазиновой группы в CDCl<sub>3</sub> были обнаружены при  $\delta = 3.50$  (4H, t, 2CH<sub>2</sub>N), 3.46 (4CH<sub>2</sub>, m, 2CH<sub>2</sub>N), 4.78 м.д. (H, NH), а для метильной группы были обнаружены  $\delta = \text{CH}_3 = 2.23$  м.д. (3H, c, CH<sub>3</sub>).

В спектре <sup>1</sup>H-ЯМР соединения **5** были обнаружены сигналы для метильной и пиперазиновых групп в области:  $\delta(\text{CDCl}_3) = 2.24$  (3H, c, CH<sub>3</sub>) и 3.65 м. д. (4H, t, 2CH<sub>2</sub>N).

Эти результаты показывают, что при данных условиях реакции бром, находящийся в пятом положении не замещается и в реакцию замещения вступает атом брома, находящийся во втором положении цикла.

Таким образом, разработаны новые способы получения 2-HetN-замещенных 5-бром-6-метилимидазо[2,1-b][1,3,4]-тиадиазола.

#### **Выводы**

Проведены реакции нуклеофильного замещения 2,5-дибром-6-метилимидазо[2,1-b][1,3,4]тиадиазола с гетериламинами. В результате получены 2-HetN-5-бром-6-метилимидазо[2,1-b][1,3,4]-тиадиазола и изучены их спектральных характеристик.

Изучено влияние растворителя и структуры соединения на течение реакции. Данные проведенных спектральных исследований позволяют установить зависимости валентных колебаний и химических сдвигов от их химического строения.

## Литература

1. Anni A.S. Synthesis of some fused heterocycloimidaquinoline – diones and their biological activity. J. Indian Chem. Soc. 1991. – V.68. – N.9. – Pp. 529-531.
2. Marin A., Valls N., Javier B. [et al.]. Aromatic systems with 10 electrons derived from 3a-azapentalene. XLIII. Synthesis and anthilgelmatic activity of carbamates derived from imidazo[2,1-b][1,3,4]thiadiazole and imidazo[2,1-b]thiazole. Fac. Farm, Univ.Barcelona. - Barcelona, Spain, Farmaco. 1992. – V.47(1). – P. 63-75.
3. Mulla J.S., Khan A.Y., Panchamukhi S.I. [et al.]. Synthesis and Antitubercular Activity of Mannich bases of imidazo[2,1-b][1,3,4]thiadiazoles. Indian Journal of Novel Drug delivery. -2011. -V.3(4). – P. 289-295.
4. Gireesh T., Ravindra R. Kamble, Tasneem Taj [et al.]. Synthesis of novel imidazo[2,1-b][1,3,4]thiadiazoles appended to sydnone as anticancer agents. J. Medicinal Chemistry Research. 2013. – V. 22. -Issue 9. – P. 4367-4375.
5. Ходжибаев Ю., Шарипова К.А., Рахмонов Р.О. Синтез и структура 2-бromo-5,6-замещенных имидазо[2,1-b]-[1,3,4]-тиадиазолов // Матер. Междун. Научно-практич. Конфер. XIV Ломоносовские чтения «Роль филиала Московского государственного университета имени М.В. Ломоносова в городе Душанбе в развитии науки и образования» (22-23 ноября 2024 г.). Часть II. Естественные науки. 2024. – С. 287-295.
6. Рахмонов Р.О., Розиков У.А., Шарипов Ш.С., Одилзода М.М., Акбарова М.М. Синтез и исследования в ряду имидазо[2,1-b][1,3,4]тиадиазола // Colloquium-journal. Część 1, (Warszawa, Polska). – 2018. – №5 (16). – С. 55-61.
7. Ходжибоев Ю., Рахмонов Р.О., Зоидова М.Т., Куканиев М.А., Франческо Де Анджелис. Синтез и ацилирование 2-бутиламин-6-п-бромфенилимидазо-[2,1-b]-1,3,4-тиадиазола // Известия АН РТ. 2013. – №3. (152). – С. 59-63.
8. Рахмонов Р.О., Ходжибаев Ю., Мухидинов З.К., Акбарова М.М., Раджабалиева М.А. 2,5,6-Трехзамещенных имидазо-[2,1-b][1,3,4]тиадиазола: синтез и структура // Межд. научно-исслед. журнал Евразийский союз учёных (ЕСУ). – 2018. – №4 (49). – Ч. 3. – С. 69-72.
9. Santagati A., Santagati M., Russo F., Ronsisvall G. Condensed heterocycles containing the pyrimidine nucleus//J. Heterocyclic Chem., 1988, vol. 3.P. 949-953.

## ЗОЛЬ-ГЕЛЬ СИНТЕЗ НАНОЧАСТИЦ $\text{TiO}_2$ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ РАЗЛИЧНЫХ РАСТВОРИТЕЛЕЙ

Шарипов Х.Б., Ботуров К., Валиев Д.  
Физико-технический институт имени С.У. Умарова  
Национальной академии наук Таджикистана  
(г. Душанбе, Республика Таджикистан)

**Аннотация.** В данной работе был осуществлен золь-гель синтез наночастиц диоксида титана с использованием различных органических растворителей. Фазовый состав, структура, морфология и химический состав полученных образцов были охарактеризованы методами рентгенофазового анализа (РФА), сканирующей электронной микроскопии (СЭМ) и рентгеноспектрального микроанализа (РСМА). Результаты показали, что при использовании *n*-бутанола и 1-пентанола в данных условиях синтеза образуется полиморфная модификация брукита с размером области когерентного рассеяния (ОКР) 18 нм.

**Ключевые слова:** наночастицы диоксида титана, золь-гель метод, анатаз, рутил, брукит, стабилизаторы.

## SOL-GEL SYNTHESIS OF $\text{TiO}_2$ NANOPARTICLES USING VARIOUS SOLVENTS

Kh.B. Sharipov, Q. Boturov, J. Valiev  
S.U. Umarov Physical-Technical Institute  
of the National Academy of Sciences of Tajikistan  
(Dushanbe, Tajikistan)

**Annotation.** In this work, sol-gel synthesis of titanium dioxide nanoparticles was carried out using various organic solvents. The phase composition, structure, morphology and chemical composition of the obtained samples were characterized by X-ray phase analysis (XRD), scanning electron microscopy (SEM) and X-ray spectral microanalysis (XMS). The results showed that when using *n*-butanol and 1-pentanol under these synthesis conditions, a polymorphic modification of brookite with a coherent scattering region (CSR) size of 18 nm is formed.

**Keywords:** titanium dioxide nanoparticles, sol-gel method, anatase, rutile, brookite, stabilizers.

### Введение

Получение диоксида титана ( $\text{TiO}_2$ ) чаще всего осуществляется золь-гель методом, использующим в качестве исходных веществ гидролизуемые соединения титана (алкоксиды и хлориды) [1-3]. Процесс включает несколько этапов, ключевым из которых является гидролиз, определяющий образование и размер первичных частиц  $\text{TiO}_2$ . Взаимодействие с водой в ходе гидролитической поликонденсации приводит к формированию устойчивых золей, основу которых составляют гидроксильные группы [4, 5]. При недостатке воды и избытке исходных соединений образуются цепочки  $\text{Ti-O-Ti}$ , разрушающиеся при увеличении скорости гидролиза [6, 7].

Рост частиц в золе диоксида титана, как показано в исследовании [8], обусловлен слабой структурированностью каркаса  $\text{Ti-O-Ti}$  и значительным количеством гидроксильных групп на поверхности частиц. Этот процесс можно замедлить, используя различные стабилизаторы, такие как поверхностно-

активные вещества [10], а также органические растворители, например, этанол или изопропанол, и неорганические кислоты, такие как соляная или азотная [11-13].

Тетрахлорид титана ( $\text{TiCl}_4$ ) — один из возможных предшественников для синтеза  $\text{TiO}_2$ . Однако, его сильная кислотность ( $\text{pH} \approx 1$ ) затрудняет гидролиз, что делает его менее распространенным, чем алкоксиды титана. Несмотря на это,  $\text{TiCl}_4$  экономически выгоден, а в качестве растворителей могут использоваться вода или спирты. Учитывая решающее влияние растворителя на морфологию, состав и размер получаемых наночастиц  $\text{TiO}_2$ , в данном исследовании проведены эксперименты по синтезу нанопорошков  $\text{TiO}_2$  из  $\text{TiCl}_4$  золь-гель методом, чтобы определить зависимость этих свойств от выбора растворителя.

### Методика синтеза

Наночастицы  $\text{TiO}_2$  синтезировали из водно-спиртовых растворов  $\text{TiCl}_4$  с использованием метанола, этанола, изоамилового, бутилового и пентанола. В качестве исходных реагентов применяли  $\text{TiCl}_4$  (ГОСТ 7550-15-0, чистотой 99.9%), спирты соответствующей чистоты (см. табл. 1) и дистиллированную воду. Синтез проводили по единой методике: к 35 мл спиртового раствора (соотношение спирт: $\text{TiCl}_4 = 7:1$ ) при перемешивании добавляли 5 мл  $\text{TiCl}_4$ , затем 5 мл воды и, наконец, 10%-ный раствор аммиака ( $\text{NH}_4\text{OH}$ ) до образования геля. Полученный гель выдерживали сутки, промывали водой, центрифугировали (1500 об/мин), сушили при  $150^\circ\text{C}$  (24 ч) и подвергали термообработке при  $550^\circ\text{C}$  (2 ч). Образцы обозначены как ОТ-2.1, ОТ-2.2, ОТ-2.3, ОТ-2.4, ОТ-2.5.

**Таблица 1.** Составы водно-спиртовых растворов  $\text{TiCl}_4$

| Растворы образцов | $\text{TiCl}_4$ | $\text{H}_2\text{O}$ | $\text{CH}_3\text{OH}$ | $\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$ | $\text{C}_4\text{H}_9\text{OH}$<br>(н-бутанол) | $\text{C}_5\text{H}_{11}\text{OH}$<br>(изоамиловый) | $\text{C}_5\text{H}_{11}\text{OH}$<br>(1-пентанол) |
|-------------------|-----------------|----------------------|------------------------|---------------------------------|------------------------------------------------|-----------------------------------------------------|----------------------------------------------------|
|                   | мас*. %         |                      |                        |                                 |                                                |                                                     |                                                    |
| ОТ-2.1            | 20.94           | 12.11                | 66.95                  | 0                               | 0                                              | 0                                                   | 0                                                  |
| ОТ-2.2            | 20.60           | 11.91                | 0                      | 67.49                           | 0                                              | 0                                                   | 0                                                  |
| ОТ-2.3            | 20.63           | 11.93                | 0                      | 0                               | 67.44                                          | 0                                                   | 0                                                  |
| ОТ-2.4            | 20.56           | 11.89                | 0                      | 0                               | 0                                              | 67.55                                               | 0                                                  |
| ОТ-2.5            | 20.58           | 11.89                | 0                      | 0                               | 0                                              | 0                                                   | 67.53                                              |

\*без учёта  $\text{NH}_4\text{OH}$ .

Фазовый состав образцов определяли методом рентгенофазового анализа (РФА) на дифрактометре DRON 3 ( $\text{CuK}\alpha$ -излучение) в интервале углов  $2\theta$  от  $10^\circ$  до  $70^\circ$  со скоростью сканирования  $3^\circ/\text{мин}$ . Индексация дифрактограмм осуществлялась с использованием базы данных PDF2 (2012). Средний размер кристаллитов оценивали по формуле Шеррера, без учёта микронапряжений.

Морфология и элементный состав образцов исследовались с помощью сканирующей электронной микроскопии (СЭМ) и рентгеноспектрального микроанализа (РСМА) на микроскопе JEOL JSM-35CF, оборудованном энергодисперсионным спектрометром  $\text{Si}(\text{Li})$ , системой анализа ISISLinkOxford и анализатором Harpin W, при ускоряющем напряжении 20 кВ и токе зонда 1 нА.

## Результаты и их обсуждение

Визуально растворы  $\text{TiCl}_4$  в спиртах и воде представляли собой дисперсные системы (наблюдался эффект Тиндаля). Добавление  $\text{TiCl}_4$  к спиртам сопровождалось экзотермической реакцией с повышением температуры до  $60^\circ\text{C}$ , что указывает на начало золеобразования уже на этой стадии. Добавление 10%-ного раствора  $\text{NH}_4\text{OH}$  ко всем смесям вызывало выпадение белого осадка, который затем превращался в гель.

Анализ образцов, полученных золь-гель методом из водно-спиртовых растворов  $\text{TiCl}_4$ , показал, что  $\text{TiCl}_4$  вступает в реакцию алкоголиза со спиртами, образуя частично или полностью замещенные алкоголяты титана [14]. Как следует из работы [15], взаимодействие  $\text{TiCl}_4$  с этанолом и бутанолом приводит к образованию дихлордиэтилатов и дихлордибутилатов титана, соответственно. Таким образом, при использовании других спиртов образуются смешанные органонеорганические титансодержащие предшественники, подвергающиеся дальнейшему гидролизу. Рентгенограммы полученных образцов представлены на рисунке 1.

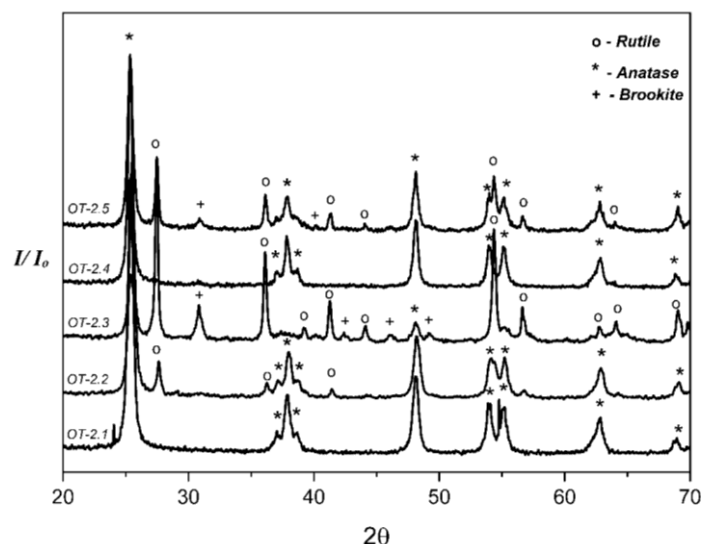


**Рис. 1.** Дифрактограмма образцов, полученных из водно-спиртовых растворов.

Анализ рентгенограмм (рис. 2) показал образование трех полиморфных модификаций  $\text{TiO}_2$ : рутила, анатаза и брукита. Анатаз присутствует во всех образцах. Высокая интенсивность и узкая ширина пиков свидетельствуют о высокой кристалличности полученных образцов  $\text{TiO}_2$ . Брукит обнаружен только в образцах ОТ-2.3 и ОТ-2.5 (н-бутанол и 1-пентанол), что противоречит данным работы [11]. Образцы ОТ-2.1 и ОТ-2.4 представляют собой однофазный анатаз, что согласуется с результатами [11], с размером кристаллитов (ОКР) около 14 нм (ОТ-2.1) и 19 нм (ОТ-2.4). Остальные образцы являются многофазными [9], а образцы ОТ-2.3 и ОТ-2.5 содержат все три модификации  $\text{TiO}_2$  (размеры кристаллитов см. табл. 2).

**Таблица 2 - Фазовый состав и ОКР образцов  $\text{TiO}_2$**

| Образцы | тип растворителя                                    | время термо-обработки | фазовый состав (РФА) | ОКР, нм             |
|---------|-----------------------------------------------------|-----------------------|----------------------|---------------------|
| ОТ-2.1  | $\text{CH}_3\text{OH}$<br>(метанол)                 | 2 ч                   | Анатаз               | $14 \pm 2$ (анатаз) |
| ОТ-2.2  | $\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$<br>(этанол)         | 2 ч                   | Анатаз               | $15 \pm 1$ (анатаз) |
|         |                                                     |                       | Рутил                | $24 \pm 1$ (рутил)  |
| ОТ-2.3  | $\text{C}_4\text{H}_9\text{OH}$<br>(н-бутанол)      | 2 ч                   | Анатаз               | $13 \pm 1$ (анатаз) |
|         |                                                     |                       | Рутил                | $28 \pm 2$ (рутил)  |
|         |                                                     |                       | Брукит               | $17 \pm 2$ (брукит) |
| ОТ-2.4  | $\text{C}_5\text{H}_{11}\text{OH}$<br>(изоамиловый) | 2 ч                   | Анатаз               | $19 \pm 1$ (анатаз) |
| ОТ-2.5  | $\text{C}_5\text{H}_{11}\text{OH}$<br>(1-пентанол)  | 2 ч                   | Анатаз               | $16 \pm 1$ (анатаз) |
|         |                                                     |                       | Рутил                | $28 \pm 1$ (рутил)  |
|         |                                                     |                       | Брукит               | $18 \pm 2$ (брукит) |

Морфология и состав поверхности нанокристаллических оксидов титана исследовались методом сканирующей электронной микроскопии (СЭМ) с рентгеноспектральным микроанализом (РСМА). Изображения СЭМ (рис. 2) показывают полидисперсный характер образцов, полученных с различными растворителями.

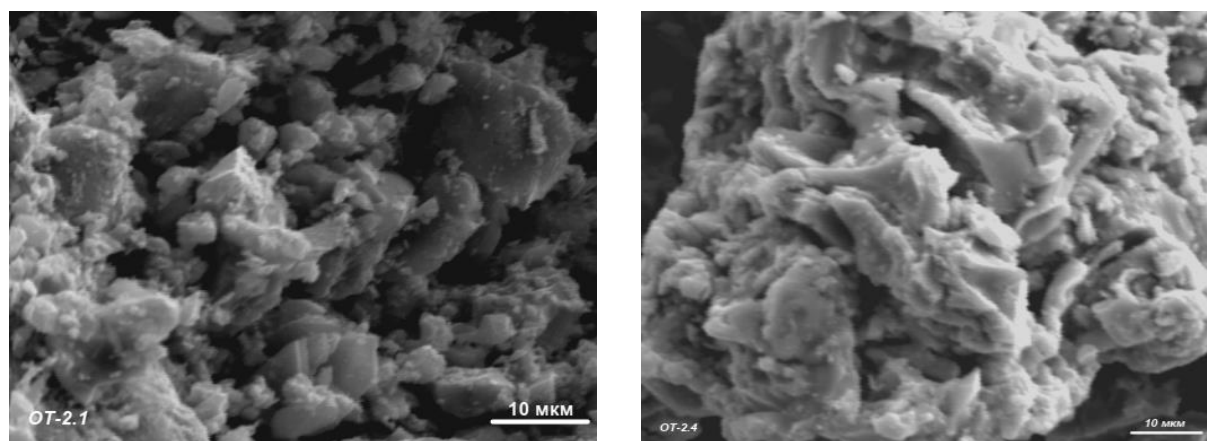


**Рис. 2.** Микрофотография частиц  $\text{TiO}_2$ , полученных в водно-спиртовой среде

Образцы ОТ-2.1, ОТ-2.3 и ОТ-2.4 имеют пористую структуру и состоят из агломерированных частиц неправильной формы. РСМА подтвердил наличие  $\text{Ti}$  и  $\text{O}_2$  во всех образцах в атомном соотношении 33.33% и 66.67%, соответственно.

Таким образом, в данной работе показана возможность получения наноразмерных частиц диоксида титана при использовании метанола с размером ОКР 14 нм в модификации анатаза. В выбранных нами условиях (в водно-спиртовой среде) образуются частицы нерегулярной формы, морфологию

которых можно задать путём тщательного подбора условий синтеза. При использовании н-бутанола и 1-пентанола возможно образование наноразмерного диоксида титана в полиморфной модификации брукита с размером ОКР 18 нм.

### Литература

1. Gerko Oskam et al. The Growth Kinetics of  $\text{TiO}_2$  Nanoparticles from Titanium (IV) Alkoxide at High Water/Titanium Ratio// *Phys. Chem. B.* 2003, vol. 107, Iss.8, p. 1734-1738.
2. Hanaor D.A.H. et al. Single- and Mixed-Phase  $\text{TiO}_2$  Powders Prepared by Excess-Hydrolysis of a Titanium Alkoxide// *Advances in Applied Ceramics.* 2012, vol.111, Iss. 3, p. 149-158.
3. Rohit S.Kh., Shriram S.S., Kalais L.W. Synthesis of  $\text{TiO}_2$ -Water Nanofluids for Its Viscosity and Dispersion Stability Study// *J. of Nano Research.* 2013, vol. 24, p. 26-33.
4. Костин А.С., Кольцова Э.М. Математическое моделирование золь-гель процесса получения наночастиц диоксида титана// *Успехи в химии и химической технологии*, 2011. – Т. 25. – №1(117). – С. 40-43.
5. Исмагилов З.Р., Цокоза Л.Т., Шикина Н.В. и др. Синтез и стабилизация наноразмерного диоксида титана// *Успехи химии.* 2009, - № 78(9). – С. 942-955.
6. Хохлов П.Е., Синицкий А.С., Третьяков Ю.Д. Кинетика дегидратации оксида титана, синтезированного золь-гель методом//*Альтернативная энергетика и экология*, 2007. – №1. – С. 48-50.
7. Angel-Sanchez K. Del., Va' zquez-Cuchillo O., Aguilar-Elguezabal A., Cruz- Lo' pez A., Herrera-Go' mez A. Photocatalytic degradation of 2,4-dichlorophenoxyacetic acid under visible light: Effect of synthesis route// *Materials Chemistry and Physics.* 2013, vol. 139, №2-3, p. 423-430.
8. Soloviev A. Ivanov D. Tufeu R. Kanaev A. Nanoparticle growth during the induction period of the sol-gel process// *J. of Materials Science Letters.* 2001, vol. 20, p. 905-906.
9. Слепнёва Л.М., Кузнецова Т.А., Горбунова В.А., Слепнёв Г.Е., Чижик С.А. Получение порошка диоксида титана методом сольволиза и оценка его дисперсности// *Вестник БНАН*, 2015. – №1. – С. 10-15.
10. Molino F., Barthes J.M., Ayrat A., Guizard C., Jullien R., Marignan J. Influence of surfactants on the structure of titanium oxide gels: Experiments and simulations// *Phys. Rev. E.* 1996, vol. 53, p. 921-925.
11. Кравцов А.А., Сысоев И.А., Блинов А.В. и др. Исследование влияния природы растворителя на структуру и фазовый состав наноразмерного диоксида титана// *Известия вузов. Северокавказский регион. Естественные науки*, 2015. – № 2. – С. 62-65.
12. Пойлов В.З., Казанцев А.Л. Формирование частиц диоксида титана при гидролизе и термогидролизе водно-спиртовых растворов тетрахлорида титана // *Известия Томск. политехн. университета*, 2018 – Т. 329. – № 6. – С. 58-65.

13. Isley S.L., Penn R.L. Relative brookite and anatase content in sol-gel-synthesized titanium dioxide nanoparticles// J. Phys Chem B. 2006, Aug 10. 110(31):15134-9. doi: 10.1021/jp061417f. PMID: 16884226.
14. Дроздов А.А., Зломанов В.П., Мазо Г.Н., Спиридонов Ф.М. Неорганическая химия: в 3 томах//Химия переходных элементов. Кн. 1./ Под редакцией Третьякова Ю.Д. – М.: Издат. центр «Академия», 2007. – Т.3. – Ч. 1. – С. 77-80.
15. Молодечкина Т.В., Глыбин В.П. // Докл. БГУИР. 2003. – Т. 1. – № 2. – С. 47-53.

УДК 669.21

## ХЛОРИДНО-БРОМИДНОЕ ВЫЩЕЛАЧИВАНИЕ УПОРНЫХ ЗОЛОСОДЕРЖАЩИХ КОНЦЕНТРАТОВ И КОНЦЕНТРАТОВ ДВОЙНОЙ УПОРНОСТИ

Шарипова Н.Х.<sup>1</sup>, Ашурова Т.Х.<sup>1</sup>, Бобоев И.Р.<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>*Филиал Московского государственного университета  
имени М.В. Ломоносова в городе Душанбе*

<sup>2</sup>*Филиал Национального исследовательского технологического  
университета «МИСИС» в городе Душанбе  
(г. Душанбе, Республика Таджикистан)*

**Аннотация.** В работе исследовано выщелачивание упорного сульфидного концентрата и концентрата двойной упорности, в которых золото преимущественно ассоциировано и в тонкодисперсной форме включено в пирите и арсенопирите. Проведены оптимизационные процессы прямого выщелачивания концентратов хлоридно-бромидным раствором как аналог раствора цианида. Установлено, что для упорного сульфидного концентрата максимальное извлечение достигается при степени окисления сульфидов порядка 97 %.

**Ключевые слова:** золото, упорные концентраты, концентраты двойной упорности, хлоридно-бромидное выщелачивание, извлечение.

## CHLORIDE-BROMIDE LEACHING OF REFRACTORY AND DOUBLE REFRACTORY CONCENTRATES

N.K. Sharipova<sup>1</sup>, T.K. Ashurova<sup>1</sup>, I.R. Boboev<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>*Lomonosov Moscow State University in Dushanbe*

<sup>2</sup>*Branch of the National Research Technological University «MISIS» in Dushanbe  
(Dushanbe, Tajikistan)*

**Annotation.** The leaching of a refractory (sulfide) concentrate and a double refractory concentrate, in which gold is predominantly associated and encapsulated in pyrite and arsenopyrite, is studied. Optimization processes of direct leaching of concentrates with chloride-bromide solution as an analogue of cyanide solution media have been carried out. It was found that for a sulfide concentrate, the maximum recovery is achieved with a degree of sulfide oxidation at 97%.

**Keywords:** gold, refractory concentrates, double refractory concentrates, chloride-bromide leaching, recovery.

Пирит и арсенопирит, как известно, являются наиболее распространенными золотосодержащими сульфидными минералами в упорных золотых рудах. Традиционно сырьё, содержащее такие минералы, подвергается методам кондиционирования, таким как окислительный обжиг, автоклавное окисление или биоокисление для вскрытия золота. Далее продукты этих методов выщелачиваются цианидом для растворения золота. Такой подход с двумя последовательными стадиями применительно к рудам ни всегда может быть экономически рентабельным. Поэтому продолжаются исследования, направленные на разработку альтернативной технологии, состоящей из одной стадии с использованием растворителей в альтернативу цианида [1-3]. Один из таких растворителей – это хлоридный раствор.

Известно, что хлор обладает сильной окислительной способностью. Однако в настоящее время он не используется для выщелачивания упорных золотосодержащих руд и концентратов. Лабораторные исследования в основном сосредоточены на применении хлора в комбинации с бромом.

Хлоридно-бромидный раствор представляет собой альтернативную среду цианиду, которая способна выщелачивать не только золотосодержащие сульфидные минералы, но и золото в едином процессе. На наш взгляд, исследования, направленные на использование хлоридного раствора для выщелачивания золота из упорных руд и концентратов, не досточны [4, 5].

В данной работе основное внимание уделяется исследованию одновременного окисления сульфида с тонкодисперсным золотом и выщелачивания золота упорных концентратов (Au – 17.2 г/т, Ag – 27.1 г/т, пирит – 54.2 %, арсенопирит 12.6 %) и концентратов двойной (сульфидных и углистых) упорности (Au – 38.7 г/т, пирит 33.1 %, арсенопирит – 12.5 %) прямым хлоридно-бромидным выщелачиванием.

Золото в исследуемых концентратах находится преимущественно в тонкодисперсной форме, включенной в арсенопирит и пирит (рис. 1).

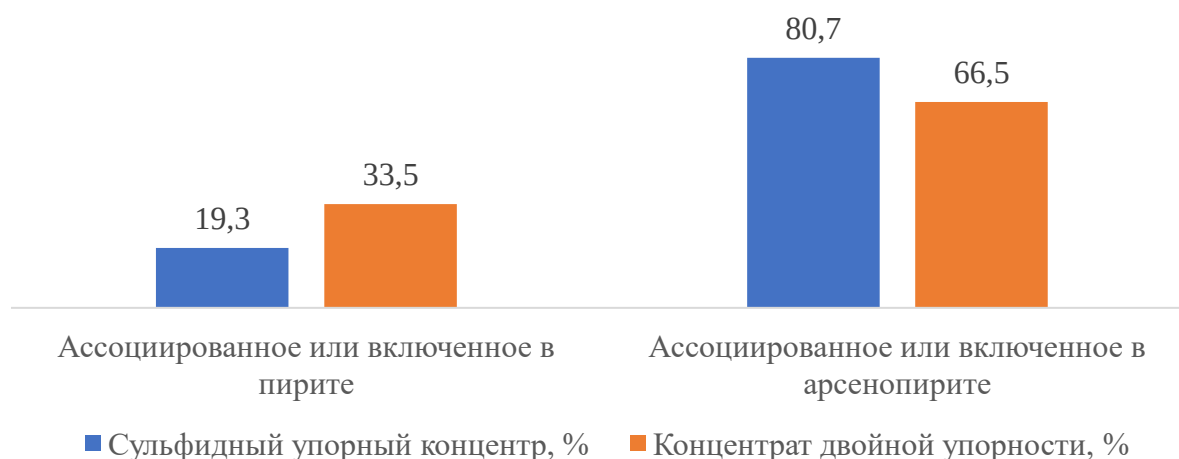


**Рисунок 1.** Фазовый состав золота.

Эксперименты проводились в агитационном режиме при постоянстве температуры, рН среды контролировали добавлением соляной кислоты и

гидроксида натрия. После эксперимента пульпу фильтровали и полученный раствор, и твёрдый остаток подвергали элементному анализу (ICP-OES).

Результаты показывают, что извлечение золота из исследуемого упорного концентрата хлоридно-бромидным выщелачиванием (крупность - 42 мкм / 90%,  $[Cl^-] = 6.3$  моль/л,  $[Br^-] = 1.0$  моль/л и  $[Cu^{2+}] = 1.6$  моль/л) линейно зависит от окисления сульфида:

- 97% окисления сульфида – извлечение золота 99% (60 часов,  $[Cl^-] = 6.3$  моль/л,  $[Br^-] = 1.0$  моль/л и  $[Cu^{2+}] = 1.6$  моль/л),
- 67% окисления сульфида – извлечение золота 81% (60 часов,  $[Cl^-] = 4.2$  моль/л,  $[Br^-] = 0.1$  моль/л и  $[Cu^{2+}] = 0.2$  моль/л),
- 46% окисления сульфида – извлечение золота 67% (38 часов,  $[Cl^-] = 4.2$  моль/л,  $[Br^-] = 0.1$  моль/л и  $[Cu^{2+}] = 0.2$  моль/л).

Однако, с концентратом двойной упорности извлечение золота составило всего 21%, несмотря на 98% окисление сульфида (при условии:  $[Cl^-] = 6.3$  моль/л,  $[Br^-] = 1.0$  моль/л и  $[Cu^{2+}] = 1.6$  моль/л) (рис. 2).

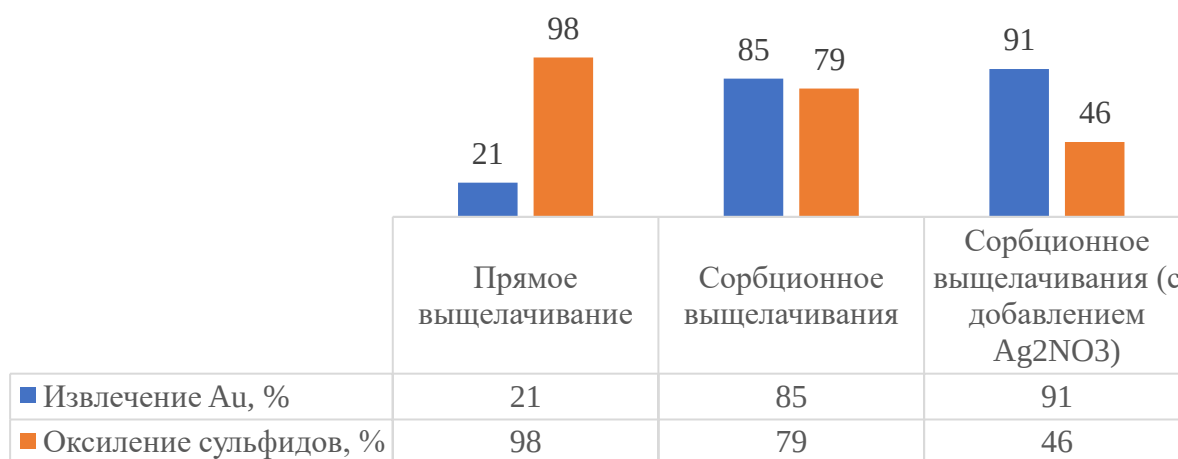


**Рисунок 2.** Извлечение золота в зависимости от степени окисления сульфидов при различных способах выщелачивания.

Для устранения проблем, связанных с потерями золота из-за природного углерода, содержащего в концентрате, исследование было проведено по схеме сорбционного выщелачивания, а также с добавлением нитрата свинца. По данной схеме извлечение достигло 85%, а при вводе нитрата свинца в объёме 225 грамм на тонну концентрата данный показатель достиг 91 %.

Примечательно, что извлечение золота из исследуемого концентрата двойной упорности может достигать 91% при окислении всего лишь 46% сульфида и одновременном добавлении нитрата свинца. Это говорит о том, что необходимость окисления серы в значительной степени зависит от характера вкрапленности золота.

Таким образом, исследования показали, что использованный подход к выщелачиванию без цианида может решить проблему природы упорности концентратов, открывая новые горизонты для будущего использования упорных золотых руд.

## Литература

1. Оспанов Х.К. Научные основы вскрытия золота из золотосодержащего сырья различными растворяющими реагентами нетрадиционным термодинамическим и кинетическим методами в условиях гидрохимического процесса// Вестник КазНУ. Сер. хим. – 2011. – №1. – Т. (61). – С. 256-267.
2. Muir D. M. A review of the selective leaching of gold from oxidised copper-gold ores with ammonia-cyanide and new insights for plant control and operation. Miner. Eng. 2011, 24, 576-582.
3. Hilson G., Monhemius A. J. Alternatives to cyanide in the gold mining industry: What prospects for the future//J. Clean. Prod. 2006, 14, 1158-1167.
4. Elomaa H., Rintala L., J. Aromaa, Lundström M. Open circuit potential and leaching rate of pyrite in cupric chloride solution// Can. Metall. Quart., 57 (4) (2018), pp. 416-421.
5. Lundström M., Ahtiainen R., O'callaghan// J. Method for recovering gold, WO2017/072411 A1, May 4, 2017.

УДК 54.057; 615.281.8

### ГХ-МС АНАЛИЗ АЛКАЛОИДНОГО ЭКСТРАКТА *EPHEDRA EQUISETINA* И СКРИНИНГ ПРОТИВОВОСПАЛИТЕЛЬНОЙ АКТИВНОСТИ *IN SILICO* ЕГО АЛКАЛОИДОВ

Шаропов Ф.С.<sup>1</sup>, Кобилзода А.М.<sup>2</sup>, Рахмонов Р.О.<sup>2</sup>

<sup>1</sup>*Китайско-таджикский инновационный центр натуральных продуктов  
Национальной академии наук Таджикистана*

<sup>2</sup>*Институт химии имени В.И. Никитина  
Национальной академии наук Таджикистана  
(г. Душанбе, Республика Таджикистан)*

**Аннотация.** *Ephedra equisetina* является потенциальным лекарственным растением в Таджикистане. Она долгое время использовалась в народной медицине Таджикистана. В экстракте алкалоидов *Ephedra equisetina* были идентифицированы четыре алкалоида, а именно эфедрин (псевдоэфедрин), 2,3,4-триметил-5-фенилоксазолидин, транс-1,2-диметил-3-фенилазирин и 3,4-диметил-2,5-дифенилоксазолидин. Согласно данным газовой хроматографии-масс-спектрометрии (ГХ-МС) содержание эфедрина в экстракте алкалоидов *Ephedra equisetina* соответственно составило 71,78%. 3,4-Диметил-2,5-дифенилоксазолидин показывает сравнительно лучшую противовоспалительную активность *in silico* и может выступать в качестве естественного альтернативного ингибитора белка COX-2.

**Ключевые слова:** эфедрин, *Ephedra equisetina* Bunge, алкалоиды, ГХ-МС анализ, эфедрин.

# GChC-MS ANALYSIS OF THE ALKALOID EXTRACT OF EPHEDRA EQUISETINA AND IN SILICO ANTI-INFLAMMATORY ACTIVITY AND SCREENING OF ITS ALKALOIDS

F.S. Sharopov<sup>1</sup>, A.M. Qobilzoda<sup>2</sup>, R.O. Rakhmonov<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Research Institution China-Tajik Innovation Center for Natural Products  
of the National Academy of Sciences of Tajikistan<sup>1</sup>

<sup>2</sup>V.I. Nikitin Institute of Chemistry  
of the National Academy of Sciences of Tajikistan  
(Dushanbe, Tajikistan)

**Annotation.** *Ephedra equisetina* is a potential medicinal plant in Tajikistan. It is used for a long time in Tajik folk medicine. Four alkaloids, namely ephedrine (pseudoephedrine), 2,3,4-trimethyl-5-phenyloxazolidine, trans-1,2-dimethyl-3-phenylaziridine and 3,4-dimethyl-2,5-diphenyloxazolidine were identified in the alkaloid extract of *Ephedra equisetina*. According to the gas chromatography-mass spectrometry (GC-MS) data, ephedrine contents determined 71.78% in *Ephedra equisetina* alkaloid extract. 3,4-Dimethyl-2,5-diphenyloxazolidine shows comparatively better in silico anti-inflammatory activity and it can play as a natural alternative inhibitor of the COX-2 protein.

**Keywords:** *Ephedra*, *Ephedra equisetina* Bunge, alkaloids, GC-MS analysis, ephedrine, anti-inflammatory activity.

## Введение

Вид эфедра относится к роду *Ephedra* L. семейства эфедровые. Во флоре Таджикистана произрастает девятнадцать видов эфедры [1]. *Ephedra equisetina* Bunge представляет собой небольшой многолетний кустарник с разветвленной кроной высотой до 1.5 м. Многолетние стебли покрыты серой корой, однолетние побеги – зелёного цвета. Побеги прямые, гладкие и тонкие. Листья супротивные, длиной 1-2 мм [1]. В Таджикистане наибольшие запасы эфедры сосредоточены в горах Зеравшана [2]. Во времена Советского Союза эфедру заготавливали из Таджикистана для импорта [3]. Эфедра – одно из древнейших лекарственных растений. В народной медицине Средней Азии её ветви использовались при простуде, болях в суставах, ревматизме, малярии, заболеваниях желудка и печени [2]. В современной медицине описаны широкие фармакологические свойства растения эфедра, такие как противовоспалительное, антиоксидантное, противоаллергическое, противовирусное, мочегонное и регулирующее артериальное давление действие [4]. Эфедра богата биологически активными соединениями, особенно алкалоидами. Из растений эфедры было выделено более 20 алкалоидов [5]. Однако основными биоактивными алкалоидами растений эфедры являются эфедрин и псевдоэфедрин. Количество этих двух алкалоидов учитывается при проверке качества растений *Ephedra* для их использования в фармацевтической промышленности [4]. В этом отношении *Ephedra equisetina* Bunge является важным видом из-за значительного количества алкалоидов (до 3.1%) [1, 3]. Растения эфедры использовались благодаря их противовоспалительным свойствам, они подавляли восходящие сигнальные пути провоспалительных медиаторов и цитокинов в липополисахариде [6]. Фермент циклооксигеназа имеет две изоформы (COX-1 и COX-2), которые участвуют в различных воспалительных процессах [7]. Было обнаружено, что его ингибиторы эффективны в подавлении воспалительных

процессов [8], р38 митоген-активируемые протеинкиназы (р38МАРК) могут регулировать экспрессию СОХ-2 [9].

В настоящем исследовании важно описать исследование молекулярной стыковки алкалоидов *Ephedra equisetina* с ферментами СОХ-1, СОХ-2 и р38МАРК. Данная работа посвящена анализу методом ГХ-МС экстракта алкалоидов *Ephedra equisetina*, произрастающего в диком виде в Таджикистане, и скринингу противовоспалительной активности *in silico* его алкалоидов.

## **2. Материалы и методы**

### **2.1. Реагенты и материалы**

Все химикаты были приобретены у Fluka, Sigma и Merk. Для колоночной хроматографии использовался силикагель (Yantai Jiangyou Silica gel Development Co.LTD, Китай; 200–300 меш). ТСХ (тонкослойная хроматография) использовалась с пластинами HSGF254 (Yantai Jiangyou Silica gel Development Co.LTD, Китай). УФ-свет (254 нм) и пары йодида использовались для визуализации пятен на пластинах ТСХ.

### **2.2. Растительный материал**

Надземные части дикорастущего *Ephedra equisetina* Bunge были собраны 17 мая 2023 года в селе Дехманора в районе Кухистони Мастчох Республики Таджикистан на высоте 2800 метров над уровнем моря. Аутентифицированные контрольные образцы растения (инвентарный номер ICTNAS 2023-2) были переданы на хранение в Лабораторию гетероциклических соединений Института химии имени В.И. Никитина Национальной академии наук Таджикистана.

### **2.3. Экстракция алкалоидного экстракта *Ephedra equisetina***

100 г сухого порошка растения *Ephedra equisetina* смешивали с 100 мл воды и 50 мл 8 Н раствора соляной кислоты и выдерживали в течение 5 часов. В смесь заливали 350 мл 95% этанола, нагревали до температуры кипения и оставляли на ночь. На следующий день проведено горячее фильтрование, дважды промывали спиртом. К полученному фильтрату добавляли карбонат калия и хлороформ до рН 9-10. Хлороформный экстракт фильтровали и сушили с помощью вакуумного ротатора, чтобы получить алкалоидный экстракт *Ephedra equisetina*. Выход экстракции составил 1.57%. Метод разделения алкалоидного экстракта подробно описан в работе [10].

### **2.4. Анализ методом газовой хроматографии-масс-спектрометрии (ГХ-МС)**

Алкалоидный экстракт *Ephedra equisetina* подвергали анализу методом ГХ-МС с использованием Agilent 6890 GC с Agilent 5973 MSD и капиллярной колонкой HP-5ms (30 м × 0.25 мм × 0.25 мкм). Газом-носителем был гелий со скоростью потока 1.5 мл/мин в режиме разделения. Рабочие температурные условия были следующими: начальная температура 60°C в течение 2 мин изотермически с последующим линейным повышением температуры до 320 °C со скоростью 3 °C/мин, а затем в течение 10 мин в изотермическом режиме при 320°C. Температуры детектора и инжектора составляли 320°C и 310°C, соответственно. Идентификация компонентов эфирного масла проводилась на основе индексов удерживания (RI) и моделей масс-спектральной фрагментации,

соответствующих данным, приведенным в литературе [11, 12] и в базе данных NIST.

### **2.5. Выделение эфедрина (псевдоэфедрина)**

Алкалоидный экстракт *Ephedra equisetina* (3,2 г) разделяли с помощью колоночной хроматографии с использованием колонки с силикагелем (30 мм × 500 мм). Градиентное элюирование проводили с помощью системы растворителей хлороформ: этанол (4:1, 0:1, об./об.). Для тестирования разделения использовали ТСХ.

### **2.6. Количественный тест эфедрина (псевдоэфедрина)**

Количественный тест эфедрина (псевдоэфедрина) проводили с помощью реакции Чена-Као [13].

### **2.7. Противовоспалительная активность IN SILICO**

Мы использовали онлайн-платформу [mccule.com](http://mccule.com) для исследования взаимодействий лиганд-мишень. В качестве лигандов мы использовали эфедрин, псевдоэфедрин, 2,3,4-триметил-5-фенилоксазолидин, 1,2-диметил-3-фенилазирин и 3,4-диметил-2,5-дифенилоксазолидин, а в качестве мишеней — фермент циклооксигеназы-1 (COX-1) (код PDB 3N8Z), фермент циклооксигеназы-2 (COX-2) (код PDB 3LN1) и митоген-активируемую протеинкиназу P38 (p38MAPK) (код PDB 1OZ1). Препарат Целекоксиб использовался в качестве положительного контроля. Центры сайтов связывания были для белка 3N8Z X 32.302; Y 44.1082; Z -32.0881, для белка 3LN1 X 18.6395; Y -52.3646; Z 54.125 и для белка 1OZ1 X 19.8049; Y 13.0568; Z 32.6076. Для визуализации взаимодействий белок-лиганд использовался Discovery Studio Visualizer (v.21.1.0.20298) [14].

### **2.8. Расчёт физико-химических свойств**

Физико-химические свойства (молекулярная масса, коэффициент распределения, акцепторы водородных связей, доноры водородных связей, вращающиеся связи, PSA (полярная площадь поверхности), рефракция, число атомов, число колец, тяжёлые атомы, атомы водорода, гетероатомы, атомы N/O и хиральные центры) исследуемых алкалоидов и положительного контроля были рассчитаны с помощью калькулятора свойств на онлайн-платформе [mccule.com](http://mccule.com).

### **2.9. Тест на токсичность**

Токсичность исследуемых алкалоидов и положительного контроля была проверена с помощью средства проверки токсичности на онлайн-платформе [mccule.com](http://mccule.com).

## **3. Результаты и обсуждение**

Надземные части дикой *Ephedra equisetina* Bunge были собраны в районе Кухистони Мастчох Республики Таджикистан. Алкалоидный экстракт растения был получен путем кислотно-щелочной экстракции и проанализирован методом газовой хроматографии-масс-спектрометрии (ГХ-МС). ГХ-МС профиль алкалоидного экстракта *Ephedra equisetina* Bunge представлен на рисунке 1.

Время удерживания основного компонента составляет 28.764 мин. с массовой фрагментацией (m/z) 71.1 (100%); 56.1 (27.26%); 91.1 (9.91%); 117.0 (6.73%) и 77.0 (6.17%) (рис. 2 (А)), что соответствует массовой фрагментации

эфедрина ( $m/z$ ), представленной в базе данных масс-спектров PMW-TOX2.L (рис. 2 (B)).

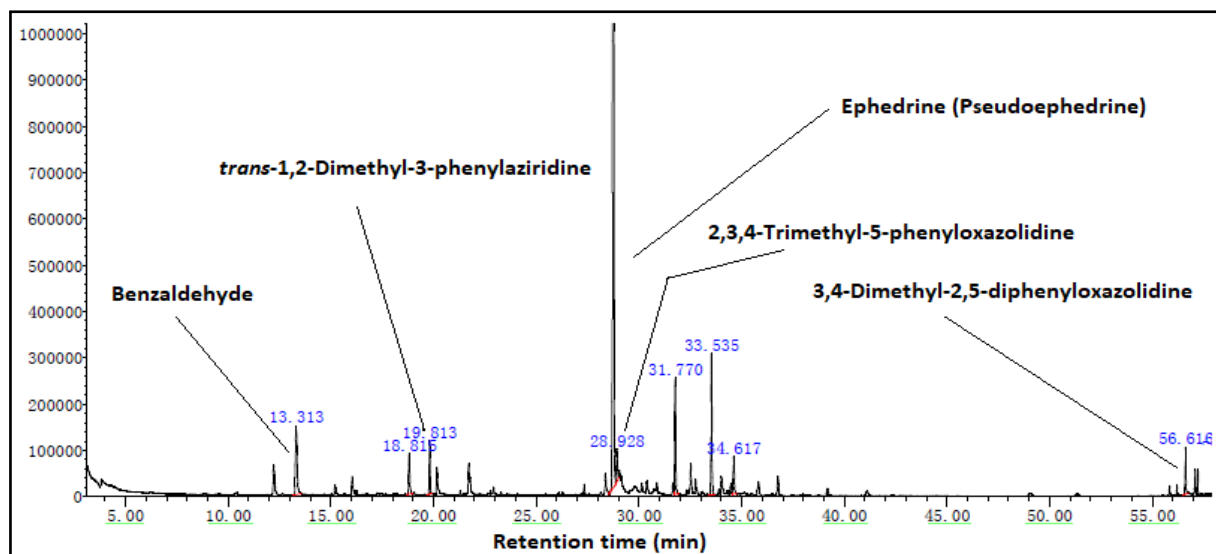


Рисунок 1. Профиль ГХ-МС экстракта алкалоида *Ephedra equisetina* Bunge

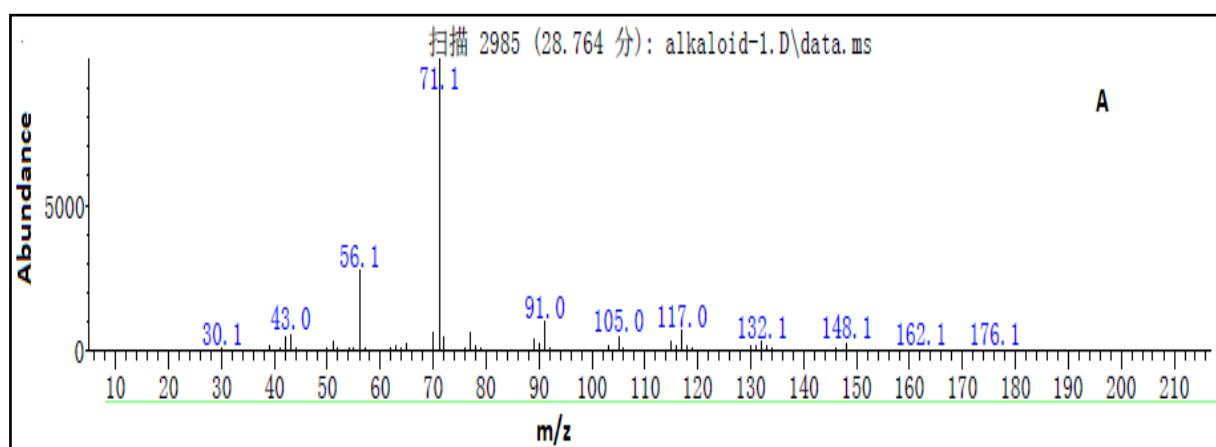


Рисунок 2. (A) Массовая фрагментация ( $m/z$ ) основного компонента алкалоидного экстракта *Ephedra equisetina* Bunge (RT 28.764 мин)

По данным Ценга и соавторов, массовая фрагментация эфедрина может происходить по схеме, представленной на рисунке 4. Она может образовывать основные ионы  $[M-OH-C_6H_5]^+$  и  $[M-OH-C_6H_5-CH_3]^+$  с  $m/z$  71 и  $m/z$  56 соответственно [11].

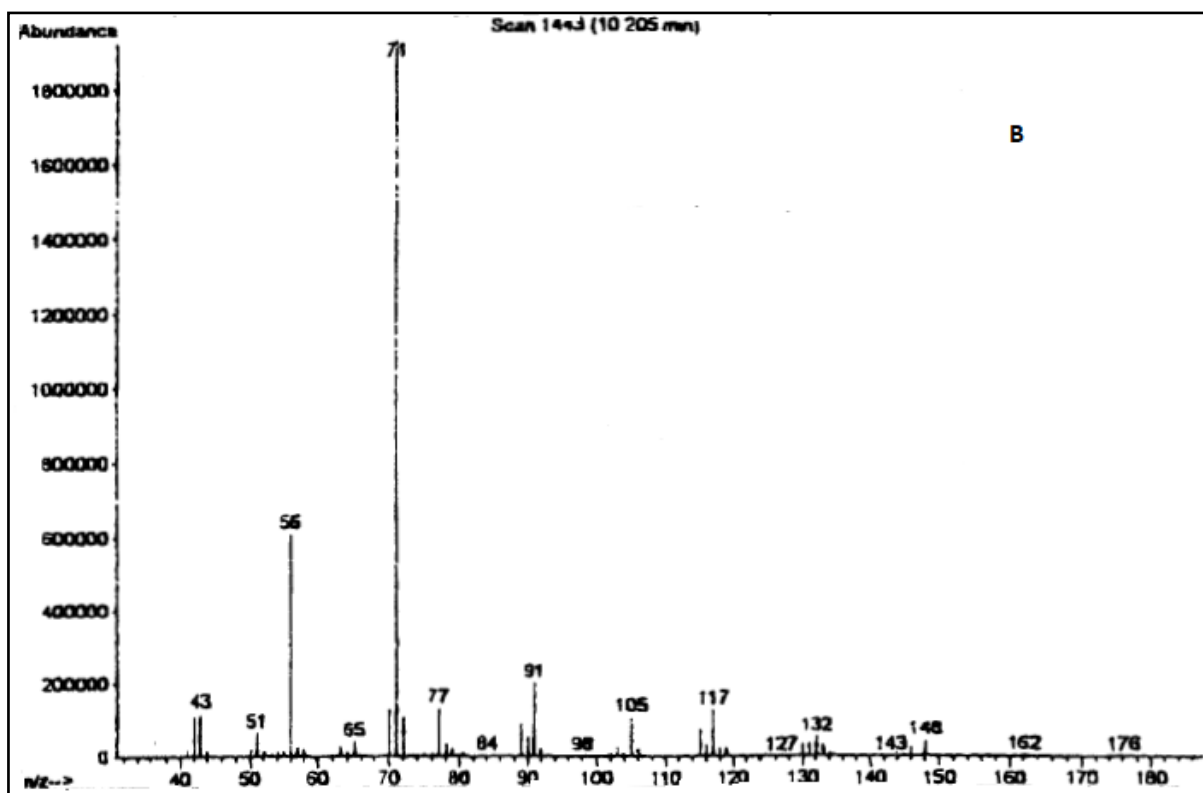


Рисунок 3. (В) Массовая фрагментация (m/z) эфедрина из базы данных PMW-TOX2.L [11]

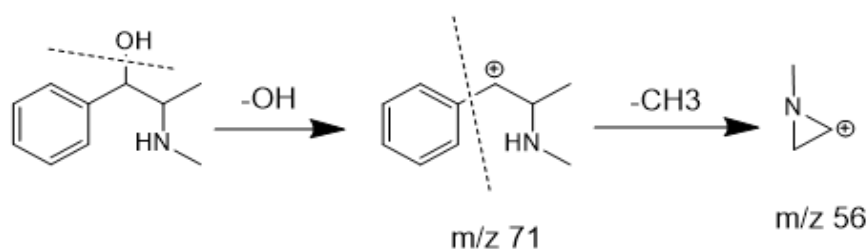
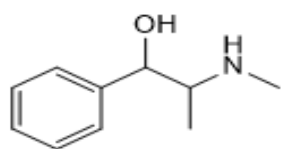


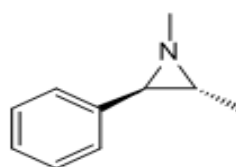
Рисунок 4. Массовая фрагментация эфедрина [11]

Согласно полученным результатам, эфедрин и псевдоэфедрин были доминирующими алкалоидами, они составляют 71.78% от содержания алкалоидов в *Ephedra equisetina*. 2,3,4-триметил-5-фенилоксазолидин (1.71%), транс-1,2-диметил-3-фенилазиридин (2,64%) и 3,4-диметил-2,5-дифенилоксазолидин (1.85%) были идентифицированы в экстракте алкалоидов *Ephedra equisetina*. Химический состав алкалоидного содержимого дикой *Ephedra equisetina* представлен в таблице 1. Среди идентифицированных компонентов эфедрин и псевдоэфедрин являются аминосодержащими алкалоидами; 2,3,4-триметил-5-фенилоксазолидин и 3,4-диметил-2,5-дифенилоксазолидин являются производными оксазолидина. Химическая структура идентифицированных компонентов показана на рисунке 5.

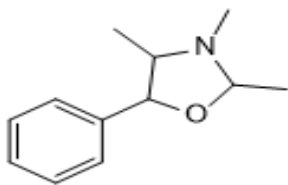
Экстракт алкалоидов *Ephedra equisetina* был разделен на 8 фракций. Две фракции были положительными в реакции теста Чэнь-Као весом 0.28 г. Выход эфедрина (псевдоэфедрина) составил 8.75%.



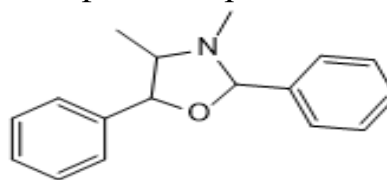
Эфедрин



*транс*-1,2-диметил-3-фенилазиридин



2,3,4-Триметил-5-фенилоксазолидин



3,4-Диметил-2,5-дифенилоксазолидин

**Рисунок 5.** Химическая структура компонентов алкалоидного экстракта *Ephedra equisetina* Bunge

**Таблица 1** - Химический состав алкалоидного экстракта *Ephedra equisetina* Bunge

| РТ                     | РИ   | соединение                                 | масс-фрагментация, m/z                                                                                                 | %     |
|------------------------|------|--------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------|
| 13.315                 | 1142 | бензальдегид                               | 106.0 (100%); 105.0 (97.2%); 77.0 (84.23%); 51.0 (29.19%); 50.0 (17.27%); 78.0 (10.22%); 52.0 (9.15%); 39.0 (5.89%)    | 6.05  |
| 18.811                 | 1268 | бензойная кислота, метиловый эфир          | 105.0 (100%); 77.0 (52.94%); 136.0 (35.97%); 51.0 (16.58%); 106.0 (8.53%)                                              | 2.20  |
| 19.809                 | 1290 | <i>транс</i> -1,2-диметил-3-фенилазиридин  | 146.1 (100%); 105.0 (36.19%); 132.0 (20.8%); 91.0 (14.15%); 147.0 (14.02%); 42.0 (14.01%)                              | 2.64  |
| 28.764                 | 1499 | эфедрин (псевдоэфедрин)                    | 71.1 (100%); 56.1 (27.26%); 91.1 (9.91%); 117.0 (6.73%); 77.0 (6.17%)                                                  | 71.78 |
| 28.927                 | 1502 | 2,3,4-Триметил-5-фенилоксазолидин          | 85.1 (100%); 148.0 (52.35%); 70.0 (33.8%); 71.1 (22.87%); 90.0 (20.29%)                                                | 1.71  |
| 31.766                 | 1569 | лимонная кислота, метиловый эфир           | 143.0 (100%); 101.0 (54.13%); 59.0 (13.75%); 175.0 (13.3%); 43.0 (7.47%)                                               | 5.26  |
| 33.538                 | 1616 | лимонная кислота, метиловый эфир           | 143.0 (100%); 101.0 (43.83%); 175.0 (14.87%); 157.0 (9.89%); 59.0 (9.31%)                                              | 6.36  |
| 34.613                 | 1644 | изобутиловый эфир 3-(2 метоксиэтил)гептила | 157.0 (100%); 129.0 (69.29%); 101.0 (63.15%); 55.0 (34.8%); 83.0 (34.60%); 115.0 (25.3%); 143.0 (24.5%); 171.0 (10.8%) | 2.15  |
| 56.617                 | 2304 | 3,4-диметил-2,5-дифенилоксазолидин         | 146.1 (100%); 147.1 (92.28%); 105.0 (27.24%); 148.05 (26.29%); 132.05 (24.46%); 91.0 (20%); 77.0 (20%)                 | 1.85  |
| всего идентифицировано |      |                                            |                                                                                                                        | 100.0 |

Согласно литературным данным, самое высокое общее содержание алкалоидов содержится в *Ephedra equisetina* (2.5 %), а содержание эфедрина в экстракте различных видов *Ephedra* варьируется от 55 % до 83 % [15]. 2,3,4-триметил-5-фенилоксазолидин и 3,4-диметил-2,5-дифенилоксазолидин являются циклизированными производными эфедрина и псевдоэфедрина, которые ранее были обнаружены в экстрактах трех видов *Ephedra* (*E. sinica*, *E. intermedia* и *E. equisetina*) [16, 17]. Алкалоид 1,2-диметил-3-фенилазирин также был обнаружен в надземной части *Ephedra alata* [18].

Значения молекулярной стыковки для пяти алкалоидов *Ephedra equisetina* варьировались от -5.2 до -9.4 ккал/моль (табл. 2). Значение для референтного препарата (Целекоксиб) варьировалось от -6.6 до -12.2 ккал/моль. 3,4-Диметил-2,5-дифенилоксазолидин показывает самые высокие значения молекулярной стыковки - 7.0; - 9.4; и - 7.8 ккал/моль для белков COX-1 (3N8Z); COX-2 (3LN1); и p38MAPK (1OZ1), соответственно.

Значения молекулярной стыковки для положительного контроля (Целекоксиб) составляли – 6.6; - 12.2; и - 8.4 ккал/моль для COX-1 (3N8Z); белки COX-2 (3LN1) и p38MAPK (1OZ1), соответственно. Механизм взаимодействия 3,4-диметил-2,5-дифенилоксазолидина и целекоксиба с аминокислотами белка ЦОГ-2 (3LN1) представлен на рис. 6.

Физико-химические свойства, такие как молекулярная масса, коэффициент распределения, акцепторы водородных связей, доноры водородных связей, вращающиеся связи, PSA (полярная площадь поверхности), рефрактерность, число атомов, число колец, тяжёлые атомы, атомы водорода, гетероатомы, атомы N/O и хиральные центры исследуемых соединений, показаны в таблице 3. Может существовать корреляция между значениями стыковки (противовоспалительная активность *in silico*) и молекулярной массой, коэффициентом распределения и тяжёлыми атомами алкалоидов эфедры.

**Таблица 2** - Данные по стыковке алкалоидов *Ephedra equisetina* с ферментами COX-1, COX-2 и p38MAPK

| Соединения                          | COX-1<br>(3N8Z)              | COX-2<br>(3LN1) | p38MAPK<br>(1OZ1) |
|-------------------------------------|------------------------------|-----------------|-------------------|
|                                     | значение стыковки, ккал/моль |                 |                   |
| эфедрин                             | -6.1                         | -6.3            | -5.2              |
| Псевдоэфедрин                       | -6.1                         | -6.3            | -5.2              |
| 2,3,4-Триметил-5-фенилоксазолидин   | -5.7                         | -7.5            | -6.0              |
| 1,2-Диметил-3-фенилазирин           | -6.2                         | -6.4            | -5.3              |
| 3,4-Диметил-2,5-дифенилоксазолидин  | -7.0                         | -9.4            | -7.8              |
| целекоксиб (положительный контроль) | -6.6                         | -12.2           | -8.4              |

Как видно из рис. 6, взаимодействие 3,4-диметил-2,5-дифенилоксазолидина и Целекоксиба с аминокислотами белка ЦОГ-2 (3LN1) имеет много общего. Оба взаимодействуют с аминокислотными остатками лейцина (LEU D: 321, LEU D:

328, LEU D: 350, LEU D: 500), тирозина (TYR D: 317, TYR D: 324, TYR D: 354), фенилаланина (PHE D: 350, PHE D: 478), серина (SER D: 322, SER D: 499), валина (VAL D: 318, VAL D: 492), триптофана (TRP 356), метионина (MET D: 491), глицина (GLY D: 495), гистидина (HIS D:58), аргинина (ARG D: 482), аланина (ALA D: 496), что указывает на одинаковый механизм действия. Наши результаты согласуются с ранее опубликованными данными о том, что производные оксазолидина обладают потенциальной противовоспалительной активностью [19-21].

Оценка токсичности исследуемых алкалоидов проводилась с помощью чекера токсичности. Все алкалоиды из *Ephedra equisetina* прошли проверку токсичности, за исключением 1,2-диметил-3-фенилазиридина, который имеет потенциально токсичную субструктуру, как показано на рисунке 5.

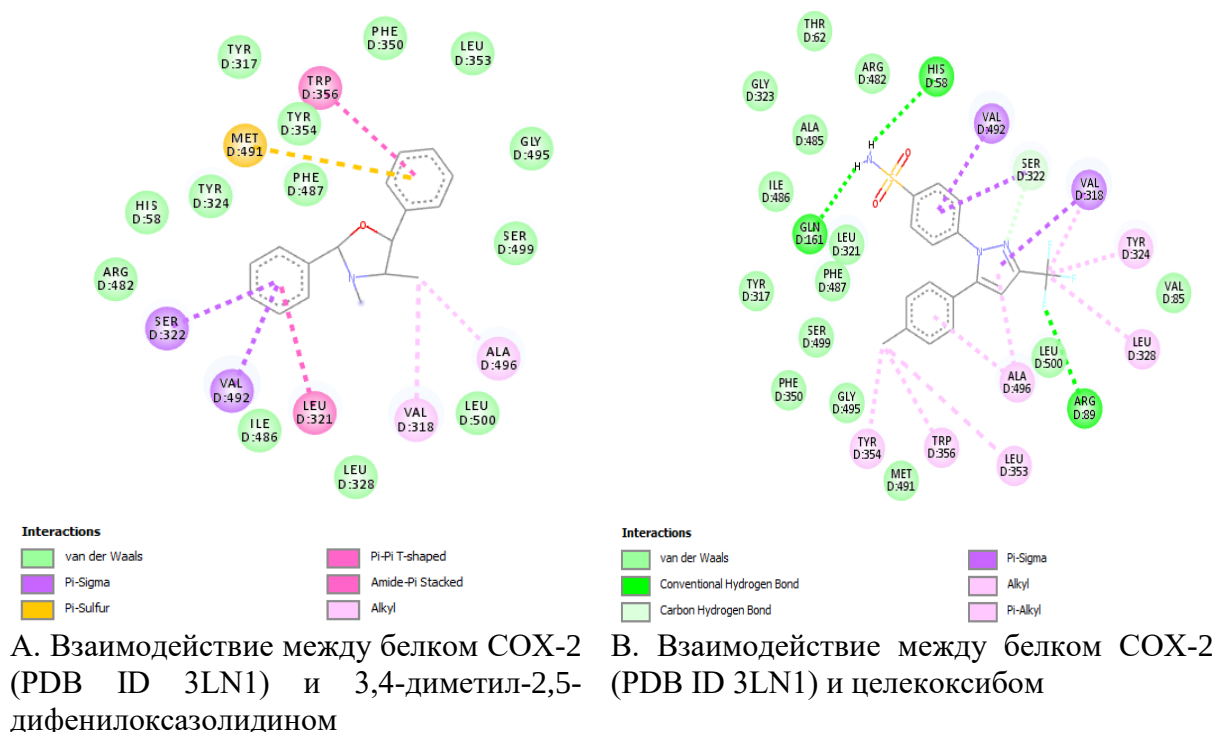


**Рисунок 6.** Снимок представляет взаимодействие между А). 3,4-диметил-2,5-дифенилоксазолидином В). целекоксибом с белком COX-2 (PDB ID 3LN1).

**Таблица 3. Физико-химические свойства и проверка токсичности  
исследуемых соединений**

| Характеристики              | Эфедрин     | Псевдоэфедрин | 2,3,4-Триметил-5-фенил оксазолидин | 1,2-Диметил-3-фенилазирин | 3,4-Диметил-2,5-дифенил оксазолидин | Целекоксиб  |
|-----------------------------|-------------|---------------|------------------------------------|---------------------------|-------------------------------------|-------------|
| Масса                       | 165.231     | 165.231       | 191.269                            | 147.216                   | 253.338                             | 381.373     |
| logP                        | 1.7188      | 1.7188        | 2.3621                             | 1.9995                    | 3.7149                              | 5.2950      |
| Акцепторы водородных связей | 2           | 2             | 2                                  | 1                         | 2                                   | 8           |
| Доноры водородных связей    | 2           | 2             | 0                                  | 0                         | 0                                   | 1           |
| Вращающиеся облигации       | 3           | 3             | 1                                  | 1                         | 2                                   | 4           |
| PSA                         | 32.26       | 32.26         | 12.47                              | 3.01                      | 12.47                               | 86.36       |
| Рефракция                   | 49.7925     | 49.7925       | 61.2250                            | 50.5260                   | 80.9050                             | 89.9624     |
| Атомы                       | 27          | 27            | 31                                 | 24                        | 38                                  | 40          |
| Кольца                      | 1           | 1             | 2                                  | 2                         | 3                                   | 3           |
| Тяжелые атомы               | 12          | 12            | 14                                 | 11                        | 19                                  | 26          |
| Атомы водорода              | 15          | 15            | 17                                 | 13                        | 19                                  | 14          |
| Гетероатомы                 | 2           | 2             | 2                                  | 1                         | 2                                   | 9           |
| Атомы N/O                   | 2           | 2             | 2                                  | 1                         | 2                                   | 5           |
| Хиральные центры            | 2           | 2             | 3                                  | 3                         | 3                                   | 0           |
| R/S хиральные центры        | 2           | 2             | 0                                  | 0                         | 0                                   | 0           |
| Проверка на токсичность     | Не токсичен | Не токсичен   | Не токсичен                        | Токсичный                 | Не токсичен                         | Не токсичен |

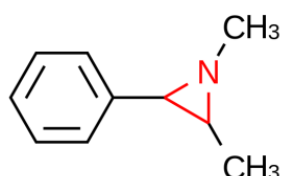


**Рисунок 5. Потенциальная токсическая субструктура (красный цвет)  
1,2-диметил-3-фенилазиридина**

### Заключение

Алкалоидный экстракт растения был получен кислотнo-щелочной экстракцией и проанализирован методами газовой хроматографии-масс-спектрометрии (ГХ-МС) и колоночной хроматографии (КХ). Согласно данным ГХ-МС, эфедрин является основным компонентом в алкалоидном экстракте

*Ephedra equisetina*. Результаты молекулярного докинга указывают на то, что 3,4-диметил-2,5-дифенилоксазолидин может быть природным альтернативным ингибитором белка ЦОГ-2.

### Литература

1. Овчинников П.Н. Флора Таджикской ССР// ed. Vol. 1. 1957, Москва-Ленинград: Изд.: Академии наук СССР. – 665 с.
2. Ходжиматов М. Дикорастущие лекарственные растения Таджикистана. 1989, Душанбе: Таджикская Советская Энциклопедия//Электронный ресурс: [https://www.alib.ru/au-hodzhimatov/nm-dikorastuwie\\_lekarstvennye\\_rasteniya\\_tadzhikistana/](https://www.alib.ru/au-hodzhimatov/nm-dikorastuwie_lekarstvennye_rasteniya_tadzhikistana/) (Дата обращения: 12.02.2025).
3. Hayashi H., et al. Field Survey of Ephedra Plants in Central Asia (1). Characterization of Ephedra equisetina, Ephedra intermedia, and Their Putative Hybrids Collected in the Zaravshan Mountains of Tajikistan// Biol Pharm Bull, 2019. 42(4): P. 552-560.
4. Zheng Q., et al. Ephedrae herba: A comprehensive review of its traditional uses, phytochemistry, pharmacology, and toxicology// J. of Ethnopharmacology, 2023. 307: P. 116153.
5. Tang S., et al. Ephedrae Herba: A Review of Its Phytochemistry, Pharmacology, Clinical Application, and Alkaloid Toxicity// Molecules, 2023. 28(2): P. 663.
6. Park S.Y., et al. Anti-neuroinflammatory effects of Ephedra sinica Stapf extract-capped gold nanoparticles in microglia// Int J Nanomedicine, 2019. 14: P. 2861-2877.
7. Guan Z., et al. Regulation of cyclooxygenase-2 by the activated p38 MAPK signaling pathway// Adv Exp Med Biol, 1999. 469: P. 9-15.
8. Sethi R., et al. Neurobiology and Therapeutic Potential of Cyclooxygenase-2 (COX-2) Inhibitors for Inflammation in Neuropsychiatric Disorders// Front Psychiatry, 2019. 10: p. 605.
9. Cho W. and Choe J. Prostaglandin E2 stimulates COX-2 expression via mitogen-activated protein kinase p38 but not ERK in human follicular dendritic cell-like cells// BMC Immunol, 2020. 21(1): p. 20.
10. Feng C.T., Read B.E. The ephedrine assay of Chinese ephedra. Journal of the American Pharmaceutical Association// 1927. 16(11): p. 1034-1039.
11. Tseng M.C., et al. GC/MS analysis on anorectics adulterated in traditional chinese medicines// J. of Food and Drug Analysis, 2000. 8(4): p. 7.
12. Stalker R. Characterization of oxazolidine byproducts in methamphetamine laboratory analysis. 2011// Электронный ресурс: <http://hdl.handle.net/10211.3/118743>. (Дата обращения: 26.01.2025).
13. Nations U. Rapid Testing Methods of Drugs of Abuse (Manual for Use by National Law Enforcement and Narcotic Laboratory Personnel). 1994: New York. p. 71.
14. Шаропов Ф.С., Рахмонов Р.О., Валиев А.Х. Новые производные тиадиазола с противотуберкулезной активностью// Вопросы биологической, медицинской и фармацевтической химии, 2022. – № 25(8). – С. 31-39.

15. Parsaeimehr A. and E. Sargsyan, Ephedra alkaloids-Alkaloids derived by amination reaction: phenylalanine derived, in Natural Products//2013, Springer Berlin Heidelberg. P. 909-922.
16. Li Y. C., et al. A Modified <sup>1</sup>H-NMR Quantification Method of Ephedrine Alkaloids in Ephedrae Herba Samples//International J. of Molecular Sciences, 2023. 24(14): P. 11272.
17. Contreras R., et al. N-borane adducts of oxazolidines derived from ephedrine and pseudo- ephedrine. Study of stereochemistry by nuclear magnetic resonance // Tetrahedron, 1984. 40(19): P. 3829-3838.
18. Mighri H., et al. Chromatography Analysis of Fatty Acids, Volatile Compounds and Alkaloids of Ephedra alata Growing Wild in Southern Tunisia and Evaluation of their Antioxidant Activity// Phytopathology, 2017. 9.
19. Pathania S., et al. Oxazolidinones: Are they only good for the discovery of antibiotics? A worm's eye view// J. of Molecular Structure, 2023. 1286: P. 135630.
20. Singh S., et al. Structure–activity relationship study of a series of novel oxazolidinone derivatives as IL-6 signaling blockers// Bioorganic & Medicinal Chemistry Letters, 2016. 26(4): Pp. 1282-1286.
21. Phillips O.A., Bosso M.A., Ezeamuzie C.I. Synthesis and structure-activity relationships of novel 5-(hydroxamic acid) methyl oxazolidinone derivatives as 5-lipoxygenase inhibitors// J. of Enzyme Inhibition and Medicinal Chemistry, 2020. 35(1): P. 1471-1482.

УДК 547.7

## О БИОЛОГИЧЕСКИХ СВОЙСТВАХ ПРОИЗВОДНЫХ 6-(ПАРА-ТОЛИЛ)ИМИДАЗО[2,1-В][1,3,4]-ТИАДИАЗОЛА

Шарипов Ш.С.<sup>1</sup>, Рахмонов Р.О.<sup>1</sup>, Акбарова М.М.<sup>2</sup>

<sup>1</sup>*Институт химии имени В.И. Никитина  
Национальной академии наук Таджикистана*

<sup>2</sup>*Филиал Московского государственного университета  
имени М.В. Ломоносова в городе Душанбе  
(г. Душанбе, Республика Таджикистан)*

**Аннотация.** Настоящая работа посвящена изучению сравнительного бактериостатического и бактерицидного действия производных 6-(пара-толил)имидазо[2,1-в][1,3,4]-тиадиазола экспериментально на питательной среде. Установлено, что активную чувствительность в таких условиях показали тест-микробы с соединениями 2 и 3. В разбавленных растворах от 1:2 до 1:256 эти соединения оказывали высокий бактериостатический и бактерицидный эффект.

**Ключевые слова:** 1,3,4-тиадиазол, антибактериальная, антимикробная, бактериостатическая, бактерицидная эффективность.

# ON THE BIOLOGICAL PROPERTIES OF 6-(PARA-TOLYL)IMIDAZO [2,1-b][1,3,4]-THIADIAZOLE DERIVATIVES

Sh.S. Sharipov<sup>1</sup>, R.O. Rakhmonov<sup>1</sup>, M.M. Akbarova<sup>2</sup>

<sup>1</sup>V.I. Nikitin Institute of Chemistry

of the National Academy of Sciences of Tajikistan

<sup>2</sup>Lomonosov Moscow State University in Dushanbe

(Dushanbe, Tajikistan)

**Annotation.** The present work is devoted to comparative bacteriostatic and bactericidal action of 6-(para-tolyl)imidazo[2,1-b][1,3,4]-thiadiazole derivatives and studied in experiments on nutrient medium. It was found that test microbes with compounds 2 and 3 showed active sensitivity under such conditions. In diluted solutions from 1:2 to 1:256, these compounds had a high bacteriostatic and bactericidal effect.

**Keywords:** 1,3,4-thiadiazole, antibacterial, antimicrobial, bacteriostatic, bactericidal efficiency.

## 1. Введение

Синтез и поиск новых биологически активных веществ, обладающих ценными медицинскими и биологическими свойствами для живых организмов является актуальным вопросом современных органической и фармакологической химии. За последние десятилетия органическая химия, в частности химия гетероциклических соединений, внесла значительный вклад в область медицинской химии, которая занимается изучением терапевтических свойств биологически активных веществ [1, 2]. Несмотря на многочисленные публикации по синтезу, химическому метаболизму и изучению биологической активности производных 1,3,4-тиадиазола в многочисленных источниках литературы исследования в этом направлении ещё продолжаются.

В то же время актуальной проблемой, с которой сталкивается мировое сообщество, является устойчивость микроорганизмов к антибиотикам: ежегодно в Европейском союзе от инфекций, вызванных бактериями, устойчивыми к антибиотикам, умирает более 25000 человек. Ещё одной проблемой современного общества является продолжающееся использование так называемых «экстренных антибиотиков» в медицине и ветеринарии, что является актуальной проблемой в вышеупомянутых областях. Например, использование фторхинолонов привело у сельскохозяйственных животных к появлению адаптивной устойчивости к антибиотикам у *Salmonella* и *Campylobacter*, вызывающих инфекционные заболевания у животных и людей.

По вопросам биологической активности производных имидазо[2,1-b][1,3,4]тиадиазола в литературе встречаются многочисленные публикации, в которых упоминается вещество, обладающие антибактериальной, антитуберкулезной, противогрибковой, противосудорожной, противовоспалительной, анальгетической, жаропонижающей, противораковой, антигельминтной, антиамебической активностью [3-7].

## 2. Обсуждение

С целью поиска новых материалов обладающих антимикробной активностью синтезирован ряд производных имидазо[2,1-b][1,3,4]тиадиазола. Полученное соединение прошло испытание в бактериологической лаборатории Института

биологической безопасности и биотехнологии Академии сельскохозяйственных наук Таджикистана на бактериостатическую и бактерицидную эффективность соединений в виде концентрированного порошка. Бактериостатическое и бактерицидное действие соединений 1, 2 и 3 изучали в экспериментах на питательной среде.

Соединений 1: 2-бromo-5H-6-пара(толил) имидазо [2,1-b]-[1,3,4] тиadiaзол.

Соединений 2: 2-метилтиoэтил-5H-6-(пара-толил)имидазо[2,1-b]-[1,3,4] тиadiaзол.

Соединений 3: 2-метиламин-5H-6-пара(толил)имидазо[2,1-b]-[1,3,4] тиadiaзол.

### **2.1. Пробное исследование**

С целью сравнительного исследования терапевтической эффективности веществ в качестве тест-образцов использовали стандартные культуры микроорганизмов и для определения противомикробного действия веществ, полученных из ЦБ коллекций патогенных микроорганизмов ИПББ:

- *Staphylococcus* (пастерелла мултоцида).
- *Salmonella dublin* (сальмонелла дублин).
- *Bac. anthracis* (бацилус антракис).
- *Escherichia coli*.

Специфическую антимикробную эффективность соединений изучали по стандартной методике, в серийных сочетаниях в разных питательных средах, в разных тестовых объёмах при различной микробной нагрузке (от 10 до 10<sup>5</sup> клеток на мл).

Сухие порошкообразные композиции под номерами 1, 2 и 3 растворяли в очищенной деионизированной воде, исходя из исходной рабочей концентрации, в количестве 1% мг/мл. Все испытуемые компоненты (концентрированные порошкообразные) также растворяли в дистиллированной воде до рабочей концентрации 1%. Для работы готовили 1% рабочие растворы разбавленных промежуточных растворов 1:2, 1:4, 1:8, 1:16, 1:32, 1:64, 1:128, 1:256. В таком виде они были использованы в эксперименте. Для компенсации снижения концентрации питательных веществ в случае включения относительно большого объёма в ряде случаев использовали количество, соответствующее расчёту среды с двойной концентрацией питательных веществ.

### **3. Результаты лабораторных исследований соединений**

Эффективность соединений определяли на основании результатов, приведенных в таблицах 1 - 3, путём сравнительного изучения антимикробной эффективности соединений № 1, 2 и 3 в тестируемых образцах в сопоставимых условиях. Условия испытаний: питательная среда - мясопептонный бульон с добавлением 0.1% глюкозы; инокуляция путём суспендирования культуры на 18 часов в тестируемом растворе с микробной нагрузкой 102 кл/мл; инкубация в течение 48 часов при температуре 37<sup>0</sup>С с последующим подтверждающим с питательным агаром культивированием в чашке Петри.

**Таблица 1.** Результаты исследования эффективности образца  
2-бромо-5Н-6-пара(толил) имидазо [2,1-*b*]-[1,3,4] тиадиазол №1

| Раствори<br>мость<br>соединени<br>я | Salmonella               |                        | Staphylococcus              |                           | Escherichia coli            |                           | Bac. anthracis              |                        |
|-------------------------------------|--------------------------|------------------------|-----------------------------|---------------------------|-----------------------------|---------------------------|-----------------------------|------------------------|
|                                     | МБсК<br>В образцы<br>МПБ | МБцК<br>В чашка<br>МПА | МБсК<br>В<br>образцы<br>МПБ | МБцК<br>В<br>чашка<br>МПА | МБсК<br>В<br>образцы<br>МПБ | МБцК<br>В<br>чашка<br>МПА | МБсК<br>В<br>образцы<br>МПБ | МБцК<br>В чашка<br>МПА |
| 1:2                                 | +                        | -                      | -                           | -                         | -                           | -                         | -                           | -                      |
| 1:4                                 | -                        | -                      | -                           | -                         | -                           | -                         | -                           | -                      |
| 1:8                                 | -                        | -                      | -                           | -                         | -                           | -                         | -                           | -                      |
| 1:16                                | -                        | -                      | -                           | -                         | -                           | -                         | -                           | -                      |
| 1:32                                | -                        | -                      | -                           | -                         | -                           | -                         | -                           | -                      |
| 1:64                                | -                        | -                      | -                           | -                         | -                           | -                         | -                           | -                      |
| 1:128                               | +                        | +                      | -                           | -                         | -                           | -                         | -                           | -                      |
| 1:256                               | +                        | +                      | -                           | -                         | -                           | -                         | -                           | -                      |

**Таблица 2.** Результаты исследования эффективности образца 2-метилтиоэтил-  
5Н-6-пара (толил) имидазо [2,1-*b*]-[1,3,4] тиадиазол №2

| Растворимость<br>соединение | Salmonella               |                        | Staphylococcus              |                        | Escherichia coli            |                           | Bac. anthracis              |                        |
|-----------------------------|--------------------------|------------------------|-----------------------------|------------------------|-----------------------------|---------------------------|-----------------------------|------------------------|
|                             | МБсК<br>В образцы<br>МПБ | МБцК<br>В чашка<br>МПА | МБсК<br>В<br>образцы<br>МПБ | МБцК<br>В чашка<br>МПА | МБсК<br>В<br>образцы<br>МПБ | МБцК<br>В<br>чашка<br>МПА | МБсК<br>В<br>образцы<br>МПБ | МБцК<br>В чашка<br>МПА |
| 1:2                         | +                        | -                      | -                           | -                      | -                           | -                         | -                           | -                      |
| 1:4                         | -                        | -                      | -                           | -                      | -                           | -                         | -                           | -                      |
| 1:8                         | -                        | -                      | -                           | -                      | -                           | -                         | -                           | -                      |
| 1:16                        | -                        | -                      | -                           | -                      | -                           | -                         | -                           | -                      |
| 1:32                        | -                        | -                      | -                           | -                      | -                           | -                         | -                           | -                      |
| 1:64                        | -                        | -                      | -                           | -                      | -                           | -                         | -                           | -                      |
| 1:128                       | +                        | +                      | -                           | -                      | -                           | -                         | -                           | -                      |
| 1:256                       | +                        | +                      | -                           | -                      | -                           | -                         | -                           | -                      |

**Таблица 3.** Результаты исследования эффективности образца 2-метиламин-5Н-6-пара(толил) имидазо [2,1-*b*]-[1,3,4] тиадиазол № 3

| Растворимость<br>соединение | Salmonella            |                     | Staphylococcus        |                     | Escherichia coli      |                     | Bac. antracis         |                     |
|-----------------------------|-----------------------|---------------------|-----------------------|---------------------|-----------------------|---------------------|-----------------------|---------------------|
|                             | МБсК<br>В образцы МПБ | МБцК<br>В чашка МПА | МБсК<br>В образцы МПБ | МБцК<br>В чашка МПА | МБсК<br>В образцы МПБ | МБцК<br>В чашка МПА | МБсК<br>В образцы МПБ | МБцК<br>В чашка МПА |
| 1:2                         | +                     | -                   | -                     | -                   | -                     | -                   | -                     | -                   |
| 1:4                         | -                     | -                   | -                     | -                   | -                     | -                   | -                     | -                   |
| 1:8                         | -                     | -                   | -                     | -                   | -                     | -                   | -                     | -                   |
| 1:16                        | -                     | -                   | -                     | -                   | -                     | -                   | -                     | -                   |
| 1:32                        | -                     | -                   | -                     | -                   | -                     | -                   | -                     | -                   |
| 1:64                        | -                     | -                   | -                     | -                   | -                     | -                   | -                     | -                   |
| 1:128                       | +                     | +                   | -                     | -                   | -                     | -                   | -                     | -                   |
| 1:256                       | +                     | +                   | -                     | -                   | -                     | -                   | -                     | -                   |

#### 4. Выводы

Экспериментальный анализ показывает, что тестовые значения различаются по чувствительности к влиянию компонентов. Сравнительно активную чувствительность в таких условиях показали тест-микробы с соединениями 2 и 3. В разбавленных растворах от 1:2 до 1:256 эти соединения оказывали высокий бактериостатический и бактерицидный эффект.

#### Литература

1. Hemal Bhuvaa, Dipansu Saha, Biren. Shaha, Dixit C. Modia, Mandev B. Patelb. / Biological Profile of Thiadiazole // Pharmacologyonline, 2011. – V.1. – P. 528-543.
2. Arvind K. Singh. Review on Biological Activities of 1,3,4-Thiadiazole Derivatives / Arvind k. Singh, Geeta Mishra and Kshitiz Jyoti // Journal of Applied Pharmaceutical Science, 2011. – V.01 (05). – P. 44-49.
3. Shankar Gaddeppa Alegaon. Synthesis, characterization and antimicrobial activity evaluation of new imidazo[2,1-*b*][1,3,4]thiadiazole derivatives / Shankar Gaddeppa Alegaon, Kallanagouda Ramappa Alagawadi // European Journal of Chemistry, 2011. – V. 2 (1). – P. 94-99.
4. Bhoomendra A. Bhongade. Biological activities of imidazo[2,1-*b*][1,3,4]thiadiazole derivatives: A review / Bhoomendra A. Bhongade, Sirajunisa Talath, Ravikiran A. Gadad, Andanappa K. Gadad // J. of Saudi Chemical Society. -2013. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jscs.2013.01.010>. – P. 1-13.
5. Tokunaga Y., Kojima Y., Maeno S.I., Sawai N., Saso Y. (To Kumiai Chemical Industry Co., Ltd., Japan; Ihara Chemical Industry Co., Ltd.)// Eur. Pat. Appl., 1987, 52 pp. CODEN: EPXXDW EP 238059 A2 1987092.Chem Abstr 1988, 108, 75418.

6. Juszczak M. Evaluation of the antiproliferative activity of 2-(monohalogenophenylamino)-5-(2, 4-dihydroxyphenyl)-1, 3, 4-thiadiazoles / Juszczak M., Matysiak J., Brzana W., Niewiadomy A., Rzeski W // *Arzneimittelforschung*. -2008. -V.58(7). - P. 353–357.
7. Rohit Bhatia. Synthesis, spectral studies and antimicrobial activity of some imidazo[2,1-b][1,3,4]thiadiazole derivatives / Rohit Bhatia, Amandeep Kaur // *Department of Pharmaceutical Chemistry, ASBASJSM College of Pharmacy, Bela (Ropar), 2014, No. 6 (6). Pp. 114-120.*

УДК 669.21

## ОКИСЛИТЕЛЬНЫЙ ОБЖИГ ЗОЛОТОСОДЕРЖАЩЕЙ РУДЫ В СМЕСИ ЛИМОННОЙ КИСЛОТЫ И СУЛЬФИДОМ – ТИОСУЛЬФАТНОЕ ВЫЩЕЛАЧИВАНИЕ ОГАРКА

Шокиров А.А.<sup>1</sup>, Хотами Ш.Х.<sup>1</sup>, Бобоев И.Р.<sup>2</sup>

<sup>1</sup>*Филиал Московского государственного университета  
имени М.В. Ломоносова в городе Душанбе*

<sup>2</sup>*Филиал Национального исследовательского технологического  
университета «МИСИС» в городе Душанбе  
(г. Душанбе, Республика Таджикистан)*

**Аннотация.** В работе опробован традиционный метод кондиционирования упорных золотосодержащих руд. Новизна работы заключается в том, что руда предварительно смешивалась с лимонной кислотой для повышения эффективности обжига. Результаты показали, что при дозировке лимонной кислоты на уровне 2 %, температуре – 600°C и продолжительности 60 мин, извлечение золота при последующем выщелачивании огарка достигает 89 %. Также установлено, что ЛК и продукты его разложения CO<sub>2</sub> и H<sub>2</sub>O вызывают образование нестабильных промежуточных продуктов при 100°C, таких как FeCO<sub>3</sub>, FeC<sub>21</sub>H<sub>21</sub>O<sub>7</sub> и FeOOH. Разложение этих промежуточных продуктов при более высоких температурах приводит к быстрому образованию слоя гематита с развитыми порами при 300°C, что обеспечивает больше каналов диффузии для SO<sub>2</sub> и O<sub>2</sub>, образуя пористые частицы гематита, похожие на кораллы. При 500°C как количество пор, так и их размер увеличивается.

**Ключевые слова:** золото, руда, окислительный обжиг, лимонная кислота, сульфидно-тиосульфатное выщелачивание, извлечение.

## EFFECT OF ROASTING OF GOLD-BEARING ORE WITH THE CITRIC ACID ADD ON THE SULFIDE-THIOSULFATE LEACH PROCESS

A.A. Shokirov<sup>1</sup>, Sh.H. Hotami<sup>1</sup>, I.R. Boboev<sup>2</sup>

<sup>1</sup>*Lomonosov Moscow State University in Dushanbe*

<sup>2</sup>*Branch of the National Research Technological University «MISIS» in Dushanbe  
(Dushanbe, Tajikistan)*

**Annotation.** The work tested the traditional method of conditioning refractory gold-bearing ores. The novelty lies in the fact that the ore was pre-mixed with citric acid to increase the roasting efficiency. The results showed that with a dosage of citric acid at 2%, a temperature of 600 ° C and a time process of 60 minutes, gold recovery from the cinder by sulfide-thiisufate reaches 89%. It has

*also been found that CA and its decomposition products  $\text{CO}_2$  and  $\text{H}_2\text{O}$  cause the formation of unstable intermediates at 100 °C, such as  $\text{FeCO}_3$ ,  $\text{FeC}_{21}\text{H}_{21}\text{O}_7$  and  $\text{FeOOH}$ . The decomposition of these intermediates at higher temperatures leads to the rapid formation of a hematite layer with developed pores at 300 °C, which provides more diffusion channels for  $\text{SO}_2$  and  $\text{O}_2$ , forming porous hematite particles similar to corals. At 500 °C, both the number of pores and their size increase.*

**Keywords:** gold, ore, roasting, citric acid, sulfide-thiosulfate leaching, recovery.

Сложное залегание золота в рудах затрудняет его эффективный контакт с растворителями даже после мелкого измельчения, что приводит к низкой степени извлечения, составляющей всего 10 % [1]. В таком случае эффективный метод кондиционирования является ключом к высокой степени извлечения золота [2, 3]. Известны различные методы кондиционирования, включая окислительный обжиг [2-5], биоокисление [2, 3], автоклавное окисление [2, 3] и химическое окисление [2, 3].

Окислительный обжиг эффективно разлагает сульфидные минералы, раскрывает доступ к тонкодисперсному золоту для растворителя [4-6]. Обширные исследования показывают, что удаление мышьяка и серы путём окисления в процессе обжига и увеличение размера пор огарка могут значительно улучшить вскрытие и извлечение золота [4-6]. Более того, фазовый переход золотосодержащих сульфидов тесно связан с температурой, атмосферными газами и добавками. Одним из известных добавок, позволяющий повысить эффективность процесса обжига является уксусная кислота (УК) [7]. УК увеличивает удаление серы или окислительное растворение железа в пирите [7-9].

В настоящей работе изучалось повышение эффективности обжига с использованием лимонной кислоты (ЛК) при извлечении золота из руд ( $\text{Au} - 5.1$  г/т) путем выщелачивания сульфидом/тиосульфатом (при постоянстве следующих условий: известково-серосинтетический раствор – 4%,  $\text{CuSO}_4 - 0.06$  моль/л,  $\text{NH}_4\text{OH} - 1$  моль/л,  $\text{Na}_2\text{SO}_3 - 0.15$  моль/л, pH - 10, Ж к Т – 3 к 1, время 4 часа).

Этапы предварительного окисления были следующими. Сначала 30 г образца руды ( $-75$  мкм, 100%) и УК в определенной начальной концентрации добавляли в кварцевый тигель, тщательно перемешивали и помещали в камерную печь. После установления температуры обжига и времени выдержки образцы обжигали в воздушной атмосфере. Затем огарки охлаждали и подвергли выщелачиванию. После выщелачивания содержание золота в твёрдом остатке определяли с помощью оптического эмиссионного спектрометра с индуктивно связанной плазмой (ICP-OES).

В этом контексте анализировалось фазовое превращение, характеристика микроструктуры и поведение термического разложения твёрдых веществ после обжига.

Результаты по оптимизации показывают (рис. 1), что извлечение золота значительно увеличивается с увеличением концентрации ЛК – 2 %, температуры печи - 500°C и продолжительности обжига – 60 мин (в воздушной среде), достигая максимума – 87.7 %.

Сравнительные исследования показали, что извлечение значительно выше с ЛК, чем без ЛК при температурах обжига ниже 300°C. Фазовый переход золотосодержащего пирита контролируется в основном температурой без ЛК, что приводит к поверхностному окислению при 300°C, со значительным окислением при 400 °C и полной трансформацией в Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> и SO<sub>2</sub> при температурах выше 500°C.

Также было изучено влияние температуры (табл. 1) и продолжительности (табл. 2) обжига на извлечении золота при последующем выщелачивании огарка.

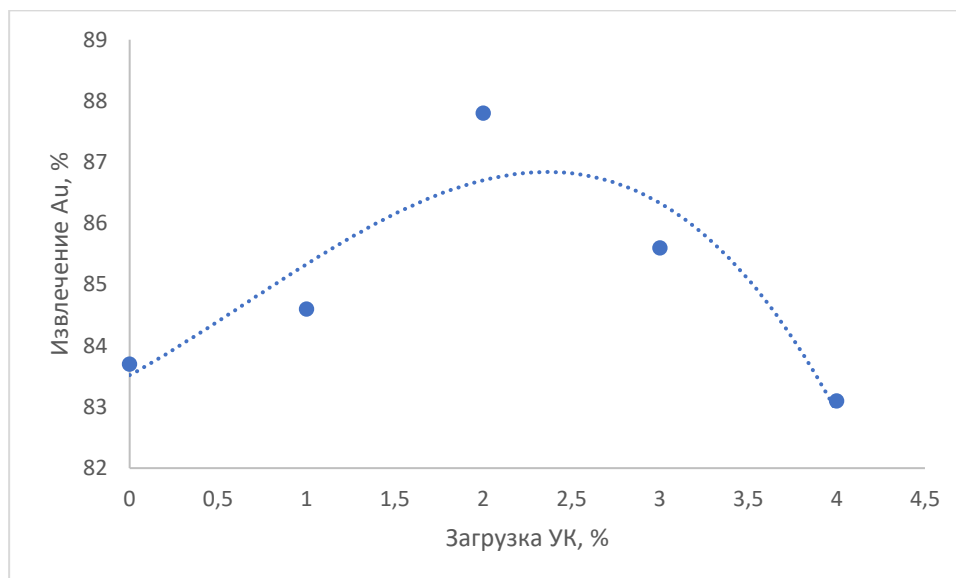


**Рисунок 1.** Влияние концентрации ЛК в процессе обжига на извлечение золота при последующем выщелачивании огарка

**Таблица 1.** Влияние температуры обжига на извлечение золота при последующем выщелачивании огарка

| №                                 | Температура, °C | Извлечение Au, % |            |
|-----------------------------------|-----------------|------------------|------------|
|                                   |                 | обжиг            | обжиг с ЛК |
| 1                                 | 100             | 21               | 26         |
| 2                                 | 200             | 26               | 38         |
| 3                                 | 300             | 27               | 61         |
| 4                                 | 400             | 73               | 75         |
| 5                                 | 500             | 82               | 89         |
| 6                                 | 600             | 78               | 84         |
| Продолжительность обжига – 60 мин |                 |                  |            |

**Таблица 2.** Влияние продолжительности обжига на извлечение золота при последующем выщелачивании огарка

| №                            | время | извлечение Au, % |            |
|------------------------------|-------|------------------|------------|
|                              |       | обжиг            | обжиг с ЛК |
| 7                            | 20    | 66               | 78         |
| 8                            | 40    | 78               | 79         |
| 9                            | 60    | 83               | 89         |
| 10                           | 80    | 81               | 84         |
| 11                           | 100   | 82               | 83         |
| температура обжига – 500 °C. |       |                  |            |

Интересно, что ЛК и продукты его разложения  $\text{CO}_2$  и  $\text{H}_2\text{O}$  вызывают образование нестабильных промежуточных продуктов при  $100^\circ\text{C}$ , таких как  $\text{FeCO}_3$ ,  $\text{FeC}_{21}\text{H}_{21}\text{O}_7$  и  $\text{FeOOH}$ . Разложение этих промежуточных продуктов при более высоких температурах приводит к быстрому образованию слоя гематита с развитыми порами при  $300^\circ\text{C}$  (рис. 2 а), что обеспечивает больше каналов диффузии для  $\text{SO}_2$  и  $\text{O}_2$ , образуя пористые частицы гематита, похожие на кораллы. При  $500^\circ\text{C}$  как количество пор, так и их размер увеличивается (рис. 2 б).

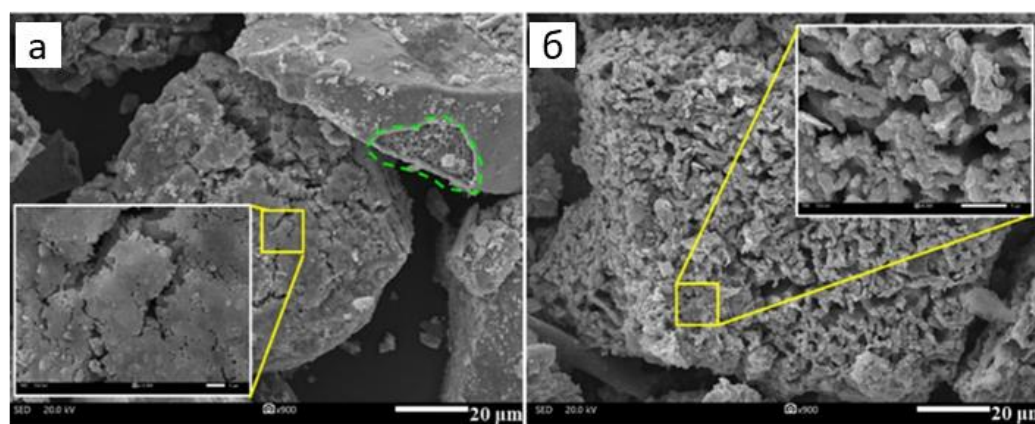


**Рисунок 2.** SEM морфология огарков

Совместное воздействие температуры и ЛК увеличивает содержание свободного золота более чем на 70%, что, в свою очередь, увеличивает извлечение золота.

Таким образом, эффективное извлечение золота из руд увеличено с 82 % (традиционный обжиг) до 89 % за счёт влияния ЛК. Данная работа даёт важное представление о процессе улучшения извлечения золота при обжиге.

### Литература

1. Peters S.G., Huang J., Huang Z., Jing C. Sedimentary rock-hosted au deposits of the Dian–Qian–Gui area, Guizhou, and Yunnan provinces, and Guangxi District. China. *Ore Geol. Rev.*, 31 (2007), pp. 170-204, 10.1016/j.oregeorev.2005.03.014
2. Лодейщиков В.В. Новые процессы и методы переработки золотосодержащих руд сложного вещественного состава /В.В. Лодейщиков, А.А. Анисимова// Сб. науч. трудов Иргиредмета. Иркутск, 1980. – С.13.
3. Гордеев Д.В., Петров Г.В., Хасанов А.В., Северинова О. . Обзор современных технологий переработки упорных золотосодержащих руд и концентратов с применением азотной кислоты // Известия Томск. политех. универ. Инжиниринг георесурсов. 2022. – Т. 333. – № 1. – С. 214-223.
4. Paktunc D., Kingston D., Pratt A., and McMullen J. Distribution of Gold in Pyrite and in Products of its Transformation Resulting from Roasting of Refractory Gold Ore //The Canadian Mineralogist, vol. 44, no. 1, 2006, pp. 213–227.
5. Толибов Б. И. Исследование процесса окислительного обжига золотосодержащих сульфидных материалов для разработки оптимального

режима // Евразийский союз учёных. Технические науки. 2020. – Т. 4. – Вып. 74. – С. 41-49.

6. Li J., Kou J., Sun C., Zhang N., Zhang H. A review of environmentally friendly gold lixiviants: fundamentals, applications, and commonalities. *Miner. Eng.*, 197 (2023), Article 108074, 10.1016/j.mineng.2023.108074.
7. Mashifana T., Mavimbela N., Sithole N. Anonymous. Kinetic study on the removal of iron from gold mine tailings by citric acid. *IOP conference series. Earth and environmental science*, 120 (2018), p. 12025, 10.1088/1755-1315/120/1/012025.
8. Peng Z., Hwang J. Microwave-assisted metallurgy// *Int. Mater. Rev.*, 60 (2014), pp. 30-63, 10.1179/1743280414Y.0000000042.
9. Liu J., Wang Z., Qiao Z., Chen W., Zheng L., Zhou J. Evaluation on the microwave-assisted chemical desulfurization for organic sulfur removal// *J. Clean. Prod.*, 267 (2020), Article 121878, 10.1016/j.jclepro.2020.121878.

УДК 551.510.413.2

## ВРЕМЕННЫЕ ВАРИАЦИИ СТРАТОСФЕРНОГО ОЗОНА В АТМОСФЕРЕ ГОРОДА ДУШАНБЕ

Абдуллозода С.Ф.<sup>1</sup>, Бобоев А.<sup>2</sup>, Файзуллозода А.<sup>2</sup>

<sup>1</sup>*Физико-технический институт имени С.У. Умарова  
Национальной академии наук Таджикистана*

<sup>2</sup>*Филиал Московского государственного университета  
имени М.В. Ломоносова в городе Душанбе*

**Аннотация.** В статье представлены результаты многолетнего мониторинга стратосферного озона над атмосферой города Душанбе. Установлено, что минимальные значения концентрации стратосферного озона в атмосфере города Душанбе значительно больше, чем его значения в случае «озоновой дыры».

**Ключевые слова:** стратосферный озон, озон атмосферы, распространение озона в атмосфере, солнечный фотометр CE-318B.

## TEMPORAL VARIATIONS OF STRATOSPHERIC OZONE IN THE ATMOSPHERE OF DUSHANBE CITY

S.F. Abdullozoda<sup>1</sup>, A. Boboev<sup>2</sup>, A. Fayzullozoda<sup>2</sup>

<sup>1</sup>*S.U. Umarov Institute of Physics and Technology  
of the National Academy of Sciences of Tajikistan*

<sup>2</sup>*Lomonosov Moscow State University in Dushanbe*

**Annotation.** The article presents the results of long-term monitoring of stratospheric ozone over the atmosphere of Dushanbe city. It is established that the minimum value of stratospheric ozone concentration in the atmosphere of Dushanbe is much higher than its value in the case of “ozone hole”.

**Keywords:** stratospheric ozone, atmospheric ozone, ozone distribution in the atmosphere, CE-318B solar photometer.

Наряду с глобальным потеплением климата, проблема охраны озонового слоя является сегодня самой актуальной для человечества. Для её решения требуются серьезные усилия всех стран. Проблема озонового слоя возникла, когда было обнаружено уменьшения его концентрации над Антарктикой в октябре 1981 года (рис.1). Учитывая этот факт, в 1994 году Генеральная Ассамблея ООН провозгласила 16 сентября Международным Днем охраны озонового слоя. В этот день в 1987 г. был принят Монреальский протокол «По веществам, разрушающим озоновый слой» Венской конвенции «Об охране озонового слоя» (Вена, 1985). По состоянию на сентябрь 2011 г., 196 государств-членов ООН ратифицировали первоначальную версию Монреальского протокола. Протокол определяет мероприятия и сроки, в которые развитым и развивающимся странам необходимо уменьшить и прекратить производство, потребление, импорт и экспорт, установленных в его приложениях веществ, разрушающих озоновый слой (всего 96 веществ), а также сроки, в какие необходимо провести изъятие этих веществ из хозяйственного оборота. С 21 по

30 сентября 2006г. отмечалась самая большая со времени начала наблюдений область распространения озоновой дыры(рис.1). Выражение «дыра» весьма условно, так как во втором слое атмосферы на высоте 8–50 км нет ни одного участка, лишённого озона. Этот термин применяется для обозначения области, в которой концентрация озона падает ниже 220DE(единиц Добсона). Исторически уровень озона был намного выше, так что это огромная потеря.

Озон – природный газ, присутствующий в атмосфере Земли. В нижних слоях атмосферы, тропосфере (тропосферный озон) находится 10% озона, между земной поверхностью и высотой от 10 до 16км. В стратосфере (стратосферный озон), начиная с верхних слоев тропосферы и до высоты 50 километров находится 90% озона. Необходимо отметить, что вклад тропосферного озона в глобальные потепления климата составляет 25% от вклада CO<sub>2</sub> а стратосферного озона - нулевая. При уменьшении содержания стратосферного озона в атмосфере можно ожидать непредсказуемые катастрофы в экосистеме планеты.

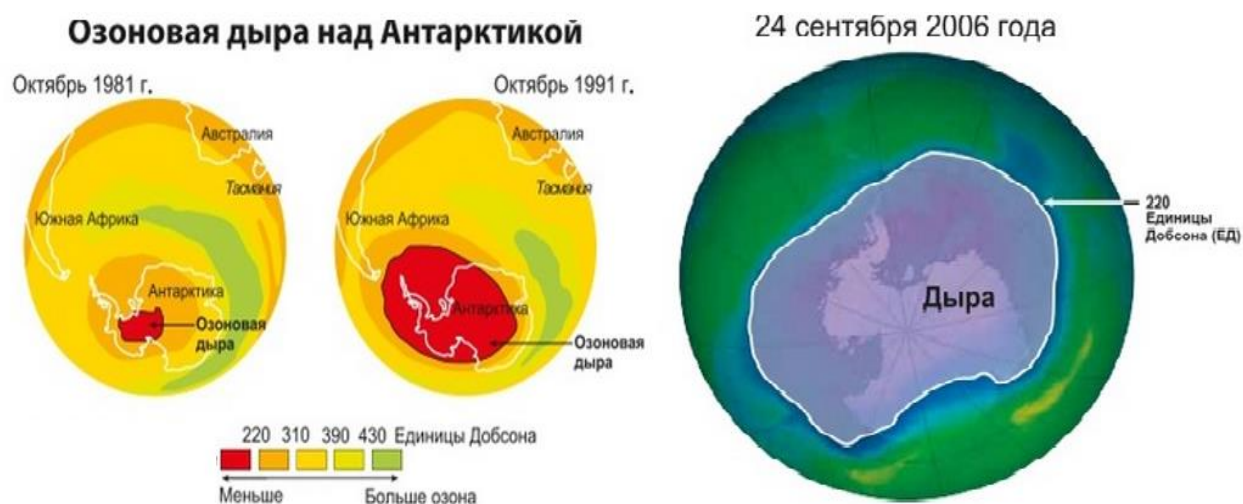


**Рисунок 1.** Содержание озона в вертикальном столбе атмосферы (среднемесячные значения).

База данных НУОА (Национальное управление океанических и атмосферных исследований США), с использованием спектрометрической аппаратуры озонового зондирования позволяет определить динамику изменения среднегодовой площади озоновой дыры (рис. 2). Видно, что площадь озоновый дыры была максимально мала в 1988, 1993, 2002 и 2004 годы. Максимальное увеличение площади озоновой дыры обнаружено в 1996, 1998. 2001, 2003 и 2006 годы. В период с 1980- 200 8гг. обнаружено максимальное значение увеличения площади озоновой дыры в 2006 г.

Известно, что стратосферный озоновый слой предохраняет Землю от ультрафиолетового излучения. Повышенная доза УФ опасна для всей биосферы, для всего живого, так как приводит к заболеваниям кожи, повреждению глаз и ослаблению иммунной системы. Кроме того, ультрафиолетовое излучение опасно для планктона, гибель которого повлечет за собой вымирание питающихся им морских животных.

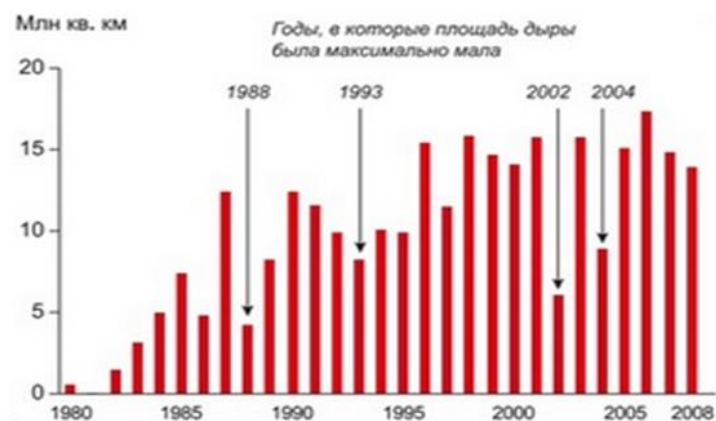


**Рисунок 2.** Среднегодовая площадь озоновой дыры по результатам измерений с использованием спектрометрической аппаратуры.

Ученые обнаружили, что в результате деятельности человека истощается защитный озоновый слой в атмосфере Земли. Это факт помог мобилизовать общественную поддержку для осуществления Монреальского протокола.

В лаборатории физики атмосферы ФТИ им.С.У.Умарова НАНТ мониторинг стратосферного озона проводится с июля 2010 года с использованием солнечного фотометра CE-318В (Франция).

На рис. 3, представлена динамика изменения среднемесячных концентраций озона в атмосфере города Душанбе за период 2010-2021 гг.

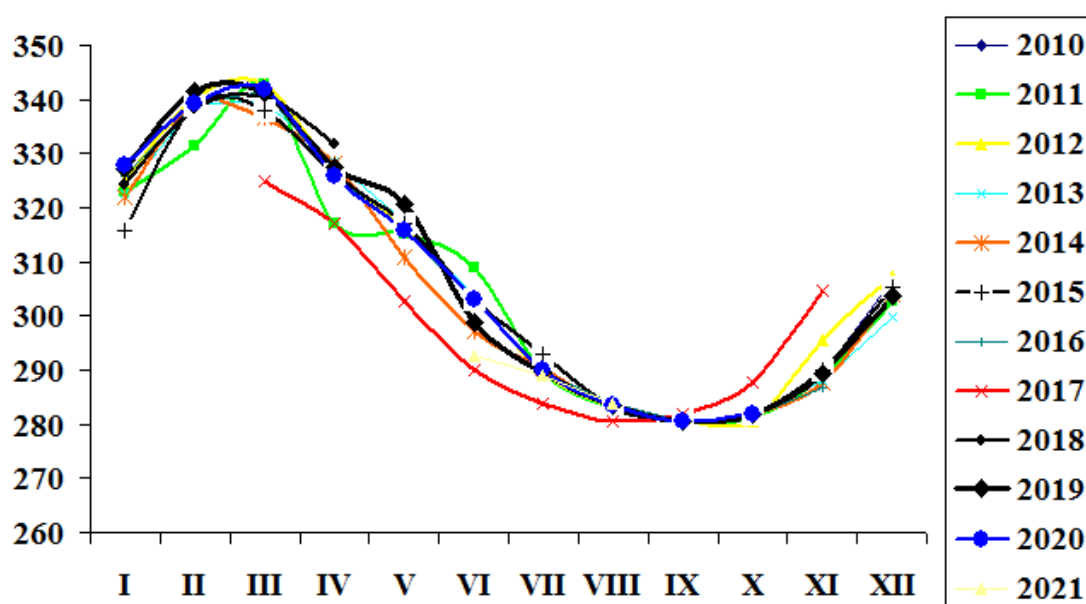


**Рисунок 3.** Среднемесячные значения концентрации озона за период 2010- 2021.

Годовой ход концентрации стратосферного озона имеет максимумы в феврале и марте месяцев, период образования озона и минимумы - в августе, сентябре и октябре. Как видно, после марта происходит монотонный спад значения концентрации стратосферного озона до сентября, затем монотонный рост в январе, а в феврале и марте достигает максимума. Максимальное среднемесячное значение концентрации достигает 345 ДЕ, а минимальное

уменьшается до 280 ДЕ, что значительно больше, чем значения в условиях где можно говорить о «озоновой дыре» («озоновая дыра»- значения концентрации стратосферного озона меньше 200 ДЕ»).

На рисунке 4 представлены среднесезонные изменения концентрации озона за период 2010- 2021 гг.

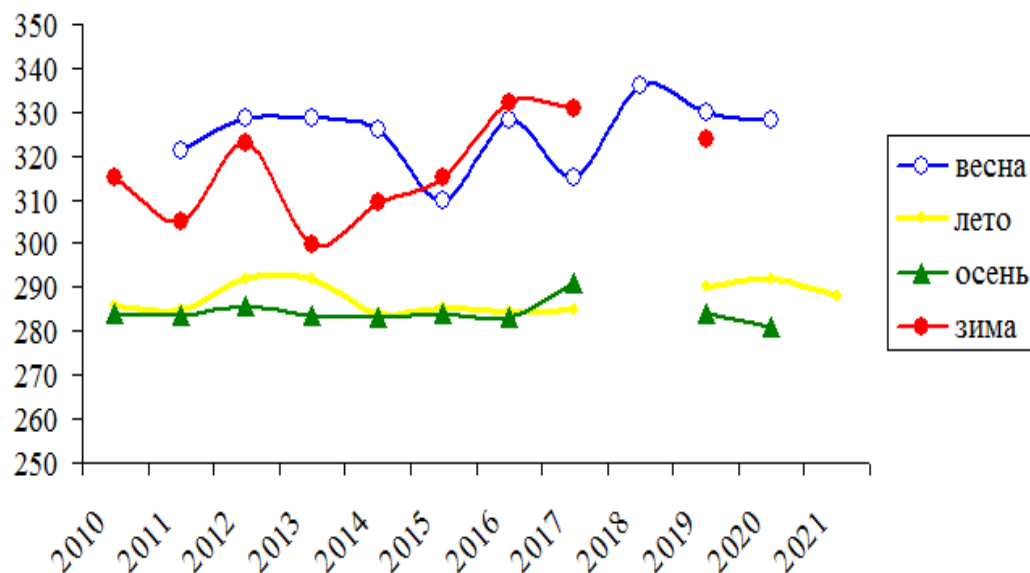


**Рисунок 4.** Среднесезонные изменения концентрации озона за период 2010- 2021 гг

Таким образом, результаты мониторинга среднесезонных вариаций концентрации озона указывают на высокие значения весной и зимой, минимальные установлены летом и осенью.

### Литература

1. Хргиан А.Х. Физика атмосферного озона // Л.: Гидрометеиздат, 1973. 292 с.
2. Маслов В.А. Назаров Б.И., Абдуллаев С.Ф. Влияние изменение концентрации аэрозоля на прозрачность атмосферы // Доклады АН РТ. 2007. – Т.50. – №3. – С.241-247.
3. Белан Б.Д. Тропосферный озон. 1. Свойства и роль в природных и техногенных процессах // Оптика атмосф. и океана. 2008. – Т. 21. – № 4. – С. 299-322.
4. Белан Б.Д. Тропосферный озон. 3. Содержание озона в тропосфере. Механизмы и факторы, его определяющие // Оптика атмосф. и океана. 2008. – Т. 21. – № 7. – С. 600-618.
5. Белан Б.Д. Тропосферный озон. Стоки озона в атмосфере // Оптика атмосф. и океана. 2010. – Т. 23. – № 2. – С. 108–126.
6. Белан Б.Д. Озон в тропосфере// Томск. Изд. ИОА СО РАН. – 2010. – 488 с.

## **СОСТАВ, СТРОЕНИЕ И СВОЙСТВА ЛЁССОВЫХ ГРУНТОВ ВЕРХНЕЧЕТВЕРТИЧНОГО КОМПЛЕКСА ВЕРХНЕЙ ЧАСТИ РАЗРЕЗА В РАЙОНЕ СЕЛА ШУРОБИ ИСКАНДАР (ГИССАРСКИЙ РАЙОН)**

**Алиев А.Ш.<sup>1</sup>, Магдиев М.М.<sup>2</sup>**

**<sup>1</sup>Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова  
(г. Москва, Российская Федерация)**

**<sup>2</sup>Филиал Московского государственного университета  
имени М.В. Ломоносова в городе Душанбе  
(г. Душанбе, Республика Таджикистан)**

**Аннотация.** В исследовании изучена зависимость состава, строения и свойств лёссовых грунтов верхнечетвертичного комплекса верхней части разреза в районе села Шуроби Искандар (Гиссарский район) от их физико-механических параметров: прочности на одноосное сжатие, набухаемости и усадочности. Основной целью работы стало установление взаимосвязи между ключевыми характеристиками грунтов (влажность, плотность, гранулометрический состав, пористость) и их деформационно-прочностным поведением, что необходимо для прогнозирования устойчивости лёссовых толщ в условиях природных и антропогенных воздействий. В ходе работы проведены полевые исследования, отбор образцов и лабораторные испытания, включая определение гранулометрического состава, влажности, плотности, пористости, а также тесты на одноосное сжатие, набухание и усадку. Рассмотрены факторы, влияющие на прочность на одноосное сжатие, набухаемость и усадочность. Изучены закономерности между вышеперечисленными показателями. Полученные данные позволяют уточнить критерии классификации лёссовых грунтов и разработать рекомендации по минимизации рисков и деформаций при строительстве в исследуемом регионе.

**Ключевые слова:** лёссовые грунты, верхнечетвертичный комплекс, одноосное сжатие, набухаемость, усадочность, гранулометрический состав, пористость, влажность.

## **THE COMPOSITION, STRUCTURE, AND PROPERTIES OF LOESS SOILS OF THE UPPER QUATERNARY COMPLEX IN THE UPPER SECTION IN THE AREA OF SHUROBI ISKANDAR VILLAGE (GHISSAR DISTRICT)**

**A. Sh. Aliev<sup>1</sup>, M.M. Magdiev<sup>2</sup>**

**<sup>1</sup>Lomonosov Moscow State University  
(Moscow, Russia)**

**<sup>2</sup>Lomonosov Moscow State University in Dushanbe  
(Dushanbe, Tajikistan)**

**Annotation.** This study investigates the dependence of the composition, structure, and properties of loess soils of the Upper Quaternary complex in the upper section in the area of Shurobi Iskandar village (Ghissar District) on their physical-mechanical parameters: uniaxial compressive strength, swelling, and shrinkage. The main objective of the research is to establish the relationship between key soil characteristics (moisture content, density, grain-size distribution, porosity) and their deformation-strength behavior, which is crucial for predicting the stability of loess deposits under natural and anthropogenic influences. The study includes field investigations, sample collection, and laboratory testing, including the determination of grain-size composition, moisture content, density, porosity, as well as tests for uniaxial compression, swelling, and shrinkage. Factors affecting uniaxial compressive strength, swelling, and shrinkage are analyzed, and relationships between these

*parameters are identified. The obtained data refine the classification criteria of loess soils and provide recommendations for minimizing risks and deformations during construction in the study region.*

**Keywords:** *loess soils, Upper Quaternary complex, uniaxial compression, swelling, shrinkage, grain-size composition, porosity, moisture content.*

## **Введение**

Каждый регион сталкивается с уникальными геологическими рисками, усиливающимися со временем и антропогенной деятельностью. В Таджикистане ключевые угрозы — сейсмичность, оползни, сели и распространение лёссовых грунтов. Для снижения этих рисков и повышения качества строительства критически важно изучать состав, структуру и свойства лёссов. Эти грунты покрывают около 70% территории страны, служа основанием для жилых, промышленных объектов и инфраструктуры, где сосредоточена основная часть населения и экономики.

Проблема проектирования на лёссах остаётся актуальной из-за их слабой изученности, особенно верхнечетвертичных толщ в центральном Таджикистане. Точное определение физико-механических характеристик (прочность, деформативность, влажность) необходимо для выбора надёжных фундаментов и минимизации просадок. Данное исследование направлено на повышение точности оценки этих параметров, что позволит оптимизировать строительные решения и снизить риски аварийности сооружений в лёссовых районах.

Актуальность исследования обусловлена необходимостью установления количественных взаимосвязей между составом, структурными особенностями лёссовых грунтов и их деформационно-прочностными характеристиками. Такие параметры, как влажность, плотность, гранулометрический состав и пористость, напрямую определяют поведение грунтов при одноосном сжатии, а также их склонность к набуханию и усадке [3].

## **Характеристика объекта**

Объектом исследования являются грунты, отобранные из верхнечетвертичного комплекса верхней части разреза в районе села Шуроби Искандар (Гиссарский район). Для исследований были отобраны 5 образцов (монолитов) лёссовых грунтов в 10 км к западу от города Душанбе. Границами участка являются: с юга — автодорога Душанбе-Турсунзаде, с севера — кирпичный завод, с запада — заправка Газпромнефть, с востока — населенный пункт «Вахдат».

Территория представляет собой открытое обнажение, на поверхности которого наблюдается растительность. Также следует отметить, что обнажение представлено лёссовидными грунтами, и эти грунты служат для местного населения строительным материалом — используются для изготовления сырых кирпичей. Образцы грунта природного сложения (монолиты) размером примерно 20x20x20 см, что соответствует требованиям ГОСТ 12071-2014, отобраны из защищенных стенок открытого обнажения (разреза лёссовых грунтов) с глубин 2, 3, 5, 7.5 и 11 м. Мощность почвенно-растительного слоя составляет 13-15 см, слоистость толщи не наблюдается.

### Методика исследований

Все исследования проводились в лаборатории по методикам, указанным в лабораторном практикуме по грунтоведению [4, 5].

### Результаты исследований

Между составом, строением и свойствами грунтов существует связь. Изучение таких зависимостей между показателями позволяет понять причины тех или иных закономерностей. Причем одни показатели влияют на другие более чем остальные. Ниже мы рассмотрим влияние некоторых отдельных показателей на набухаемость, усадочность и прочность на одноосное сжатие.

Набухание зависит от внешних и внутренних факторов [1, 2]. К внешним факторам относятся температура и давление, к внутренним факторам относятся минеральный состав, гранулометрический состав, плотность, влажность, пористость, структурно- текстурные особенности, состав и концентрация порового раствора, обменные катионы.

Результаты всех лабораторных исследований приведены в таблице 1.

**Таблица 1.** Состав, строение и свойства лессовых грунтов

| Глубина (Н), м | Влажность (W), % | Плотность грунта ( $\rho$ ), г/см <sup>3</sup> | Плотность твёрдых частиц ( $\rho_s$ ), г/см <sup>3</sup> | Пористость (n), % | Коэффициент пористости (e), д.ед. | Содержания песчаных частиц, % | Содержания пылеватых частиц, % | Содержания глинистых частиц, % | Степень набухания, % | Параметры усадки по объему, д.ед. | Прочность на одноосное сжатие ( $R_c$ ), МПа |
|----------------|------------------|------------------------------------------------|----------------------------------------------------------|-------------------|-----------------------------------|-------------------------------|--------------------------------|--------------------------------|----------------------|-----------------------------------|----------------------------------------------|
| 2.0            | 10.8             | 1.42                                           | 2.71                                                     | 52.3              | 1.1                               | 20.6                          | 69.6                           | 9.8                            | 21.5                 | 0.08                              | 0.5                                          |
| 3.0            | 6.6              | 1.54                                           | 2.75                                                     | 48.9              | 1.0                               | 22.1                          | 66.2                           | 11.7                           | 21.1                 | 0.09                              | 0.8                                          |
| 5.0            | 6.2              | 1.57                                           | 2.67                                                     | 46.8              | 0.9                               | 14.0                          | 71.8                           | 14.2                           | 31.6                 | 0.03                              | 1.3                                          |
| 7.5            | 3.6              | 1.59                                           | 2.68                                                     | 44.5              | 0.8                               | 14.9                          | 71.1                           | 14.0                           | 30.5                 | 0.05                              | 1.3                                          |
| 11.0           | 6.1              | 1.66                                           | 2.71                                                     | 44.4              | 0.8                               | 8.6                           | 77.3                           | 14.1                           | 22.4                 | 0.08                              | 3.0                                          |

Из рисунка 1 видно, что при увеличении пылеватых и в частности, глинистых частиц, степень набухания закономерно увеличивается. У пылеватых и глинистых частиц большая удельная поверхность и ионная активность, в результате чего они способны поглощать больше воды.

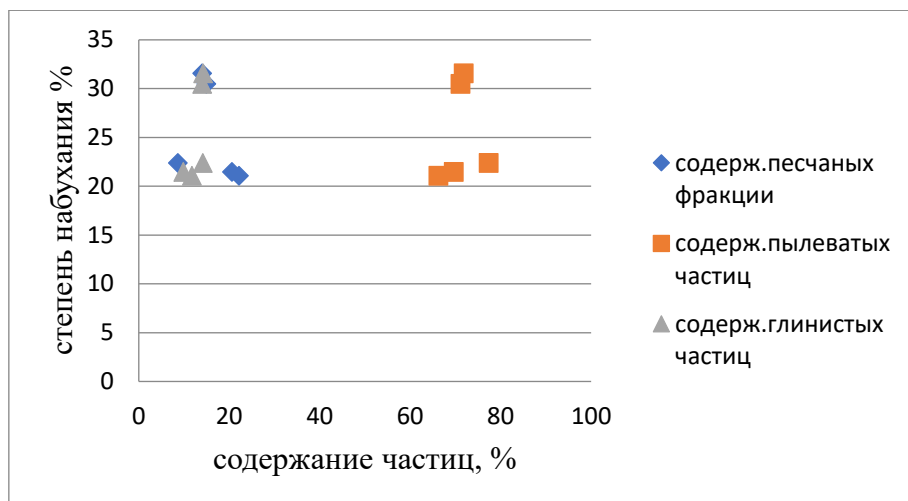


**Рисунок 1.** Зависимость степени набухания от содержания песчаных, пылеватых и глинистых частиц для суглинков

Единственный вопрос вызывает последний образец, отобранный с глубины 11 м, т.к. при содержании глинистых частиц 14.1% имеет степень набухания 22.4%, что намного меньше, чем образцы отобранные с глубин 5.0-7.5 м (31.6-30.5%) при тех же содержаниях глинистых частиц, возможно здесь ещё влияет фактор плотности. При увеличении плотности степень набухания уменьшается, а у последнего образца плотность максимальная.

Усадочность — это обратный процесс набуханию. И так же, как и набухание зависит от внешних и внутренних факторов (минеральный состав, грансостав, плотность и т.д.). Из рисунка 2 видно, что при увеличении песчаных частиц у 1 и 2 образца (20.6-22.1%), параметры усадки увеличиваются (0.08-0.09) за исключением последнего образца, где содержание песчаных частиц очень низкое (8.6%). Тут скорее всего, большую роль играет естественная влажность, т.к. большую усадочность имеют грунты с относительно высокой естественной влажностью.

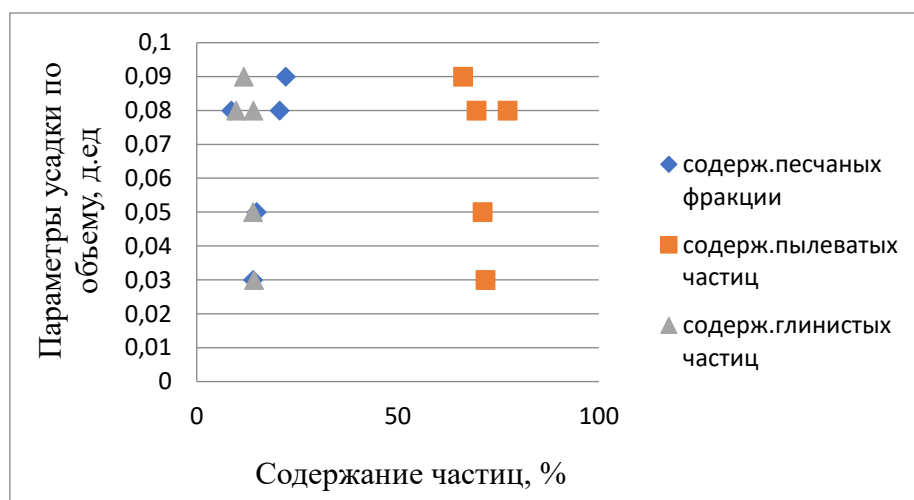


**Рисунок 2.** Зависимость параметров усадки от содержания песчаных, пылеватых и глинистых частиц для суглинков

Прочность на одноосное сжатие глинистых грунтов зависит от минерального состава, структурно-текстурных особенностей, плотности, пористости, влажности и консистенции (рис. 3).

Из рисунка 4 видно, что при увеличении плотности также увеличивается прочность. Плотность характеризует степень упаковки и структурно-пространственное размещение частиц грунта, поэтому чем выше плотность, тем выше прочность.

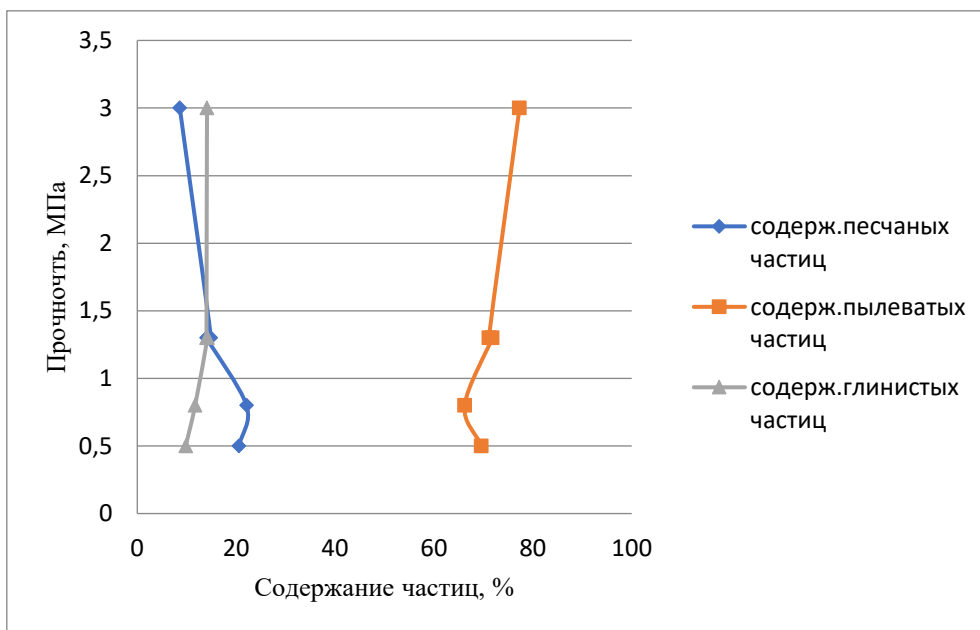


**Рисунок 3.** Зависимость прочности на одноосное сжатие от содержания частиц для суглинков

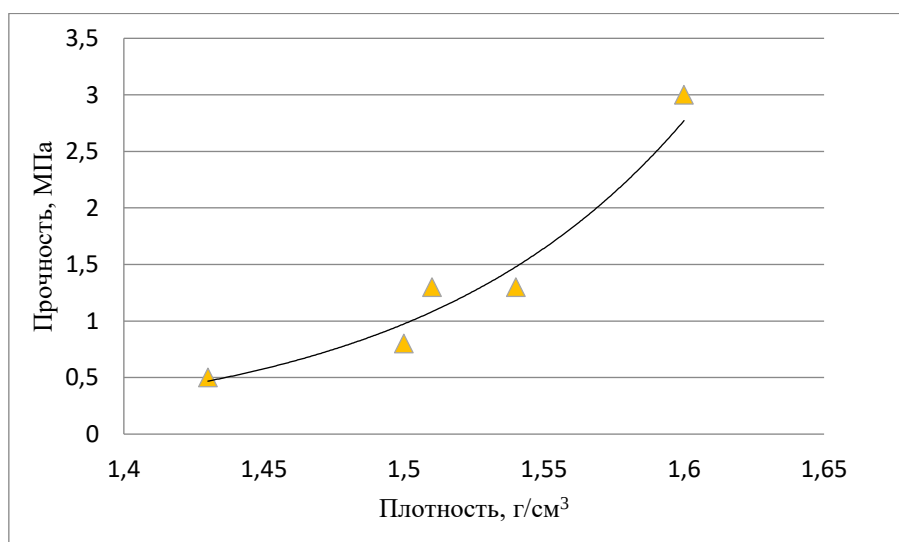


**Рисунок 4.** Зависимость прочности на одноосное сжатие от плотности для суглинков

Анализ рисунка 5 показывает, что при уменьшении пористости, прочность увеличивается. Плотность и пористость, эти понятия противоположные, если

плотность характеризует степень упаковки частиц, то пористость характеризует степень пустотности. Поэтому, чем ниже пористость, тем выше прочность.

Плотность твёрдых частиц характеризует минеральный состав грунтов, т.е. по логике чем выше плотность твёрдых частиц, тем выше должна быть прочность, но в нашем случае нет четкой закономерности, т.к. у грунтов (рис. 6), у которых плотность твёрдых частиц ниже (грунты с глубин 5.0 и 7.5 м), прочность выше. Возможно, это связано с тем, что плотность твёрдых частиц у грунтов не сильно отличается друг от друга. Необходимо проводить ещё дополнительные испытания для выявления закономерности.

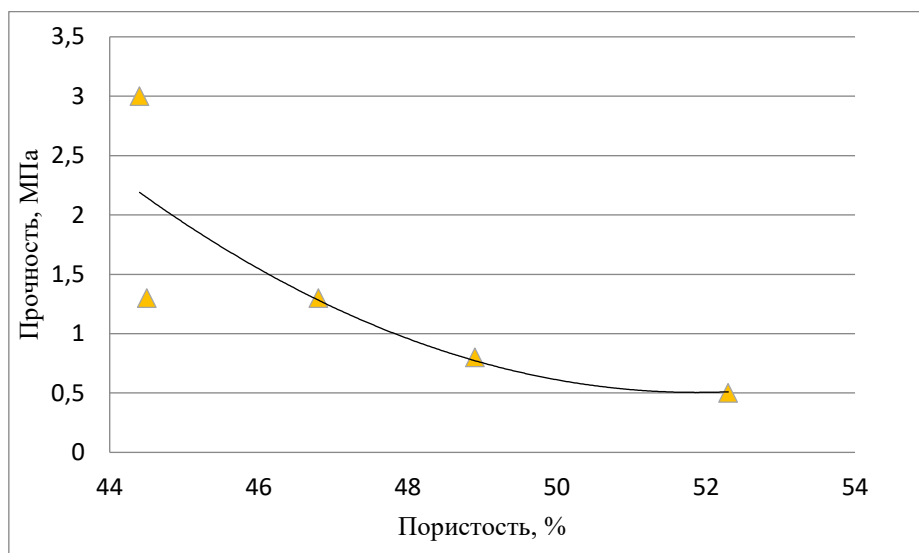


**Рисунок 5.** Зависимость прочности на одноосное сжатие от пористости для суглинков верхнечетвертичного комплекса верхней части разреза в районе села Шуроби Искандар (Гиссарский район)

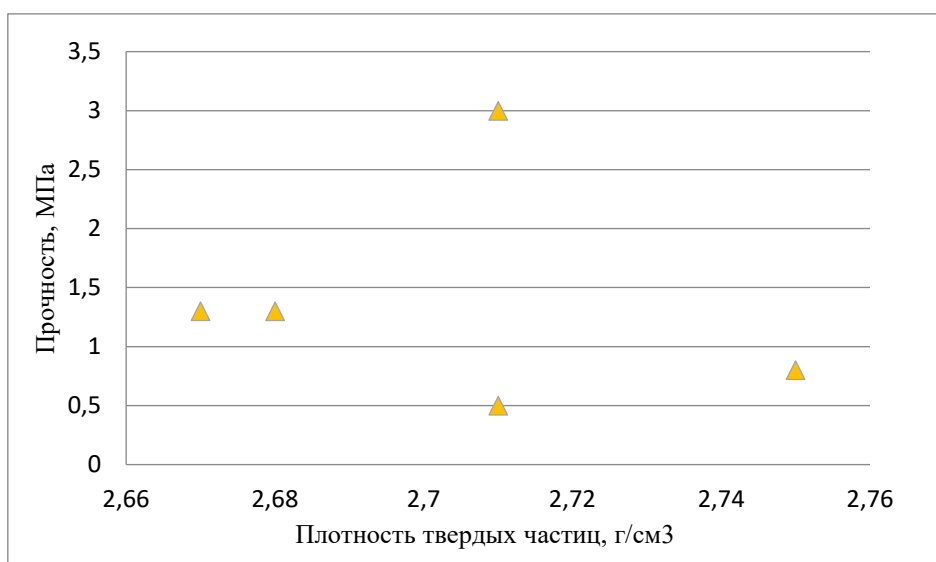


**Рисунок 6.** Зависимость прочности на одноосное сжатие от плотности твёрдых частиц для суглинков

## **Выводы**

На основе проведенных исследований установлена взаимосвязь между составом, строением и свойствами лёссовых грунтов. Анализ полученных данных позволил выявить влияние отдельных факторов на такие важные характеристики, как набухаемость, усадочность и прочность на одноосное сжатие.

Установлено, что степень набухания увеличивается с ростом содержания пылеватых и глинистых частиц, что связано с их высокой удельной поверхностью и ионной активностью. Однако данный параметр также зависит от плотности грунта – при её увеличении набухаемость снижается. Исключение составляют образцы с глубины 11 м, где при сравнительно высоком содержании глинистых частиц наблюдается меньшая степень набухания, что, вероятно, связано с высокой плотностью.

Усадочность грунтов демонстрирует обратную зависимость набухаемости и определяется не только гранулометрическим составом, но и естественной влажностью. Образцы с более высокой влажностью показывают повышенные параметры усадки, особенно при низком содержании песчаных частиц. Прочность на одноосное сжатие зависит от множества факторов, включая плотность, пористость, влажность и структурно-текстурные особенности грунтов. Установлено, что увеличение плотности и снижение пористости способствуют росту прочности. Однако влияние плотности твёрдых частиц на прочность оказалось менее выраженным, что требует дополнительных исследований.

Таким образом, проведённые исследования подтверждают сложную взаимосвязь между составом, строением и свойствами лёссовых грунтов. Выявленные закономерности важны для оценки их механических характеристик и разработки методов укрепления и мелиорации.

## **Литература**

1. Грунтоведение / Трофимов В.Т., Королев В.А., Вознесенский Е.А., Голодковская Г.А., Васильчук Ю.К., Зиангиров Р.С. Под ред. Трофимова В.Т., М.: Изд-во Моск. ун-та, 2005. 1024 с.
2. Инженерная геология России. Том 2. Инженерная геодинамика территории России // Под ред. В.Т. Трофимова, Э.В. Калинина [монография] – М.: КДУ, 2013. – 816 с.
3. Гидрогеология СССР. Том ХLI. Таджикская ССР. Управление геологии Совета Министров Таджикской ССР. Редактор В.С. Самарина. М.: Недра, 1972. 472с.
4. Лабораторный практикум по грунтоведению/ Под ред. В.А. Королева, В.Н. Широкова, В.В. Шаниной. Душанбе: Филиал МГУ им. М.В. Ломоносова, 2019. 240 с.
5. Лабораторные работы по грунтоведению/ Под ред. В.Т. Трофимова и В.А. Королева. М.: Высшая школа, 2008. 519 с.

## К ГЕОЛОГИЧЕСКОМУ СТРОЕНИЮ БАЙСУНСКОГО ПРОГИБА

Алимов М.<sup>1</sup>, Джалилов Г.Г.<sup>2</sup>, Тогаев И.С.<sup>1</sup>, Ахмедова Д.А.<sup>2</sup>, Жуммаева Л.Х.<sup>1</sup>

<sup>1</sup> *Национальный университет Узбекистана имени Мирзо Улугбека*

<sup>2</sup> *Институт геологии и разведки нефтяных и газовых месторождений  
(г. Ташкент, Республика Узбекистан)*

**Аннотация.** В статье показан геологический разрез Байсунского прогиба и особенности стратиграфической модели. Современное представление о геологическом строении осадочного чехла позволяет предполагать перспективность для проведения поисковых работ на УВ во всех секциях разреза, т.е. в юрских, меловых, палеогеновых и даже в неогеновых отложениях.

**Ключевые слова:** Байсунский прогиб, стратиграфия юра, мел, палеоген, неоген, нефтегазоперспективность.

## ON THE GEOLOGICAL STRUCTURE OF THE BAISUN DEPRESSION

M. Alimov<sup>1</sup>, G.G. Jalilov<sup>2</sup>, I.S. Togaev<sup>1</sup>, D.A. Akhmedova<sup>2</sup>, L.Kh. Jummaeva<sup>1</sup>

<sup>1</sup> *Mirzo Ulugbek National University of Uzbekistan*

<sup>2</sup> *Institute of Geology and Exploration of Oil and Gas Fields  
(Tashkent, Uzbekistan)*

**Annotation.** This article presents the geological cross-section of the Baysun Depression and the characteristics of its stratigraphic model. Current understanding of the sedimentary cover's geological structure suggests potential for hydrocarbon exploration in all sections of the profile, including Jurassic, Cretaceous, Paleogene, and even Neogene deposits.

**Keywords:** Baysun Depression, Jurassic stratigraphy, Cretaceous, Paleogene, Neogene, oil and gas prospects.

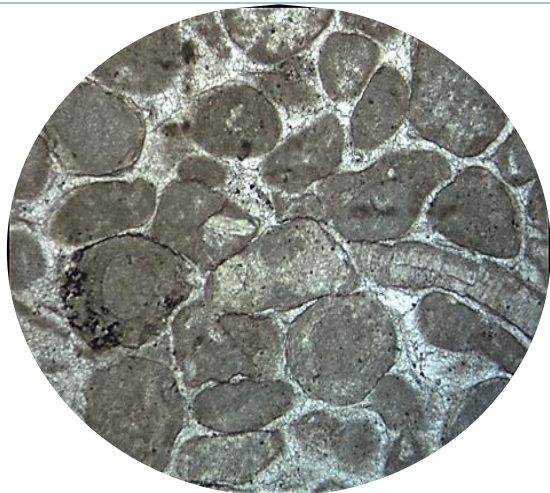
### Введение

Байсунский прогиб является неотъемлемой частью Сурхандарьинской впадины и представляет собой крупную отрицательную структуру грабен-синклинального типа, ограниченную с востока и запада региональными разрывными нарушениями северо-восточного простирания. Длина прогиба, судя по выходам отложений палеогена, 100 км при ширине 15-30 км.

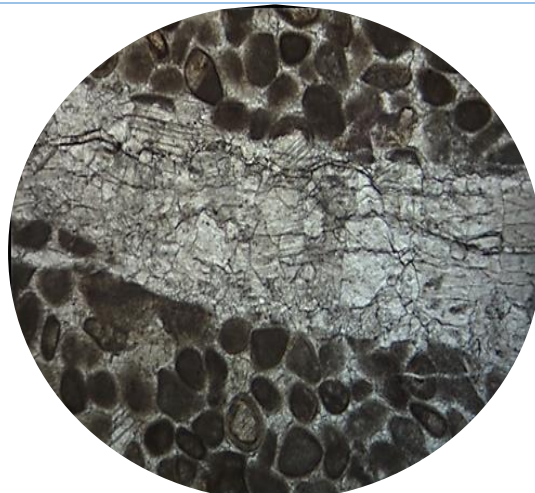
В пределах Байсунского прогиба кровля бухарских слоев палеогена максимально опущена на глубину от -2000 и на севере до -2800 м на юге. С северо-запада синклиналь ограничена Кугитангским разломом взбросового типа, амплитуда которого достигает более 3000 м в районе Вандопа. На юго-западе и востоке синклиналь ограничена Акташским, Майданским и Ляйляканским разрывными нарушениями взбросового типа, амплитуда которых достигает до 800 м [1].

Разрез осадочного чехла Байсунского прогиба представлен отложениями мезозоя и кайнозоя и подразделяется на два структурных этажа: нижний платформенный (юра-палеоген) и верхний орогенный (неоген-четвертичный). Граница между ними проводится по резкому угловому и стратиграфическому несогласию в подошве отложений миоцена.

Комплекс юрских отложений обнажается на южных склонах Гиссарского хребта и его юго-западных отрогах (Кугитангтау, Байсунтау и Сурхантау). В пределах депрессионной части впадины, они под покровом меловых и кайнозойских отложений, вскрыты единичными скважинами (Гаджак, Сангардак и Дербент).



Пл. Гаджак (глубина 3296,4м).  
Известняк обломочный (юрская  
карбонатная формация, x50 раз)



Пл. Гаджак (глубина 3319,9м).  
Известняк обломочно-оолитовый,  
трещиноватый (0,4мм) (юрская  
карбонатная формация, x50 раз)

По унифицированной схеме стратиграфии Средней Азии (1977) весь комплекс юрских отложений разделен на санджарскую (триас), гурудокую, тангидувальскую, дегибаданскую (тоар-бат), байсунскую, кугитангскую (байос-келловей-оксфорд), гаурдакскую и карабильскую (кимеридж-титон) свиты [1]. В рассматриваемом регионе они представлены терригенными (тоар-батские ярусы), карбонатными (байос-келловей-оксфордские ярусы) и галогенными (кимеридж-титонские ярусы) формациями [2].

Верхнеюрские отложения заканчиваются образованиями кара- бильской свиты, которые сложены красными глинами, алевролитами с прослоями песчаников. К северу, в районах Сурхантау и Тупалангдарья появляются прослои конгломератов. Мощность карабильской свиты достигает 100-120 м. Возраст карабильской свиты некоторыми геологами рассматривается как нижнемеловой.

Меловые отложения имеют широкое распространение. Обнажены в обрамлениях рассматриваемой впадины в горах Мечетли, Сурхантау, Балсунтау, Кугитангтау и Бабатаг, а также в ядрах Келиф-Сарыкамышской гряды и Актау. Кроме того, они вскрыты глубокими скважинами на поисковых площадях и месторождениях нефти и газа.

В разрезе нижнего мела различаются континентальные, лагунные и морские образования. В северо-восточной части Сурхандарьиной впадины морские осадки постепенно переходят в лагунные и красноцветные конгломераты и

подразделяются на следующие свиты: альмурадскую, кызылташскую, окузбулакскую, калигрекскую, каракузскую, лучакскую, шерабадскую [1-3].

Верхнемеловые отложения в основном представлены терригенными формациями. Подразделяется на сеноманский (тюбегатанская, карикансайская, тагаринская и газдаганинская свиты), туронский (талхабская, дасгирякская и музрабатская свиты), коньякский (модунская и акрабатская свиты), сантонский (каттакамышская свита), кампанский (сарыкамышская, даралитауская и удантауская свиты) и маастрихтский (кофрунская свита) ярусы. Отложения датского яруса отсутствуют.

Отложения палеогена образуют сульфатно-карбонатную формацию палеоцена и сульфатно-терригенную и глинистую эоцена.

Палеоцен представлен акджаро-бухарскими слоями, сложенными в нижней части светло-серыми загипсованными доломитами с прослоями гипса, иногда загипсованного алевролита. Верхняя часть (бухарские слои) состоит в основном из белых и серых доломитов, известняков и белых гипсов или ангидритов. В кровле залегает прослой мергеля, который местами замещается известняком.

Бухарские слои залегают непосредственно на сульфатно-карбонатных акджарских образованиях. В районах (Байсун, Шерабад, Акташ) они непосредственно залегают с явными признаками перерыва и размыва непосредственно на терригенных породах сенона. Эоценовая терригенно-глинистая формация включает в себя сузакские, туркестанские и риштан-исфараханабадские слои и сложена известковистыми глинами, чередующимися с песчаниками, загипсованными мергелями и известняками.

Пестроцветная пачка, залегающая с размывом на палеогеновых отложениях мощностью до 70 м, представленная переслаиванием красных, желтоватых, зеленых и светло-серых глин, алевролитов и песчаников выделяется как шурысайская свита. Некоторые ее относят к аналогам сумсарских слоев и границу между палеогеном и неогеном проводят по ее кровле, другие (Бухарин А.А. и др.) данную свиту относят к миоцену.

Неоген-четвертичные отложения (молассовый комплекс) представлены мощной толщей континентальных осадков, которые широко распространены. Ими почти полностью выполнены все синклинали. Они в большинстве случаев принимают участие и в строении положительных нефтегазоносных структур.

Отложения имеют разнообразный состав и бедны органическими остатками, что не позволяет точно определить их возраст. Поэтому их разделение на свиты в основном производится по литологическим признакам. Неогеновые отложения подразделяются на миоцен (шурысайская, камолинская, чильдаринская, хингоуская и тавильдаринская свиты) и плиоцен (каранакская и полизакская свиты).

Общая мощность неогеновых отложений в обнажениях колеблется от 2160 м (Болдыр) до 3040 м (Талдыбулак). По данным геофизических исследований в погруженных частях Сурхандарьинской впадины мощность достигает 4000-5500 м.

Четвертичные отложения залегают на размытой поверхности пород от мезозоя до континентальных неогеновых образований. Они отличаются от

других отложений разнообразным литологическим составом и невыдержанностью мощностей по простирацию. Представлены светло-бурыми, буровато-красными песчаниками, песками, глинами, алевролитами и конгломератами. Мощность колеблется от 0 до 300 м. Современные образования сложены лессовидными суглинками, золовыми песками, болотными образованиями общей мощностью до 100 м.

В заключении хотим отметить, для проведения поисковых работ на УВ, ловушки могут быть выявлены во всех секциях разреза осадочного чехла, т.е. в юрских, меловых, палеогеновых и даже в неогеновых отложениях. Все они могут служить объектами для постановки поисково-детальных сейсморазведочных работ и параметрического бурения.

### **Литература**

1. Абдуллаев Г.С., Богданов А.Н., Эйдельмант Н.К. Месторождения нефти и газа Республики Узбекистан// - Ташкент. 2019. - 820 с.
2. Алиев М.М., Крылов Н.А., Генкина Р.З. Юра юга СССР// - М.: «Наука». – 1983. – 211 с.
3. Абидов А.А. Нефтегазogeологическое районирование и поиски скоплений углеводородов в подсолевых юрских отложениях Сурхандарьинского синклинория// В кн.: Перспективы нефтегазоносности Средней Азии.- РНТС ВНИИОЭНГ/ Сер. нефтегаз. геол. и геофиз., 1982. – Вып. 34. – С. 41-46.
4. Акрамходжаев А.М. Нефть и газ - продукты преобразования органического вещества. /А.М. Акрамходжаев // – М. Изд.: Недра. 1982. – 261 с.

УДК 531.01, 624.131.4

### **ИССЛЕДОВАНИЕ ДЕФОРМАЦИОННОГО ПОВЕДЕНИЯ ПЕСКА В УСЛОВИЯХ МНОГОПЛОСКОСТНОГО СРЕЗА**

**Артамонова Н.Б., Шешенин С.В., Ильяш З.Э.**

***Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова  
(г. Москва, Российская Федерация)***

**Аннотация.** В данном исследовании проводится анализ и сравнение результатов экспериментов на многоплоскостной срез при постоянном вертикальном напряжении и при постоянной вертикальной деформации для песчаных грунтов кварцевого состава различной крупности. Исследована зависимость свойств песка от скорости деформации.

**Ключевые слова:** многоплоскостной срез, простой сдвиг, песчаный грунт, угол внутреннего трения, сцепление.

## STUDY OF DEFORMATION BEHAVIOR OF SAND UNDER MULTIPLANE SHEAR CONDITIONS

Artamonova N.B., Sheshenin S.V., Ilyash Z.E.  
Lomonosov Moscow State University  
(Moscow, Russia)

**Annotation.** This study analyzes and compares the results of experiments on multiplane shear under constant vertical stress and constant vertical deformation for quartz sand soils with different grain sizes. The dependence of sand properties on deformation rate is studied.

**Keywords:** multiplane shear, simple shear, sandy soil, internal friction angle, specific cohesion.

Опыты на сдвиг песчаных грунтов проводились с помощью установки простого сдвига (многоплоскостного среза) ООО НПП «Геотек» (рисунок 1) в кинематическом режиме приложения сдвигающей нагрузки с заданной постоянной скоростью деформации сдвига по схеме консолидировано-дренированного сдвига (КД). Консолидация образцов перед испытанием на сдвиг осуществлялась в одну ступень при открытом дренаже при следующих значениях эффективного вертикального напряжения консолидации: 0.1, 0.2, 0.3, 0.4, 0.5 МПа. В приборе многоплоскостного среза кольца не связаны друг с другом, поэтому в некоторых опытах многоплоскостной срез переходил в одноплоскостной срез по наиболее слабой поверхности среза. Лабораторные испытания и обработка результатов проводились в соответствии с ГОСТ Р 71042-2023 «Грунты. Определение характеристик прочности методом простого сдвига».

Первую группу экспериментов делали при постоянном вертикальном напряжении со скоростями деформации сдвига: 0.0004, 0.002, 0.004 1/с, чтобы исследовать влияние скорости деформации на свойства песка [1].

Вторую группу опытов проводили при постоянной вертикальной деформации (то есть при постоянном объеме образца, так как боковая деформация равна нулю) со скоростью деформации сдвига 0.0016 1/с.

Для исследований были выбраны два песка близкого минерального состава, но различной крупности. Гранулометрический состав песков определялся ситовым методом и представлен в таблице 1. Согласно ГОСТ 25100-2020 «Грунты. Классификация», песок №1 – крупный, песок №2 – мелкий. По минеральному составу пески кварцевые (таблица 2). Перед испытаниями пески утрамбовывали ступкой до максимально плотного состояния: крупный песок до плотности 1.71 г/см<sup>3</sup>, мелкий – 1.61 г/см<sup>3</sup>.

По результатам первой группы испытаний (при постоянном вертикальном напряжении) были построены графики зависимости касательных напряжений  $\sigma_{12}$  и объемной деформации  $\theta$  от сдвиговой деформации  $\varepsilon_{12}$  для различных значений вертикального напряжения  $\sigma_{11}$  при различных скоростях деформации. (Объемная деформация равна вертикальной деформации, так как боковая деформация в этих опытах равна нулю.)

На рисунках 2 и 3 для примера показаны графики зависимости  $\sigma_{12}$  и  $\theta$  от  $\varepsilon_{12}$  для крупного (слева) и мелкого (справа) водонасыщенного песка при

вертикальном напряжении 0.4 МПа. Разные цвета графиков соответствуют различным значениям скорости деформации сдвига.

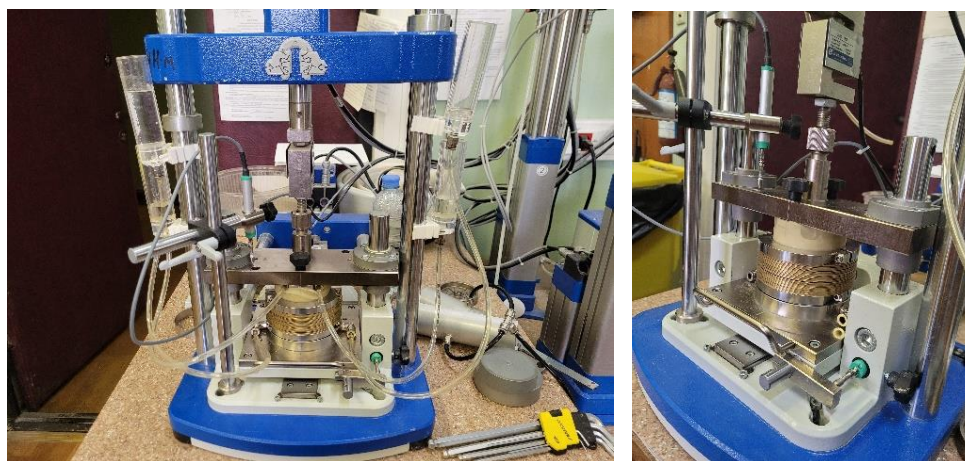


**Рисунок 1.** Сборка комплекса АСИС для испытаний на многоплоскостной срез (ООО НПП «Геотек»)

**Таблица 1.** Гранулометрический состав исследуемых песков

| Размер частиц, мм | Название частиц | Содержание, % |          |
|-------------------|-----------------|---------------|----------|
|                   |                 | Песок №1      | Песок №2 |
| >2                | гравий, дресва  | 2             | 0        |
| 1<x<2             | грубые          | 83            | 0        |
| 0.5<x<1           | крупные         | 15            | 0        |
| 0.25<x<0.5        | средние         | 0             | 0        |
| 0.1<x<0.25        | мелкие          | 0             | 81       |
| 0.05<x<0.1        | тонкие          | 0             | 18       |
| <0.05             | пылеватые       | 0             | 1        |

**Таблица 2.** Минеральный состав песчаных грунтов

| Песок   | Кварц, % | Иллит, % | Каолинит, % | Плагиоклазы, % | КПШ, % |
|---------|----------|----------|-------------|----------------|--------|
| Крупный | 97.6     | 0        | 0           | 1.4            | 1.0    |
| Мелкий  | 95.2     | 1.0      | 0.6         | 1.9            | 1.3    |

Как видно (рис. 2), графики зависимости  $\sigma_{12}$  от  $\varepsilon_{12}$  имеют небольшой разброс, зависимость от скорости деформации не наблюдается. На рисунке 2 видно, что в опытах с крупным песком происходит упрочнение при сдвиге или касательное напряжение выходит на плато, а в экспериментах с мелким водонасыщенным песком наблюдается переход многоплоскостного среза в одноплоскостной по наиболее слабой поверхности (касательное напряжение достигает максимального значения, а затем падает).

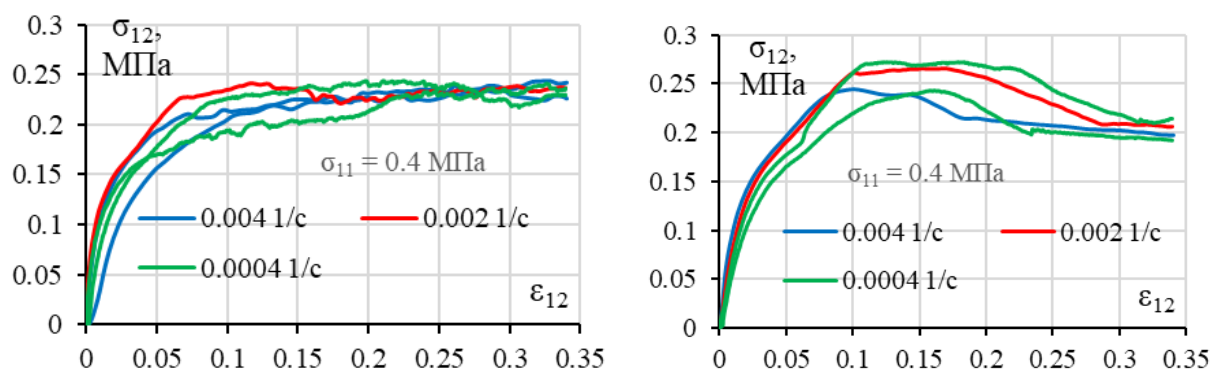


**Рисунок 2.** Зависимость касательного напряжения от сдвиговой деформации для крупного (слева) и мелкого (справа) водонасыщенного песка (при постоянном вертикальном напряжении 0.4 МПа). В легенде показаны скорости деформации сдвига

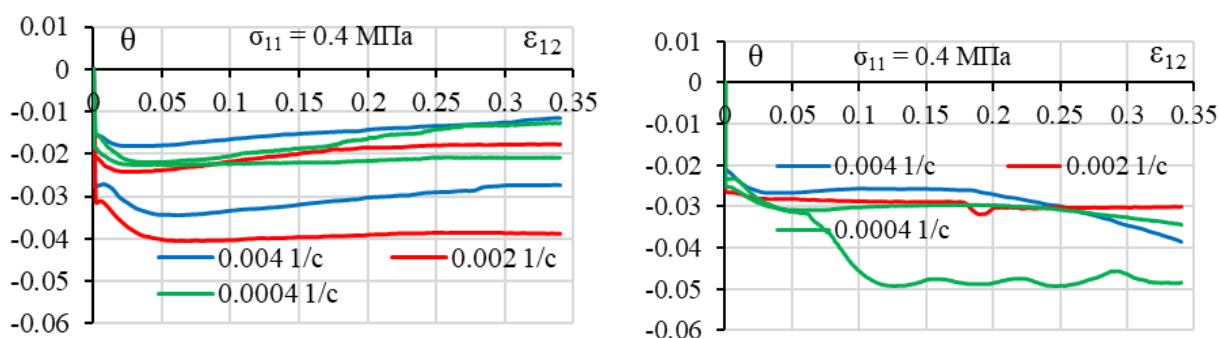


**Рисунок 3.** Зависимость объемной деформации от сдвиговой деформации для крупного (слева) и мелкого (справа) водонасыщенного песка (при постоянном вертикальном напряжении 0.4 МПа). В легенде показаны скорости деформации сдвига

Как известно, у пористых материалов наблюдается зависимость процессов сдвигового и объемного деформирования [2]. При деформации сдвига при постоянном вертикальном напряжении изменяется объем образца (рисунок 3). Крупный водонасыщенный песок при сдвиге сначала уплотняется, а затем немного увеличивается в объеме (рис. 3, слева). Для мелкого песка характерно уплотнение на протяжении всего эксперимента (рис. 3, справа). (Объемные деформации отрицательные при сжатии и положительные при расширении, как принято в механике.) Зависимости кривых  $\theta$  от  $\varepsilon_{12}$  от скорости деформации также не наблюдается. В опытах на многоплоскостной срез деформации сдвига большие (до 35%), а объемные деформации малые (до 5%). Далее была проведена вторая группа опытов на многоплоскостной срез при постоянной вертикальной деформации (постоянном объеме образца). На рисунках 4 и 5 показаны графики зависимости касательного напряжения  $\sigma_{12}$  и вертикального напряжения  $\sigma_{11}$  от сдвиговой деформации  $\varepsilon_{12}$  для крупного (слева) и мелкого (справа) водонасыщенного песка при различных значениях начального вертикального напряжения консолидации (обозначены разными цветами графиков и указаны в легенде).

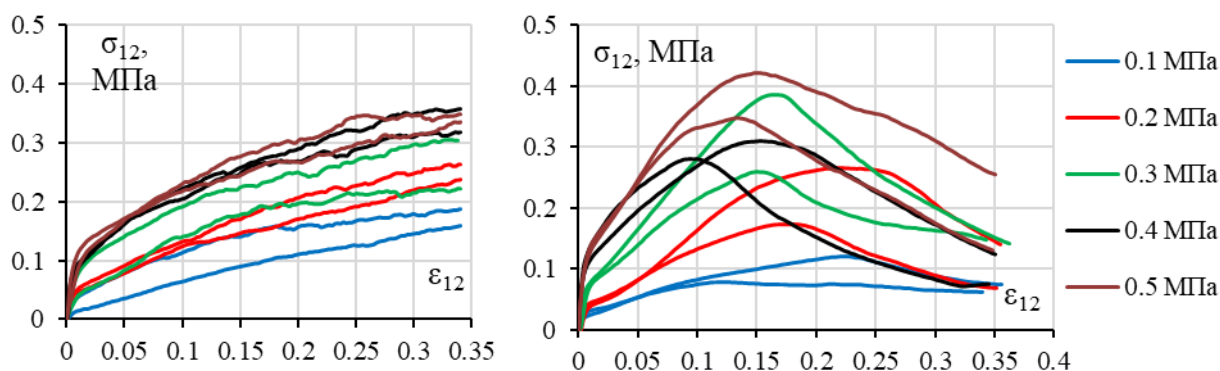


**Рисунок 4.** Зависимость касательного напряжения от сдвиговой деформации для крупного (слева) и мелкого (справа) водонасыщенного песка (при постоянной вертикальной деформации). В легенде показаны начальные вертикальные напряжения консолидации

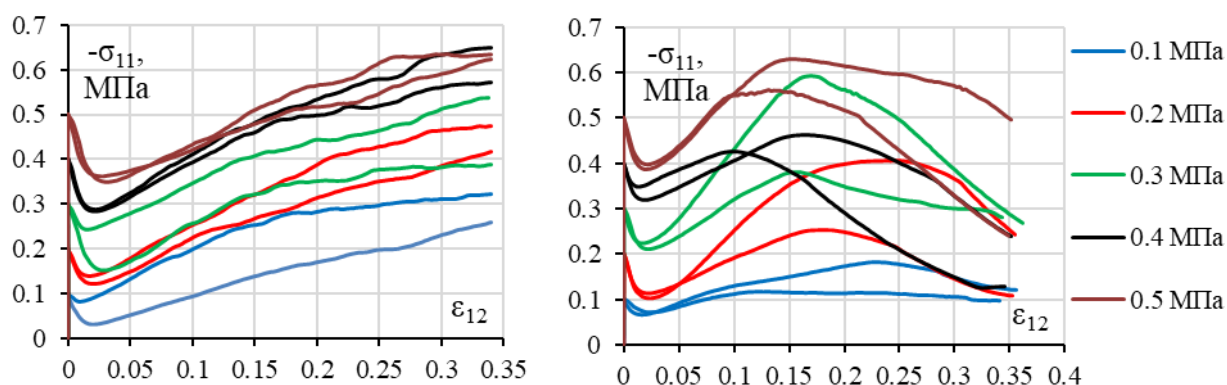


**Рисунок 5.** Зависимость вертикального напряжения от сдвиговой деформации для крупного (слева) и мелкого (справа) водонасыщенного песка (при постоянной вертикальной деформации). В легенде показаны начальные вертикальные напряжения консолидации

На рисунке 4 можно заметить, что крупный водонасыщенный песок упрочняется при сдвиге, а в опытах с мелким песком происходит переход многоплоскостного среза в одноплоскостной по наиболее слабой поверхности. Также можно заметить, что чем выше начальное вертикальное напряжение консолидации, тем выше, как правило, располагаются кривые. В ходе опыта вертикальное напряжение меняется (рис. 5), а объем образца остается приблизительно постоянным. (Напряжение отрицательно при сжатии, как принято в механике.) В опыте с крупным песком абсолютные значения вертикального напряжения сжатия сначала уменьшаются, а потом постепенно растут, а в эксперименте с мелким песком – сначала уменьшаются, потом растут и затем снова уменьшаются (рис. 5).

На рисунке 6 приведена зависимость максимальных касательных напряжений (при которых происходит разрушение образца) от вертикального напряжения для водонасыщенных крупного (слева) и мелкого (справа) песчаных грунтов для двух типов экспериментов: при постоянном вертикальном напряжении (красные точки) и при постоянном объеме образца (зеленые точки). Как видно, все точки ложатся на прямые линии с хорошей точностью. Из этих графиков можно получить прочностные свойства водонасыщенного песка на

сдвиг: угол внутреннего трения крупного песка 27 градусов, мелкого – 32 градуса, удельное сцепление крупного песка 0.0262 МПа, мелкого – 0.013 МПа.

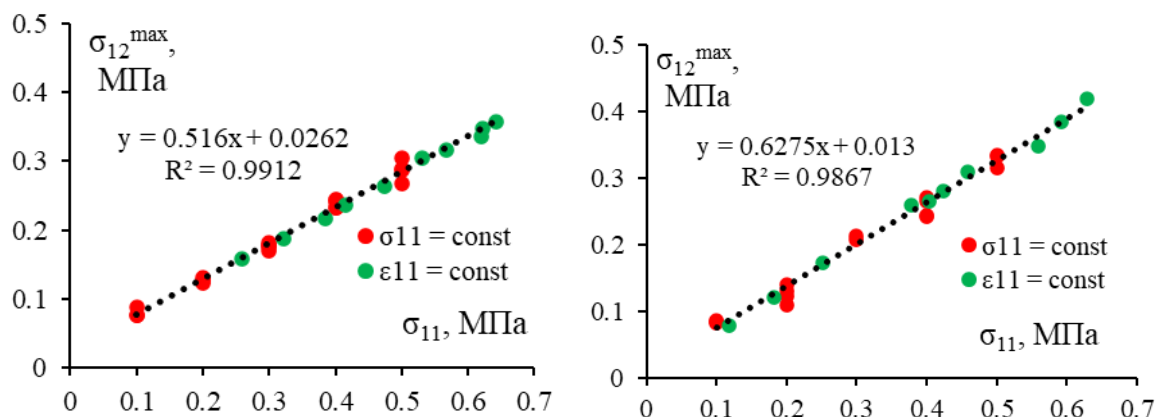


**Рисунок 6.** Зависимость максимальных касательных напряжений от вертикальных напряжений для крупного (слева) и мелкого (справа) водонасыщенного песка.

Таким образом, в работе проведено сравнение результатов экспериментов на многоплоскостной срез при постоянном вертикальном напряжении и при постоянной вертикальной деформации для песков кварцевого состава различной крупности. Отмечены различия деформационного поведения при сдвиге крупного и мелкого песка. Показана связь сдвигового и объемного деформирования песчаных грунтов. Зависимость от скорости деформации не обнаружена. Полученные зависимости предполагается использовать для построения определяющих соотношений деформационного типа для математического моделирования деформирования водонасыщенного песчаного грунта под нагрузкой. Экспериментальные исследования песчаного грунта проводились на автоматизированном испытательном комплексе АСИС, приобретенном за счёт средств Программы развития Московского университета (контракт № 1040-44-2019 от 24.09.2019). Работа выполнена при финансовой поддержке гранта РНФ №25-21-00111.

### Литература

1. Артамонова Н.Б., Шешенин С.В. К вопросу идентификации параметров нелинейной модели консолидации песчаного грунта // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Механика. – 2024. – №1. – С. 31-44.
2. Ломакин Е.В. Определяющие соотношения деформационной теории для дилатирующих сред // Известия РАН. Механика твердого тела. – 1991. – № 6. – С. 66-75.

## ИЗМЕНЧИВОСТЬ ОСАДКОВ В УЗБЕКИСТАНЕ ВО ВРЕМЯ ЯВЛЕНИЯ ЭНЮК

Бобохонова М.Н., Кадыров Б.Ш.

*Научно-исследовательский гидрометеорологический институт  
(г. Ташкент, Республика Узбекистан)*

**Аннотация.** В статье изучена изменчивость осадков в период явлений Эль-Ниньо и Ла-Нинья (ЭНЮК). В качестве исходных данных были использованы данные с 34 метеостанций Узбекистана за период 1963-2024 годы. Было получено, что на всех станциях Узбекистана в период фазы Эль-Ниньо отмечается увеличение осадков и уменьшение осадков в период фазы Ла-Нинья относительно среднего многолетнего количества осадков за конкретный месяц. При этом имеется связь величины значения изменения осадков от высоты расположения метеостанции.

**Ключевые слова:** Явление ЭНЮК, Эль-Ниньо, Ла-Нинья, осадки.

## PRECIPITATION VARIABILITY IN UZBEKISTAN DURING THE ENSO PHENOMENON

M.N. Bobokhonova, B.Sh. Kadyrov  
Research Hydrometeorological Institute  
(Tashkent, Uzbekistan)

**Annotation.** The article examines the variability of precipitation during the El Niño and La Niña (ENSO) events. Data from 34 weather stations in Uzbekistan for the period 1963-2024 were used as initial data. It was found that at all stations in Uzbekistan during the El Niño phase, there is an increase in precipitation and a decrease in precipitation during the La Niña phase relative to the average long-term precipitation for a given month. At the same time, there is a relationship between the value of the change in precipitation and the height of the meteorological station.

**Keywords:** ENSO phenomenon, El Niño, La Niña, precipitation.

### Введение

В научном мире опубликовано огромное количество результатов исследований, посвященных процессам Эль-Ниньо и Ла-Нинья и связанных с ними погодных аномалий. Южное колебание Эль-Ниньо ЭНЮК - это природное явление, происходящее в экваториальных районах Тихого океана, которое влияет на климат всего мира. ЭНЮК состоит из двух фаз: Эль-Ниньо и Ла-Нинья. Во время фазы Эль-Ниньо воды в восточной части Тихого океана становятся теплее обычного, а фаза Ла-Нинья, напротив, характеризуется похолоданием вод в этом районе [1, 6, 7]. Длительность процессов от 5 до 15 месяцев. Дополнительное нагревание поверхности экваториальной зоны Тихого океана (Эль-Ниньо) способствует поступлению в атмосферу огромного количества воды и энергии, которая высвобождается в результате фазовых переходов воды и влияет на общую циркуляцию атмосферы.

Южное колебание Эль-Ниньо (ЭНЮК) оказывает влияние также и на климат Центральной Азии, включая Узбекистан - это так называемый отдаленный отклик, о котором подробно рассмотрено в работе Д.Ю. Гушиной [2].

Вопросы типичных синоптических процессов в период наблюдения ЭНЮК подробно рассмотрены в работе [3]. В работе [4] в период Эль-Ниньо, в Центральной Азии, включая Узбекистан, в отдельные месяцы было отмечено превышение количества осадков относительно климатической нормы.

Очевидно, события Эль-Ниньо и Ла-Ниньи могут повлиять на возникновение многолетних засушливых и влажных периодов в Узбекистане, что окажет существенное влияние на водные ресурсы, сельское хозяйство и экологию республики.

Классификация интенсивности явлений Эль-Ниньо на основе аномалий температуры поверхности океана (ТПО), было предложено. Куинн и др. ([5].

Для определения интенсивности явлений используется следующая система классификации [5].

**Таблица 1.** Классификация интенсивности явлений Эль-Ниньо и Ла-Ниньи

| Индикаторы интенсивности явлений Эль-Ниньо и Ла-Нинья | Значения аномалий температуры поверхности океана, °С |
|-------------------------------------------------------|------------------------------------------------------|
| Очень сильный Эль-Ниньо                               | >2,0                                                 |
| Сильный Эль-Ниньо                                     | от 1,5 до 1,9                                        |
| Среднее Эль-Ниньо                                     | от 1,0 до 1,4                                        |
| Слабый Эль-Ниньо                                      | от 0,5 до 0,9                                        |
| Нейтральный                                           | от 0 до $\pm 5$                                      |
| Слабая Ла-Нинья                                       | -0,5 до -0,9                                         |
| Средняя Ла-Нинья                                      | от -1,0 до -1,4                                      |
| Сильная Ла-Нинья                                      | от -1,5 до -1,9                                      |

Всего с 1963 года по 2024 год наблюдалось 22 случая Эль-Ниньо, из которых 8 были оценены как "Слабые," 6 как "Средние," 5 как "Сильные" и 3 как "Самые сильные" по интенсивности. При этом, из 23 наблюдавшихся событий Ла-Ниньи 11 были "Слабыми," 5 - "Средними," а 7 - "Сильными."

#### **Методика исследования**

В работе оценка отдаленного влияния явления ЭНЮК на изменчивость осадков на территории Узбекистана производилась путем расчета разницы фактических месячных осадков на метеостанциях в периоды всех процессов Эль-Ниньо и Ла-Нинья за 1963-2024 годы и среднемесячного значения осадков за рассматриваемый период.

#### **Результаты**

Результаты расчётов представлены в таблице 1. Согласно анализа процессы Эль-Ниньо и Ла-Нинья противоположным способом оказывают влияние на норму месячных осадков. Так при Эль –Ниньо отмечается увеличение месячного количества осадков относительно месячной нормы, и уменьшение месячного количества осадков при Ла-Нинья относительно месячной нормы. При этом это характерно для всех метеостанций, данные которых были использованы при анализе. Хотя ранее исследователи отмечали увеличение месячных осадков только за отдельные месяцы. Так в работе [4] отмечается, что в Средней Азии в

годы Эль-Ниньо увеличение осадков хаарктерно для октября и ноября. Добавок или дефицит осадков на метеостанциях в зависимости от высоты местности приведен в годы с ЭНЮК на рисунке 1.

**Таблица 2.** Значения разницы фактических месячных осадков и месячной нормы

| Т/р | Название метеостанции | Высота, (м) | $\delta_+$ (мм) | $\sigma$ | $\delta_-$ (мм) | $\sigma$ | Годовая норма |
|-----|-----------------------|-------------|-----------------|----------|-----------------|----------|---------------|
| 1   | Нукус                 | 76,6        | 6,93            | 26,4     | -15,6           | 28,63    | 107,1         |
| 2   | Бузаубай              | 95,7        | 3,13            | 30,76    | -20,49          | 24,19    | 90,9          |
| 3   | Ургенч                | 99,5        | 6,04            | 32,15    | -6,98           | 38,39    | 105,1         |
| 4   | Каракуль              | 197         | 21,56           | 35,57    | -26,68          | 28,64    | 130,8         |
| 5   | Джангельды            | 210,6       | 3,28            | 26,82    | -16,59          | 31       | 97,5          |
| 6   | Каракалпакия          | 127,9       | 20,63           | 51,22    | -13,5           | 38,94    | 168,8         |
| 7   | Кунград               | 130         | 12,05           | 33,66    | -21,85          | 29,31    | 127,7         |
| 8   | Тамды                 | 218,4       | 5,58            | 39,09    | -24,87          | 24,64    | 121,3         |
| 9   | Бухара                | 226         | 25,69           | 33,75    | -27,62          | 34,21    | 135           |
| 10  | Термез                | 302,3       | 17,13           | 38,18    | -14,47          | 48,77    | 154,4         |
| 11  | Далверзин             | 311,4       | 30,52           | 87,52    | -42,17          | 68,27    | 327,5         |
| 12  | Навои                 | 341,5       | 30,14           | 60,11    | -36,64          | 50,87    | 193,9         |
| 13  | Карши                 | 378         | 38,32           | 60,39    | -43,91          | 54,39    | 237,1         |
| 14  | Шерабад               | 417,1       | 24,23           | 65,53    | -43,97          | 66,04    | 216,4         |
| 15  | Боз                   | 428         | 27,13           | 75,73    | -19,46          | 45,07    | 202,1         |
| 16  | Пап                   | 449,5       | 12,76           | 73,97    | -24,08          | 48,57    | 179,4         |
| 17  | Наманган              | 459,1       | 24,7            | 73,05    | -19,47          | 51,5     | 200,4         |
| 18  | Ташкент               | 467,7       | 44,37           | 103,4    | -48,3           | 83,22    | 444,4         |
| 19  | Андижан               | 476         | 36,35           | 85,25    | -27,61          | 53,71    | 246,8         |
| 20  | Кува                  | 476         | 25,45           | 69,91    | -21,13          | 46,67    | 219,6         |
| 21  | Нуратинский           | 482,5       | 23,81           | 64,76    | -43,08          | 57,84    | 251,0         |
| 22  | Джизак                | 525,6       | 33,07           | 110,66   | -49,82          | 82,89    | 381,3         |
| 23  | Фергана               | 560,2       | 26,36           | 64,67    | -20,5           | 38,28    | 193,3         |
| 24  | Шахрисабз             | 628,6       | 62,96           | 109,12   | -68,25          | 97,2     | 528,9         |
| 25  | Самарканд             | 672         | 31,95           | 61,51    | -51,54          | 72,64    | 365,4         |
| 26  | Кушрабад              | 735,8       | 52,01           | 106,41   | -70,95          | 81,68    | 400,2         |
| 27  | Галляарал             | 758         | 37,97           | 72,07    | -56,52          | 77,65    | 376,7         |
| 28  | Дехканабад            | 904,7       | 34,26           | 77,06    | -52,3           | 67,98    | 344,6         |
| 29  | Ангрен                | 931,6       | 63,03           | 140,59   | -74,49          | 121,05   | 628           |
| 30  | Байсун                | 1156,2      | 53,34           | 109,95   | -59,37          | 88       | 450,3         |
| 31  | Ойгеин                | 2100        | 85,13           | 153,78   | -73,84          | 119,9    | 745,3         |

$\delta_+$  - отклонение месячных осадков относительно среднемесячной нормы в период фазы Эль-Ниньо.

$\delta_-$  - отклонение месячных осадков относительно среднемесячной нормы в период фазы Ла-Нинья.

$\sigma$  - среднеквадратичной отклонение

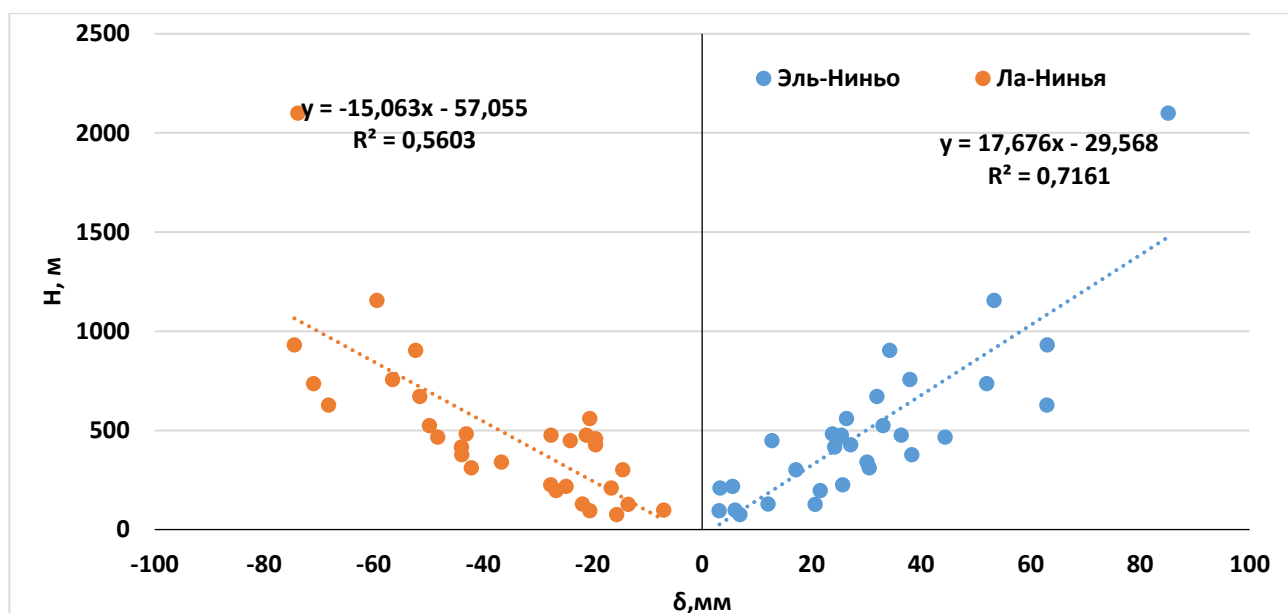


**Рисунок 1.** Зависимость разницы месячных осадков от высоты расположения метеостанции.

Здесь четко прослеживается зависимость величины разницы месячных осадков от высоты расположения метеостанции- чем выше высота расположения метеостанции, тем больше разница. Получены уравнения регрессии.

### Выводы

Таким образом, в данном исследовании была проанализирована взаимосвязь между явлениями Эль-Ниньо и Ла-Нинья и режимом осадков в Узбекистане. Результаты исследования показали, что существует отдаленный отклик метеорологических явлений(количество осадков) от фазы ЭНЮК. В годы Эль-Ниньо на рассматриваемых метеостанциях наблюдалось увеличение количества осадков, в то время как в годы Ла-Ниньи, наоборот, наблюдалось уменьшение количества осадков. При этом противоположные фазы ЭНЮК оказывают разное влияние на режим осадков.

Результаты исследования имеют важное значение для повышения точности сезонных климатических прогнозов в Узбекистане. Особенно, когда явление уже фиксируется.

### Литература

1. Груза Г.В., Ранькова Э.Я., Клещенко Л.К., Аристова Л.Н. О связи климатических аномалий на территории России с явлением Эль-Ниньо Южное колебание // МиГ, 1991. – №5. – С.32-52.
2. Гушина Д.Ю. Модификация Эль-Ниньо в условиях меняющегося климата: мониторинг, причины, удаленный отклик// – Москва, 2014. – С. 25-81.
3. Бабушкин О.Л., Инагамова С.И. Влияние Эль-Ниньо на синоптические процессы в Средней Азии //Ашхабад, 2019. – С.17-23.
4. Скрипникова Л.Е. Влияние Эль-Ниньо на погоду в Узбекистане // Труды НИГМИ, 2006. – Вып. 6(251). – С. 77-88.
5. Golden Gate Weather Services. [Электронный ресурс] – URL: <https://ggweather.com/enso/oni.htm>.

6. NOAA National Centers for Environmental Information. [Электронный ресурс] – URL: <https://www.ncei.noaa.gov/access/monitoring/enso/soi>.
7. World Ocean Review. [Электронный ресурс] – URL: <https://worldoceanreview.com/en/wor-5/climate-change-threats-and-natural-hazards/coping-with-natural-hazards/how-el-nino-forms/>

УДК 502/504:55.551.5:556

## **ВЛИЯНИЕ КЛИМАТИЧЕСКИХ ИЗМЕНЕНИЙ НА РАЗВИТИЕ ОПАСНЫХ СКЛОНОВЫХ ПРОЦЕССОВ В ГОРНЫХ РАЙОНАХ КАБАРДИНО-БАЛКАРИИ**

**Гергокова З.Ж.**

*Высокогорный геофизический институт  
(г. Нальчик, Российская Федерация)*

***Аннотация.** В работе рассмотрено влияние природно – климатических изменений на динамику развития рисков и угроз для безопасности жизнедеятельности населения в горной и высокогорной зонах, на примере сельского поселения Хабаз, Зольского района Кабардино-Балкарской Республики (КБР). Результаты проведенного исследования показывают прогрессирующее усугубление разрушительных природных процессов вследствие текущих климатических изменений.*

***Ключевые слова:** эрозия склонов, потепление климата, наносоводный поток, горная территория.*

## **THE IMPACT OF CLIMATE CHANGE ON THE DEVELOPMENT OF DANGEROUS SLOPE PROCESSES IN THE MOUNTAINOUS REGIONS OF KABARDINO-BALKARIA**

**Gergokova Z.J.**

*High-Mountain Geophysical Institute  
(Nalchik, Russia)*

***Annotation.** The paper considers the impact of natural and climatic changes on the dynamics of risks and threats to the safety of life in mountainous and high-altitude areas, using the example of the rural settlement of Khabaz, the Zolsky district of the Kabardino-Balkarian Republic (KBR). The results of the conducted research show a progressive aggravation of destructive natural processes due to current climatic changes.*

***Keywords:** slope erosion, climate warming, sedimentary flood, mountainous territory.*

В связи с прогрессирующим развитием факторов, способствующих возникновению и/или увеличению негативных природных процессов в горах, возрастает необходимость пересмотра вопросов обеспечения безопасности жизнедеятельности населения в горной и высокогорной зонах [1-3]. Выявление существующих угроз и рисков от опасных склоновых и русловых процессов для селитебных территорий является важным аспектом решения данной проблемы. Целью представленной работы была оценка негативного воздействия схода наносоводных потоков на территорию горного поселения, на примере с. п. Хабаз, Зольского района, Кабардино–Балкарской республики.

В виду развивающейся водной эрозии склонов [4-6] непосредственно примыкающих к сельскому поселению, произошло разрушение и смыл части почвенного покрова - имели место мощные наносоводные потоки ливневого происхождения.

По данным радиолокатора в течении 1-1.5 часа в исследуемом районе выпало около 15 % от среднегодовой суммы осадков. Интенсивному ливню предшествовало обильное выпадение града диаметром 2-2,5 см, что, в свою очередь, в значительной мере усилило разрушительный эффект воздействия выпавших осадков на поверхность склонов [7-10]. Водосборы 1-4 (рис. 1), расположенные в верхней части села, имеют наибольшие площади и протяженности транзитных участков при наименьших средних значениях уклонов (табл. 1).

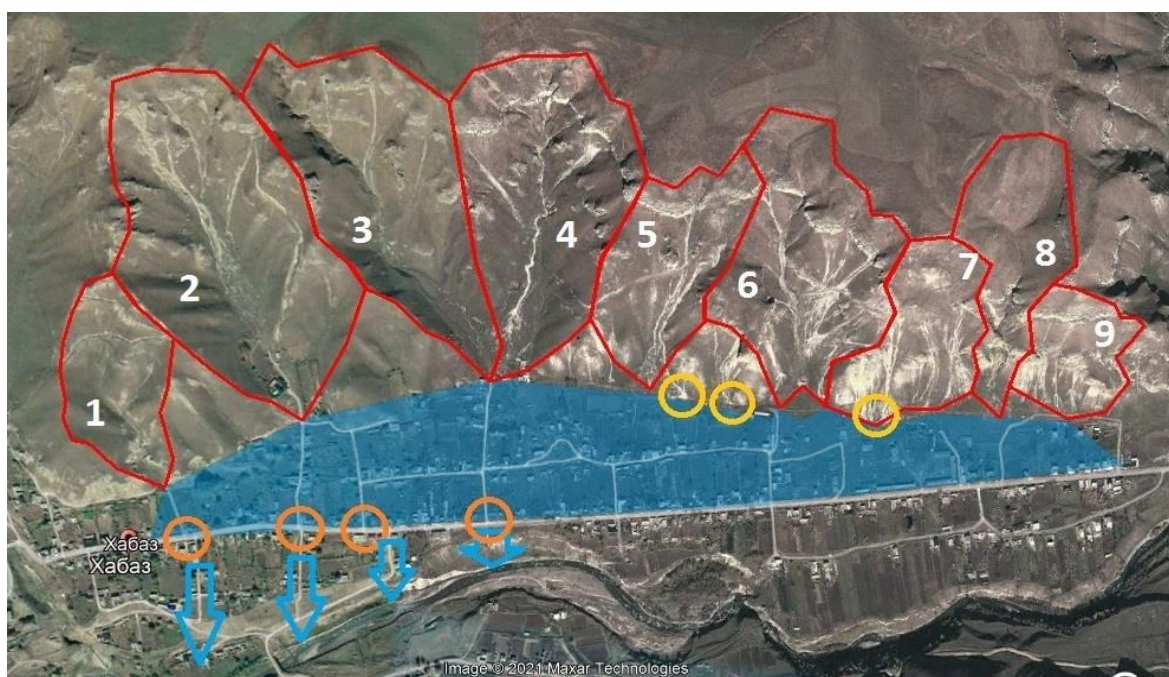


**Рисунок 1** – Схема оценки негативного воздействия схода наносоводных потоков, по результатам обследования территории с. п. Хабаз: красной линией обозначены границы водосборов; голубым – территория подверженная воздействию наносоводных потоков; оранжевые круги – места выхода наиболее мощных потоков на центральную автодорогу; желтые – выносы каменистого материала на газовую магистраль села.

**Таблица 1** – Параметры водосборных бассейнов прилегающей территории с.п. Хабаз

| № в-ра                   | 1   | 2    | 3    | 4    | 5   | 6    | 7   | 8   | 9    |
|--------------------------|-----|------|------|------|-----|------|-----|-----|------|
| Площадь, км <sup>2</sup> | 0,1 | 0,22 | 0,17 | 0,17 | 0,1 | 0,14 | 0,1 | 0,1 | 0,12 |
| Длина тр. уч-ка, м       | 460 | 730  | 770  | 660  | 500 | 580  | 400 | 570 | 270  |
| Ср. ук-н, градусов       | 18  | 21   | 18   | 21   | 26  | 24   | 29  | 21  | 35   |

Склоны водосборов частично задернованы и изрезаны, во многих местах, струйчатыми размывами, в том числе крупными, которые поставляют материал наносов. Происхождение очагов эрозии здесь можно считать отчасти

техногенным, поскольку в верхней части указанных водосборов просматриваются следы заброшенной дороги, т.е. поверхность склонов была искусственно подрезана.

Мощные наносоводные потоки из указанных водосборов вышли на близлежащие приусадебные участки, приведя в негодность огороды и подтопив хозяйственные постройки жителей села. Основные потоки аккумуляровались по улицам Ленина и Партизанской, с приблизительными расходами  $0,4 - 08 \text{ м}^3/\text{с.}$ , и пересекая селение поперек, вдоль переулков ушли в русло р. Малки. В целом в разной степени пострадали более 80 – ти участков частных домовладений на территории около 42 гектар.

Потоки по водосборам 5 – 9, в нижней части села, сказываются селевыми выносами, в том числе, в пределах 5-го – 7-го водосборов, непосредственно на газовую магистраль села, проходящую у подножия прилегающего склона и на подворья местных жителей (рис. 2, 3).

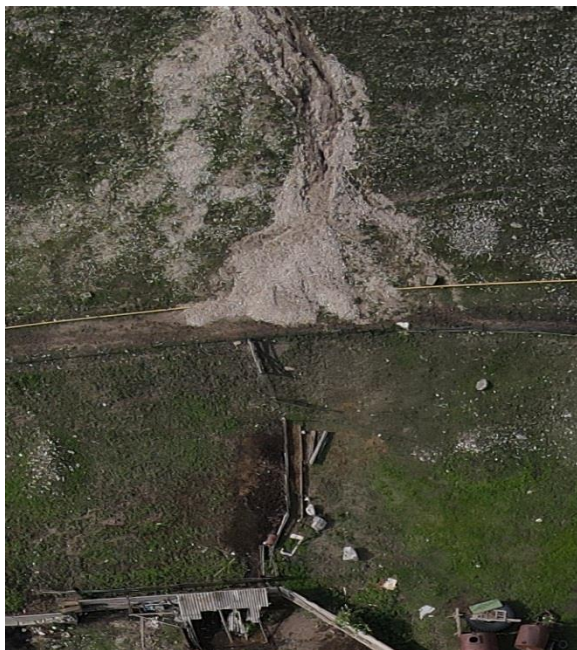


**Рисунок 2** – Завал селевой массой трубы газовой магистрали села.



**Рисунок 3** – Вынос селевых масс на приусадебные участки жителей села.

**Выводы.** Прогрессирующая эрозия склонов и увеличение здесь, вследствие потепления климата, количества и интенсивности осадков, ведет к росту рисков связанных с развитием опасных склоновых процессов. В качестве мер по снижению потенциальной опасности негативного воздействия природных явлений в будущем, следует рекомендовать организованное отведение стока с прилегающих водосборов, сооружение трубных переходов под полотном автодороги центральной улицы села и инженерную защиту газопроводной магистрали.

### Литература

1. Кадастр селевой опасности Юга Европейской части России / Кондратьева Н.В. и др.// – М.: Феория: Нальчик: Печатный двор, 2015. – 148 с.

2. О селях 2011 года на Северном склоне Центрального Кавказа / Докукин М.Д. и др. // Геориск, 2012. – № 7. – С. 30-40.
3. Селевые процессы на современном этапе деградации горного оледенения // Вестник ВНИЦ, 2009. – Т. 9. – №1. – С. 44-49.
4. Сельское поселение Хабаз. Природно-климатические условия. Информационный архив. Электронный ресурс: URL: <https://wiki2.org/ru/Хабаз>. (Дата обращения: 21.08.2021).
5. Заславский М.Н. Эрозиоведение. Основы противозрозионного земледелия// – М.: Высшая школа. 1987. – 376 с.
6. Виды эрозии. Большой информационный архив. Электронный ресурс: URL: <http://bigarchive.ru/geography/pedology/89.php>. (Дата обращения: 22.08.2021).
7. Скрыбина О.А., Флягина Н.В. Эрозия и охрана почв: методические указания. – Пермь: Изд-во ПГСХА, 2013. – 43 с.
8. Щеглов Д.И., Горбунова Н.С. Эрозия и охрана почв//Учебно-метод. пособие для вузов / – Воронеж: Издательско-полиграфический центр Воронежского госуд. Унив., 2011. – 34 с.
9. Кузнецов М.С., Глазунов Г.П. Эрозия и охрана почв// Учебник. – 2-е изд., перераб. и доп./ – М.: Изд-во МГУ, Изд-во «КолосС», 2004. – 352 с.
10. Соколова Д. П. и др. Оценка динамических характеристик селевого потока по видеоматериалам // Гидросфера. Опасные процессы и явления. – 2019. – № 1. Т.1. – С. 31-49.

УДК 550.838.22

## ВЫСОКОТОЧНАЯ МАГНИТОМЕТРИЯ В АРХЕОЛОГИИ: НОВЫЕ ВОЗМОЖНОСТИ ПОИСКА И ИССЛЕДОВАНИЯ ДРЕВНОСТЕЙ

Закиров А.Ш., Янбухтин И.Р., Мусаев У.Т.

*Центр передовых технологий*

*Национального университета Узбекистана имени Мирзо Улугбека*

*(г. Ташкент, Республика Узбекистан)*

***Аннотация.** Статья посвящена применению высокоточной магнитометрии для изучения слабоаномалиеобразующих археологических объектов на примере городищ Далварзинтепа и Хайрабадтепа. В работе анализируются современные методики магниторазведки, описываются особенности проведения измерений и обработки данных. Показано, что использование цезиевых магнитометров позволяет выявлять аномалии с амплитудой до 5–12 нТл, что критично для исследования глинобитных конструкций. Результаты работы подтверждают эффективность магнитометрии как неинвазивного метода для сохранения культурного наследия.*

***Ключевые слова:** магнитометрия, археология, слабоаномалиеобразующие объекты, глинобитные конструкции, Далварзинтепа, Хайрабадтепа, цезиевый магнитометр, геофизические исследования.*

# HIGH-PRECISION MAGNETOMETRY IN ARCHAEOLOGY: NEW OPPORTUNITIES FOR THE DISCOVERY AND STUDY OF ANTIQUITIES

Zakirov A.Sh., Yanbukhtin I.R., Musaev U.T.  
Center for Advanced Technologies  
of Mirzo Ulugbek National University of Uzbekistan  
(Tashkent, Uzbekistan)

**Annotation.** This article focuses on the application of high-precision magnetometry for studying weakly anomaly-forming archaeological objects using the examples of the Dalverzintepa and Khayrabattepa ancient settlements. The paper analyzes modern magnetometry techniques, describes the specifics of measurements and data processing. It is demonstrated that the use of cesium magnetometers enables the detection of anomalies with amplitudes as low as 5–12 nT, which is critical for studying adobe structures. The results confirm the effectiveness of magnetometry as a non-invasive method for preserving cultural heritage.

**Keywords:** magnetometry, archaeology, weakly anomaly-forming objects, adobe structures, Dalverzintepa, Khayrabattepa, cesium magnetometer, geophysical research.

## Введение

Современная археология все чаще обращается к передовым геофизическим методам, которые позволяют исследовать подземные структуры без необходимости проведения разрушительных раскопок. Одним из наиболее результативных инструментов в этом контексте является магнитометрия [1]. Этот метод открывает широкие возможности для выявления и анализа скрытых аномалий, связанных с археологическими объектами. Особую актуальность приобретает изучение слабоаномалиеобразующих объектов ( $\Delta T < 15$  нТл), таких как глинобитные конструкции, характерные для памятников Средней Азии.

Цель данной работы – исследовать возможности применения высокоточной магнитометрии для изучения археологических объектов Далварзинтепа и Хайрабадтепа, а также разработать методические подходы для исследования аналогичных памятников (рисунок 1).

### *Актуальность исследования*

Магнитометрические методы остаются востребованными в археологии по следующим причинам:

Неинвазивность - метод позволяет исследовать подземные структуры без повреждения культурного слоя [2].

Обнаружение скрытых объектов - магнитометрия способна выявить рвы, колодцы, стены и другие археологические структуры, невидимые на поверхности [3].

Эффективность и экономичность - исследования могут проводиться на больших территориях с минимальными затратами времени и ресурсов [4].



**Рисунок 1.** а) Городище Хайрабадтепа; б) Городище Далварзинтепа

Особенно важно применение магнитометрии для изучения объектов с низкой контрастностью магнитных свойств, таких как глинобитные конструкции, где ожидаемые аномалии составляют всего 5–12 нТл. Это требует использования высокочувствительных приборов, таких как цезиевые магнитометры, и строгой методологии проведения измерений.

#### **Методика исследований**

Исследования проводились с использованием протонного магнитометра Geometrics G-856AX и цезиевого магнитометра Geometrics G-864SX, который обеспечивает чувствительность на минимальном уровне шума 0.004 нТл. Измерения выполнялись на площадях размером 50×50 м с шагом между точками 0.5 м (рисунок 2).

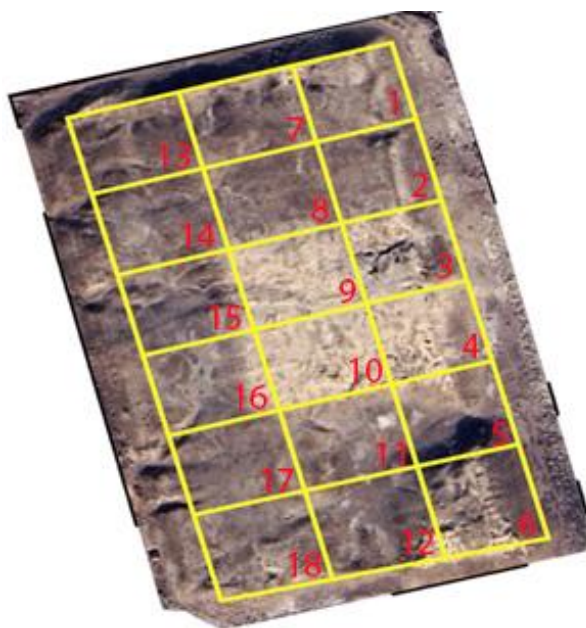


**Рисунок 2.** Пример разделения площади исследований 50×50 м

Для минимизации влияния внешних помех применялись следующие методы:

- калибровка оборудования перед началом работ;
- учет суточных вариаций геомагнитного поля;
- фильтрация шумов при обработке данных.

### Результаты исследований

На исследуемых площадях были выявлены локальные аномалии, связанные с глинобитными стенами и другими археологическими объектами. Например, на городище Далварзинтепа зафиксированы аномалии в диапазоне 5–12 нТл, что соответствует остаткам древних конструкций. На Хайрабадтепа обнаружены кольцевые структуры с аномалиями до 15 нТл, предположительно связанные с оборонительными сооружениями (рис. 3)

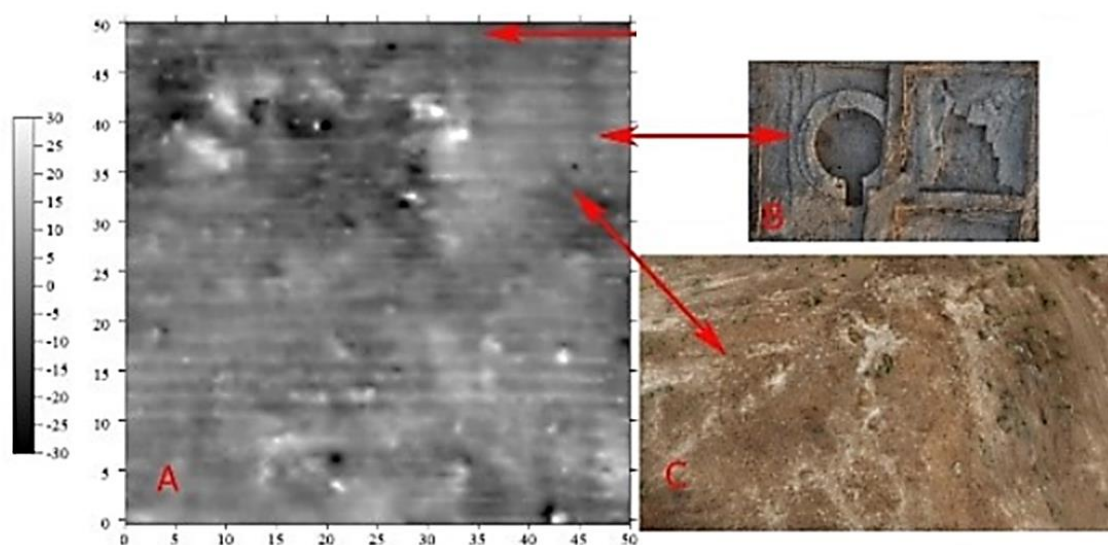


Рисунок 3. Кольцевая структура, обнаруженная в городище Хайрабадтепа

### Обработка данных

Для обработки и интерпретации магнитометрических данных был применен комплекс современных программных решений и методологических подходов. На первичном этапе обработки использовались специализированные программные пакеты GeoPlot и Surfer, позволяющие выполнять профессиональную обработку геофизических данных [5].

Методологическая база исследования включала следующие ключевые процедуры:

- сеточную интерполяцию пространственных данных для создания непрерывного поля магнитных аномалий;
- приведение к полюсу для коррекции искажений, связанных с наклонным расположением силовых линий магнитного поля Земли;
- расчет вертикальных производных для выделения локальных особенностей магнитного поля.

Полученные картографические материалы были интегрированы в геовизуализационную платформу Google Earth, что обеспечило:

- точную геопривязку данных;

- возможность трехмерной визуализации результатов;
- комплексный анализ пространственного распределения аномалий;
- интеграцию с другими геопространственными данными.

Такой комплексный подход к обработке и визуализации данных позволил достичь высокой точности и информативности при интерпретации результатов магнитометрических исследований.

### **Заключение**

Эффективность высокоточной магнитометрии для изучения слабоаномалиеобразующих объектов:

Результаты проведенных исследований подтвердили, что высокоточная магнитометрия представляет собой высокоэффективный инструмент для детального изучения археологических объектов с низкой контрастностью магнитных свойств, таких как глинобитные конструкции. Данный метод позволяет выявлять локальные магнитные аномалии в диапазоне 5–12 нТл, что особенно важно для исследования памятников с минимальными изменениями магнитного поля [6].

Преимущества применения цезиевых магнитометров: использование современных цезиевых магнитометров обеспечивает беспрецедентную точность измерений (до 0.004 нТл) и высокую производительность полевых работ. Это позволяет не только достичь максимальной детализации данных, но и существенно сократить временные затраты на проведение исследований без ущерба для качества получаемых результатов [3].

Перспективы применения разработанной методики - методический подход, апробированный на примере городищ Далварзинтепа и Хайрабадтепа, демонстрирует универсальность и может быть успешно адаптирован для исследования других археологических памятников Средней Азии с аналогичными характеристиками. Разработанные методики обработки и интерпретации данных обеспечивают надежное выявление подземных структур и их пространственной привязки, что открывает новые возможности для сохранения культурного наследия региона [5].

### **Литература**

1. Франтов Г.С., Пинкевич А.А. Геофизика в археологии// Л.: «Недра», 1966. – 212 с.
2. Смекалова Т.Н., Восс О., Мельников А.В. Магнитная разведка в археологии// С.-Петербург, 2007. – 75 с. Электронный ресурс: <https://www.geokniga.org/bookfiles/geokniga-smekalovav-arheologii.pdf>. (Дата обращения: 07.02.2025)
3. Fassbinder J.W.E., Gorka T.H. Beneath the desert soil - archaeological prospecting with a cesium magnetometer. Springer, 2009.
4. Пугаченкова Г.А. О недавних открытиях в Южном Узбекистане// Москва, 1975. – 151 с.
5. Янбухтин И.Р., Закиров А.Ш. Опыт применения неинвазивных методов геофизики при решении задач археологии// Вестник КРАУНЦ. Физико-

математические науки, 2023. – Т. 42. – № 1. – С. 223-238. DOI: <https://doi.org/10.26117/2079-6641-2023-42-1-223-238>.

6. Хмелевской В.К., Горбачев Ю.И., Калинин А.В., Попов М.Г., Селиверстов Н.И., Шевнин В.А. Геофизические методы исследований// Учеб. пособие для геолог. спец. вузов/ КГПУ, Петропавловск-Камчатский, 2004 г. – 227 с. ISBN: 5-7968-0165-1.

УДК 631.4(571.150)

## **ДЕФЛЯЦИОННЫЕ ПРОЦЕССЫ КАК ФАКТОР ДЕГРАДАЦИИ ПОЧВ АЛТАЙСКОГО КРАЯ**

**Кузнецова А.В., Стребкова А.С.**  
*Алтайский государственный университет*  
*(г. Барнаул, Российская Федерация)*

**Аннотация.** В статье рассмотрены предпосылки возникновения и развития дефляционных процессов в Алтайском крае. Приведены масштабы дефлируемых земель сельскохозяйственного назначения, в особенности пашен. Изучены экологические последствия дефляции, а также комплекс мер по снижению ее воздействия.

**Ключевые слова:** ветровая эрозия, дефляция, пашни, земли сельскохозяйственного назначения, дефляционные процессы, деградация земель.

## **DEFLATION PROCESSES AS A FACTOR OF SOIL DEGRADATION IN THE ALTAI KRAI**

**A.V. Kuznetsova, A.S. Strebkova**  
*Altai State University*  
*(Barnaul, Russia)*

**Annotation.** The article examines the prerequisites for the emergence and development of deflation processes in the Altai Region. It provides data on the scale of deflated agricultural lands, particularly arable lands. The ecological consequences of deflation are studied, along with a set of measures aimed at reducing its impact.

**Keywords:** wind erosion, deflation, arable land, agricultural lands, deflationary processes, land degradation.

Алтайский край часто называют житницей Сибири, а иногда и всей России. Во многом это связано с тем, что край является одним из крупнейших аграрных регионов России. Алтайский край занимает первое место по площади пашен в стране (6.5 миллиона гектаров), имеет значительные площади сельскохозяйственного назначения (11,6 миллиона гектаров). Основные направления сельского хозяйства - выращивание зерновых, технических, кормовых, овощных культур, также выделяется садоводство. В свою очередь основными отраслями животноводства являются молочно-мясное скотоводство, свиноводство, овцеводство, реже марало- и пчеловодство. В связи с этим возникает актуальность изучения темы [1].

Ветровая эрозия - серьёзная экологическая проблема, особенно в степных районах Алтайского края, где антропогенная деятельность усугубляет разрушение плодородного слоя почвы. Природные факторы создают предпосылки для дефляции, но ключевую роль играет хозяйственная деятельность человека. Последствия включают снижение плодородия, урожайности, а также риски для здоровья населения. В условиях аграрной экономики края сохранение земель - критически важный аспект продовольственной безопасности. Актуальность исследования заключается в поиске методов борьбы с эрозией для предотвращения деградации почв и сохранения их продуктивности.

*Дефляция* - процесс выдувания, переноса и отложения тонких продуктов выветривания горных пород (пыли, песка, и т.д.), приводящий к снижению плодородия или даже к полному уничтожению почвенного покрова.

Ветровая эрозия наблюдается везде, где занимаются земледелием. Наиболее опасна ветровая эрозия в засушливых и полузасушливых районах (Средняя Азия, Казахстан, юг Сибири и Европейской части России), а также на торфянистых и песчаных почвах, если данные земли вовлечены в сельскохозяйственный оборот [2, с. 60]. Целью настоящего исследования является изучить влияние дефляции на деградацию почв в Алтайском крае.

К природным предпосылкам возникновения дефляционных процессов в Алтайском крае относятся следующие:

1. Алтайский край располагается в пределах 51-54° с.ш. и 78-86° в.д. умеренного пояса Земли. Открытость района с севера и северо-запада имеет отрицательные следствия - метели, суховеи и засухи [3, с. 9].

2. Кулундинская равнина, расположенная в западной части края, имеет минимальную отметку высоты в 96 м. Ее внешний облик сформирован многочисленными бессточными впадинами с округлыми озёрами, буграми и грядами, созданными ветром и водой. От территории Алтайского края равнина занимает около 100 тысяч км<sup>2</sup> [4].

3. Климат в крае - умеренный с признаками континентальности. Среднегодовые температуры положительные (до 2,1 °С). Средние температуры июля составляют от +26 до +28 °С, января – от -20 до -24 °С. В западной части выпадает существенно меньше осадков, чем в восточной и юго-восточной. Разница составляет с 230 до 600-700 мм в год. В летний период поступают сильные ветры с севера, запада и юго-запада часто со скоростью выше 6 м/с. Постоянный снежный покров устанавливается во второй половине ноября и разрушается в начале апреля. На степных участках почва способна промерзнуть на глубину до 2-2,5 м [4].

4. Алтайский край расположен в Центральной лесостепной и степной почвенно-биоклиматической области. Каштановые почвы сухих степей и черноземы засушливой и умеренно засушливой степи занимают большую часть территории Алтайского края, а заодно и наиболее подвержены дефляционным процессам [5].

5. В равнинной местности часто встречаются культурные посадки - сады, лесополосы и парки. Степная растительность отличается низкорослостью и

состоит преимущественно из узколистных злаковых трав, адаптированных к частым засухам. Многие растения обладают мощной корневой системой, позволяющей быстро поглощать влагу после дождя [6].

Природные условия Алтайского края существенно влияют на возникновение дефляции на территории края.

Несмотря на большую площадь пашен и их активное использование, земли сельскохозяйственного назначения уменьшают в площади, отдавая предпочтение землям промышленности. Это вызвано нехваткой земель для добычи полезных ископаемых, размещения кладбищ, полигонов твёрдых бытовых отходов, полей фильтрации, строительства солнечной электростанции [7].

Огромные территории пашен играют значимую роль в возникновении дефляционных процессов. Активизация дефляционных процессов в Алтайском крае пришлась на период массового освоения целинных и залежных земель (1953–1958 гг.), что привело к разрушению структуры почв, распылению пахотного слоя и снижению прочности почвенных комочков. Это существенно усилило подверженность почв ветровой эрозии, развивавшейся с характерной скоростью цепной реакции.

Этапы развития дефляции на территории Алтайского края:

1. До 1950-х годов степной почвенный покров имел потенциальную дефляционную опасность, но массовые деградационные процессы не проявлялись.

2. К 1980-м годам появились четкие категории: слабо-, средне- и сильнодефлированные почвы, хотя последние занимали незначительные площади.

3. К 1990-м годам основной фон составляли слабodeфлированные почвы, что отражало изменения в методах их определения и антропогенном воздействии.

По состоянию на 2000 год сельскохозяйственные угодья края занимали 10 879,8 тыс. га, из которых 4 522 тыс. га пашни (67%) подвергались дефляции:

- слабой степени – 4 102.2 тыс. га;
- средней степени – 376.0 тыс. га;
- сильной степени – 43.8 тыс. га.

Подробное изучение дефлированных пашен было осуществлено в 2015 году. Тогда площадь и процент таких пашен рассматривался по зонам и подзонам Алтайского края. Площадь дефлированной пашни возрастала от горных зон к сухостепной Кулунде: луговая степь Предалтайской равнины – 21.0 тыс. га, сухостепная Кулунда – 881.5 тыс. га.

Доля дефлированной пашни от общей площади увеличивалась с 0% до 95% в том же направлении.

При движении от горных районов к сухостепным территориям усиливаются вертикальное и горизонтальное расчленение рельефа, количество осадков, а также изменяется гранулометрический состав почв (от глинистого до песчаного). Рост скорости ветра и доли сильных порывов (до 15 м/с) способствует интенсификации дефляции [8-10].

Дефляция пашен и отсутствие мер по ее предупреждению и распространению наносит серьезный ущерб экологической обстановке. Эродированные территории выводятся из фонда сельскохозяйственных земель.

Для Алтайского края характерны следующие экологические последствия от дефляционных процессов: заметное снижение плодородия почвы; обеднение химического состава, изменение агрофизических характеристик; спад биологической активности; уменьшение урожайности, потеря продукцией качества; затруднение проведения мероприятий по обогащению грунтов полезными элементами и химизации.

Начиная с 1967 года, принимаются различные законы, программы и схемы по предотвращению распространения дефляции в Алтайском крае.

Например, В 1971-1975 гг. объёмы основных агротехнических противоэрозионных мероприятий выросли в сравнении с 1968-1970 гг. в 1.1-1.7 раза, что дало большой экономический эффект.

В настоящее время противодефляционные меры встречаются в программах по сохранению и восстановлению плодородия почв земель сельскохозяйственного назначения, а также по развитию мелиорации сельскохозяйственных земель.

В основном программы содержат комплекс мероприятий, который подразделен на:

- агротехнические мероприятия (сохранение комковатости верхнего слоя почвы и стерни, полосное размещение паров и посевов);
- лесомелиоративные мероприятия (облесение песков, посадка лесных насаждений вокруг населенных пунктов, по берегам рек, прудов, полезащитное лесоразведение, зеленые зонты на пастбищах);
- организационно-хозяйственные мероприятия (внедрение почвозащитной системы земледелия, уточнение специализации хозяйственных подразделений и объемов сельскохозяйственного производства с учетом требований противоэрозионной защиты, разработка плата по противоэрозионной организации территории по периодам) [11].

### **Выводы**

Алтайский край, находясь в зоне рискованного земледелия подвергается сильнейшим дефляционным процессам. Особенно эти процессы характерны для равнинной части края. Большое значение играет довольно сухой климат на западе, скудная растительность. Распашка целинных земель сыграла передовую роль в возникновении дефляции в крае. Именно с этого момента и началось изучение развития дефляционных процессов в крае.

Больше всего подвержены таким процессам земли сельскохозяйственного назначения, в том числе пашни. В целом, около 75% земель Алтайского края подвергаются дефляции каждый год.

Дефляция несет за собой отрицательные последствия, которые наносят особый вред сельскому хозяйству. Несмотря на это, разрабатывают различные методики по сокращению дефляционных процессов. В Алтайском крае они функционируют на законодательном уровне.

## Литература

1. Министерство сельского хозяйства Алтайского края: официальный сайт. – URL: <https://altagro22.ru/> (дата обращения: 28.03.2025). – Текст: электронный.
2. Иванова О.И. Эрозия почв//Учебное пособие / О.И. Иванова, Д.А. Бураков. – Красноярск: Изд.: Красноярского гос. аграр. унив., 2020. – 103 с.
3. Козырева Ю.В., Рыгалова Н.В. География Алтайского края: учебное пособие / Ю.В. Козырева, Н.В. Рыгалова; АлтГУ, Геогр. фак. – Барнаул: АлтГУ, 2014. – 1 CD-ROM. – Загл. с титул. экрана.
4. Важов В.М. Гречиха на полях Алтая//Монография / В.М. Важов. – Москва, Пенза: Изд.: Дом. Акад. Естествознания, 2013. – 187 с.
5. Бурлакова Л.М. Почвы Алтайского края: учебное пособие / Л.М. Бурлакова, Л.М. Татаринцев, В.А. Рассыпнов. – СХИ. – Барнаул, 1988. – 72 с.
6. Ревякин В.С. География Алтайского края: учебник 8, 9 кл. / В.С. Ревякин. – Барнаул : XXI в., 2004. – 192 с.
7. Структура земельного фонда и социально-экономическое развитие региона (на примере Алтайского края) / сост. И.С. Грицай, Н.Б. Максимова, О.В. Отто. – Барнаул, 2016. – 4 с. // Научная электронная библиотека «Киберленика». – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/struktura-zemelnogo-fonda-i-sotsialno-ekonomicheskoe-razvitie-regiona-na-primere-altayskogo-kraya?ysclid=m7g0xqf76m158843677> (дата обращения: 19.02.2025).
8. Суховеркова В.Е. Трансформация почвенного покрова степи после освоения. / В.Е. Суховеркова // Степи Северной Евразии: материалы VIII международного симпозиума: сб. ст. / ИС УрО РАН, 2018. – С. 953-956.
9. Управление Федеральной службы по ветеринарному и фитосанитарному надзору по Алтайскому краю и Республике Алтай: официальный сайт. – URL: <https://rshn-alt.ru> (дата обращения: 19.02.2025).
10. Зональные и внутризональные особенности развития эрозии и дефляции в Алтайском крае / А.А. Зырянов, В.Л. Татаринцев, Л.М. Татаринцев и др. – Текст: электронный // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. – 2017. – №148. – С. 29-37.
11. Особенности противозерозионной организации территории в условиях проявления дефляции: официальный сайт. – URL: [https://portal.tpu.ru/SHARED/v/VIDAYKINA/study\\_work/2/lecty6.pdf](https://portal.tpu.ru/SHARED/v/VIDAYKINA/study_work/2/lecty6.pdf) (дата обращения: 11.03.2025).

**МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ СТОКА РЕКИ СОХ****Мягков С.В., Махмудов Б.Б., Хабибуллаев Ш.Х.*****Научно-исследовательский гидрометеорологический институт  
(г. Ташкент, Республика Узбекистан)***

**Аннотация.** Целью данного исследования является определение доли ледникового стока в бассейне горной реки для дальнейших расчетов объемов пресноводного стока. На основе математической модели формирования стока горных рек проведен анализ многофакторной зависимости и определен объем ледникового стока при различных климатических параметрах. Полученные результаты показали, что в зависимости от климатических параметров текущего года доля ледникового стока колеблется от 10% до 40%. Формула расчета может быть использована для прогнозирования доли ледникового стока в зависимости от изменения климата при известных климатических сценариях.

**Ключевые слова:** ледниковый сток, изменение климата, компоненты стока, множественная регрессия, гидрологические расчеты.

**MATHEMATICAL MODELING OF THE SOKH RIVER RUNOFF****Myagkov S.V., Makhmudov B.B., Khabibullaev Sh.Kh.*****Research Hydrometeorological Institute  
(Tashkent, Uzbekistan)***

**Annotation.** The purpose of this study is to determine the share of glacier runoff in the mountain river basin for further calculations of freshwater runoff volumes. Based on the mathematical model of mountain river runoff formation, an analysis of the multifactorial dependence was carried out and the volume of glacier runoff was determined under various climatic parameters. The results showed that, depending on the climatic parameters of the current year, the share of glacier runoff fluctuates from 10% to 40%. The calculation formula can be used to predict the share of glacier runoff depending on climate change under known climatic scenarios.

**Keywords:** glacier runoff, climate change, runoff components, multiple regression, hydrological calculations.

**Введение**

Изменение климата на планете оценивается по изменению температуры приземного слоя воздуха на метеорологических станциях и выпадению осадков на поверхность речного бассейна. Температура воздуха определяет таяние ледников. Осадки определяют снежный покров в бассейне реки и пополняют объем ледникового покрова.

В бассейне Аральского моря много малых рек с ледниковым питанием. Изменение климата усилило интенсивность таяния высокогорных ледников. Динамика осадков в высокогорных районах изменяет толщину оледенения и пополняет запасы ледниковой массы.

**Актуальность.** В высокогорной области водосборной части бассейна Аральского моря происходят изменения элементов гидрологического цикла, связанные с изменением климата. Многие исследования указывают на сокращение площади высокогорного оледенения за период с 1960 по 2020 годы

с 20% до 40%.

Продвижение нулевой изотермы по высотным поясам во многом определяет интенсивность таяния. Количество талой воды определяется количеством выпавших на водосборной площади осадков. Ледники являются многолетними аккумуляторами осадков. Количество воды, накопленной в ледниках, и таяние льда определяется многими гидрометеорологическими параметрами. Для моделирования ледникового стока используется подход, зависящий от температуры воздуха. Рост плотности населения и экономической активности, особенно в городских районах, а также изменение моделей водопользования создают проблемы для ограниченных водных ресурсов, доступных людям.

### Методология

В настоящее время исследования [1, 2] речного стока в горах отражают изучение тенденций изменения температуры воздуха и режимов осадков в речных бассейнах с последующим использованием полученных данных в математических моделях формирования стока и, соответственно, тенденций динамики стока, которые строятся в зависимости от сценариев изменения климата [3].

Рассчитывается оценка тенденций изменения стока горных рек непосредственно на основе динамики стока за различные климатические периоды с использованием линейных и полиномиальных статистических зависимостей. Формирование стока горной реки происходит в результате таяния выпавшего зимой снежного покрова, таяния ледников летом, притока грунтовых вод и дождей.

Если сток формируется пропорционально зимним осадкам, выпадающим на территории водосбора, таянию сезонных снегов и ледников, то в общем виде уравнение водного баланса на определенный период можно записать в виде:

$$Q = \alpha * P + \beta * T + \gamma, \quad (1)$$

где:  $Q$  — приток воды в русло реки,  $P$  — осадки на водосборной площади,  $T$  — температура воздуха на метеостанции,  $\alpha$ ,  $\beta$  — коэффициенты пропорциональности,  $\gamma$  — некоторый постоянный коэффициент, характеризующий приток грунтовых вод и таяние снежников в оврагах.

Для вегетационного периода использовано уравнение пропорциональности количества воды от количества осадков за зимний период (октябрь-март) количеству талых вод ледникового стока за летний период (июль-август):

$$Q_{April-September} = \alpha * X_{Winter} + \beta * T_{Summer} + \gamma, \quad (2)$$

в котором  $Q_{April-September}$  - объём стока за вегетационный период (апрель-сентябрь),  $X_{Winter}$  - сумма осадков за период с ноября по март,  $T_{Summer}$  - сумма положительных температур воздуха за летний период,  $\gamma$  - свободный член полиномиального уравнения, в данном случае показывает некоторый приток грунтовых вод.

Значения коэффициентов множественной регрессии были получены в

нормализованном виде (стандартизированная форма уравнения регрессии):

$$t_y = 0.393 * x_1 + 0.391 * x_2; \text{ коэффициент детерминации: } R^2 = 0.55842 = 0.3118.$$

Коэффициент регрессии в данном случае заметно мал. Это обстоятельство объясняется значительным превышением количества осадков в период апрель-июнь над количеством осадков в зимний период.

В работе [4] предложен способ представления обыкновенного дифференциального уравнения в виде разностной схемы на основе явной схемы Эйлера, а для расчетов предлагается использовать неявную схему.

Для прогнозирования неявная схема не подходит, так как прогнозирование осадков и температуры на длительный период практически невозможно. В этом исследовании доказано на практическом материале, что использование усредненных значений в качестве входных параметров также усредняет конечные результаты.

Для моделирования речного стока использовалось уравнение водного баланса речного бассейна, которое было представлено явной схемой Эйлера для обыкновенных дифференциальных уравнений и в результате преобразований в окончательном и упрощенном виде выглядит следующим образом:

$$Q^{t+1} = \alpha * Q^t + \tau * \beta * (\Sigma P - \Sigma R)^t \quad (3)$$

В уравнении  $Q$  – расход воды в замыкающем створе на временном шаге «  $t$  » и «  $t+1$  », «  $\Sigma P$  » и «  $\Sigma R$  » – сумма приходных и расходных элементов водного баланса, зависящих от гидрометеорологических параметров,  $\tau$  – временной шаг, «  $\alpha$  » и «  $\beta$  » – коэффициенты, определяемые методом множественной регрессии.

Сток воды формируется под воздействием различных факторов; запишем это обстоятельство в виде модели:

$$Q_{river}^{t+1} = \alpha * Q_{river}^t + \beta * \sum_i P_i^t + \lambda * X^t + \gamma * T_{glacial}^t \quad (4)$$

где  $Q_{river}^{t+1}$  – расход воды на участке реки в момент времени  $t+1$ ;  $Q_{river}^t$  – расход воды на участке реки за предыдущий момент времени;  $\sum_i P$  – количество осадков за зимний период;  $X^t$  – осадки за предыдущее время;  $T_{glacial}^t$  – температура воздуха за предыдущий период времени.

По уравнению определены коэффициенты множественной регрессии ( $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $\lambda$ ,  $\gamma$ ) для реки Сох (пост Сарыканда) для различных месяцев года.

На рисунке показаны гидрографы вегетационных расходов воды в створе Сарыканда (измеренные, расчётные и линия тренда).

Линия тренда показывает, что расходы воды увеличиваются в период 1973-2003 гг., а затем наступает период стабилизации. Это объясняется тем, что происходит таяние и расходы воды увеличиваются. Затем объёмы ледников, подлежащих таянию уменьшаются и таяние замедляется.

По параметрам стандартизированного уравнения множественной регрессии можно определить долю ледниковой составляющей в зависимости от температуры воздуха на метеорологической станции наблюдений. Для реки Сок

эта доля колеблется от 10% до 24%.

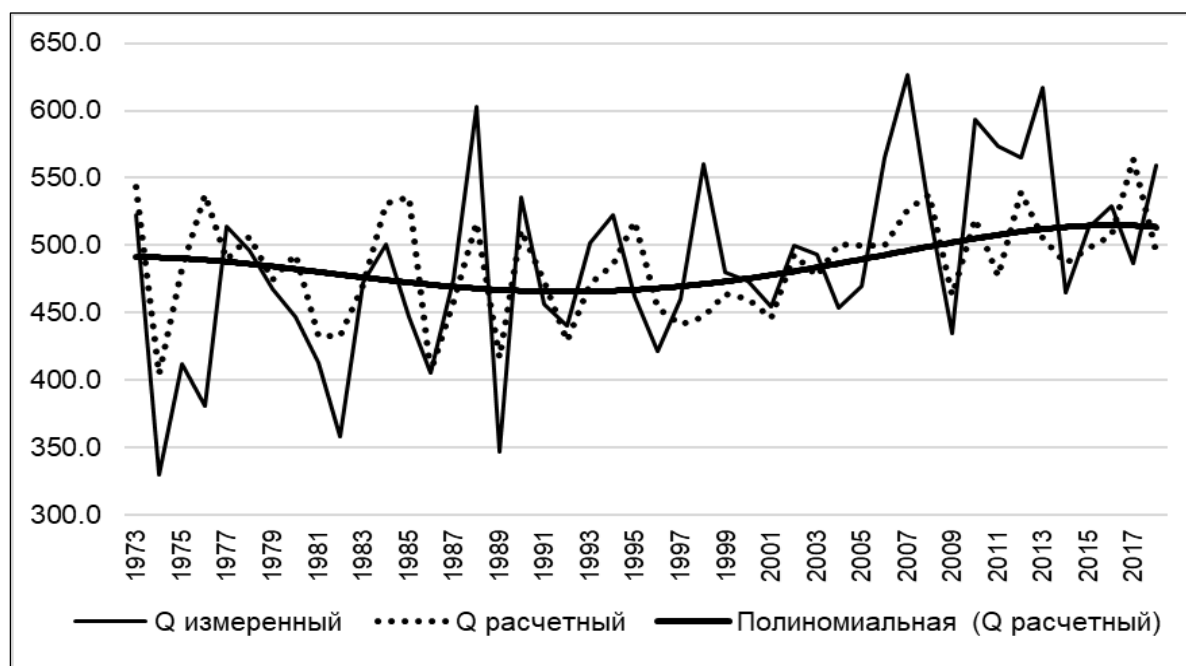


**Рисунок.** Гидрограф стока реки Сох за многолетний период (измеренный на створе, расчётный по многофакторному уравнению и линия полиномиального тренда)

**Закключение.** В результате факторного анализа получены материалы, позволяющие сделать выводы о применимости метода нахождения объемов ледникового стока в горных районах. В период, когда на склонах еще лежит снег, а температура воздуха уже положительная происходит одновременное таяние как снега, так и льда на ледниках. В этот период снеговой и ледниковый стоки имеют комбинированное происхождение.

Динамика линии тренда ледникового стока объясняется уменьшением запасов водной составляющей ледников. Увеличение высоты нулевой изотермы в высокогорной зоне приводит не только к сокращению стока, но и позволяет предположить, что речной сток в большей степени будет определяться режимом сезонных снеготопов и в меньшей степени температурным режимом в летний период.

Динамические изменения температурного режима воздуха приводят к изменению процессов абляции и таяния. При резком повышении температуры воздуха происходят процессы, повышающие снеговую линию и, следовательно, последующее резкое повышение температуры воздуха не приводит к увеличению ледниковой составляющей.

### Литература

1. Bliss A., Hock R. and Radić V. Global response to glacier runoff to twenty-first century climate change //J. Geophys. Res., 2014, 119(4), 717–730.
2. Fillon R.H., Williams D.F., Dynamics of meltwater discharge from Northern Hemisphere ice sheets during the last deglaciation. 1984, Nature, No.310. – Pp. 674-677.
3. Hirabayashi Y., Döll, P and Kanae. Global-scale modeling of glacier mass balances

for water resource assessments: glacier mass changes between 1948 and 2006 // J. Hydrol, 2010, 390, 245-256 (Doi: 10.1016/j.jhydrol.2010.07.001)

4. Меркулова Н.Н., Михайлов М.Д. Разностные схемы для обыкновенных дифференциальных уравнений// Томск. Изд.: Наука, 2014. – 122 с.

УДК 551.243

## **ХАРАКТЕРИСТИКА ТРЕЩИНОВАТОСТИ МАССИВА ОСНОВАНИЯ КАМЕННО-НАБРОСНОЙ ПЛОТИНЫ В РЕСПУБЛИКЕ ТАДЖИКИСТАН**

**Низомзода Х.К., Барыкина О.С.**

***Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова  
(г. Москва, Российская Федерация)***

**Аннотация.** Каменно-набросная плотина Рогунской ГЭС располагается на территории со сложными инженерно-геологическими условиями, наличием активных разломов и множественных трещин в массиве вблизи и в основании сооружений, и возможностью высокоамплитудных подвижек по ним при землетрясении. Исследование трещиноватости массива основания и примыканий в гидротехническом строительстве имеет важное значение в связи с её негативным влиянием на прочность, деформируемость и водопроницаемость. Дается инженерно-геологическая характеристика трещиноватости, выявленных на участке строительства Рогунской гидроэлектростанции в республике Таджикистан. Выделены и охарактеризованы основные системы трещин, оказывающие влияние на общую и локальную устойчивость массива, а также на фильтрацию в обход плотины.

**Ключевые слова:** каменно-набросная плотина, река Вахш, трещиноватость, тектонические разломы, коэффициент трещинной пустотности.

## **NATURE OF FRACTURING OF THE ROCK-FILL DAM FOUNDATION MASSIF IN THE REPUBLIC OF TAJIKISTAN**

**H.K. Nizomzoda, O.S. Barykina**  
***Lomonosov Moscow State University***  
***(Moscow, Russia)***

**Annotation.** The rock-fill dam of Rogun HPP is located in the territory with complex engineering-geological conditions, the presence of active faults and multiple cracks in the massif near and at the base of the structures, and the possibility of high-amplitude movement along them during an earthquake. The study of fracturing of the base massif and abutments in hydraulic engineering construction is important due to its negative impact on strength, deformability and permeability. The engineering-geological characteristic of fracturing identified at the construction site of Rogun HPP in the Republic of Tajikistan is given. The main fracture systems influencing the general and local stability of the massif, as well as filtration bypassing the dam, are identified and characterized.

**Keywords:** rock-fill dam, Vakhsh River, fracturing, tectonic faults, fracture void coefficient.

Рогунская ГЭС с каменно-набросной плотиной высотой 335 м возводится на р. Вахш в сложных инженерно-геологических условиях. Ущелье сложено сильнотрещиноватыми переслаивающимися терригенными породами -

песчаниками, алевролитами и аргиллитами. Район строительства характеризуется высокой сейсмичностью (9 баллов по MSK-64) и активной тектонической деятельностью. Рассматриваемый район представляет собой сильно деформированный блок земной коры с разнообразными по кинематическому типу тектоническими нарушениями. Формирование разломно-блоковой структуры этого участка происходило под воздействием сжимающих региональных напряжений.

Район строительства Рогунской ГЭС расположен в зоне сочленения двух крупных тектонических структур Центральной Азии – Афгано-Таджикской депрессии и юго-западного Тянь-Шаня, разделённых Вахшским региональным разломом первого порядка (рис. 1).

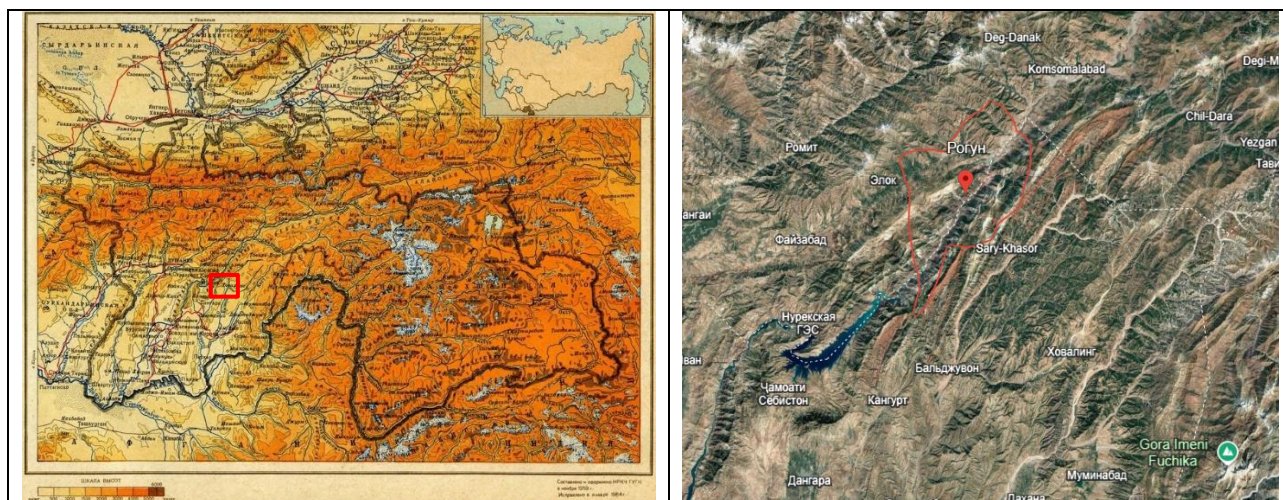


**Рисунок 1.** Расположение площадки строительства Рогунской ГЭС на карте Республики Таджикистан (подложка Google Earth)

В геологическом строении преобладают мезо-кайнозойские отложения, представленные меловыми осадочными породами, смятыми в сложные складки. Нижний отдел мела сложен красноцветными континентальными образованиями мощностью 700-1500 м, а верхний – сероцветными морскими и лагунными отложениями. Палеоценовые отложения встречаются фрагментарно и представлены известняками и гипсами, а плиоценовые – конгломератами и брекчиями. Четвертичные отложения включают галечники, пески и лессовидные суглинки. Интрузивные породы (граниты верхнего карбона) имеют ограниченное распространение. Основную часть разреза составляют скальные грунты – песчаники, аргиллиты и алевролиты с крутым падением ( $65-75^\circ$ ), обладающие высокой прочностью, за исключением зон тектонического дробления [3].

Основным структурным элементом района является Вахшский разлом – крупный надвиг с амплитудой вертикального смещения до 5–6 км. В районе гидроузла он сопровождается оперяющими разломами второго порядка (Гулизинданским и Ионахшским), которые характеризуются зонами дробления мощностью до 100 м и амплитудами смещения свыше 1 км. [1].

На изучаемой территории преобладают трещинные подземные воды, которые делятся на три типа: верховодку, грунтовые и напорные воды. Верховодка встречается на разных высотах в виде отдельных родников с дебитом 0,1-0,2 л/сек. Эти воды имеют различную минерализацию - сульфатную, сульфатно-гидрокарбонатную и сульфатно-хлоридную с содержанием сухого остатка 0,8-2,3 г/л [3].

Формирование подземных вод в районе тесно связано с климатическими, геоморфологическими и геолого-структурными особенностями. Основное питание водоносных горизонтов происходит за счет таяния ледников и снежников в высокогорьях Каратегинского и Вахшского хребтов, а также (в меньшей степени) за счет местных водотоков. Благоприятные условия для накопления вод создают трещиноватые коренные породы, проницаемые четвертичные отложения и значительное количество осадков (до 1500-2000 мм/год), несмотря на их интенсивный поверхностный сток [3].

Река Вахш служит основным базисом дренирования, от которого уровень грунтовых вод постепенно повышается вглубь склонов. Многочисленные притоки выполняют роль местных дренирующих элементов. При заполнении проектируемого водохранилища ожидается подъем уровня подземных вод, но это не вызовет существенных негативных последствий [3].

Наиболее характерными современными геологическими и инженерно-геологическими процессами являются: криповые движения по разломам, сейсмичность, склоновые гравитационные и эрозионные процессы, выветривание и др. Мощность выветрелых пород составляет 2-5 м. Трещины разгрузки встречаются в приповерхностной части склонов и отчленяют блоки шириной до 10-15 м. Гравитационные процессы в коренных породах отличаются разнообразием условий формирования, объемом и механизмом движения [3].

Характеристика трещиноватости вмещающих пород направлена на выявление особенностей тектонической и экзогенной трещиноватости, наиболее существенных с точки зрения решаемых задач - обеспечения устойчивости стенок подземных выработок, откосов и склонов. Тектонические и экзогенные трещины представляют собой объемные геологические тела, но в нашем случае мы будем рассматривать их как двумерные (плоские) [2].

Графические способы обработки результатов картирования трещин применяются для выяснения закономерностей в распределении и ориентировке трещин в горных породах. Первичной формой систематизации полевых данных являются таблицы трещиноватости, в которых приводятся сведения о генетических типах трещин, элементах залегания, ширине, протяженности, характере выполнения и других характерных признаках [3]. В обнажении трещиноватых горных пород выбирается площадка квадратной формы, величина которой определяется характером, размером и густотой трещин. Площадка зарисовывается или фотографируется, а все встреченные в ее пределах трещины нумеруются и описываются [2].

Для количественной оценки интенсивности трещиноватости массива горных пород применяется площадной коэффициент трещинной пустотности, предложенный Л.И. Нейштадт (1969). Под коэффициентом трещинной

пустотности  $K_{\text{тр}}$  понимается отношение площади трещин (в любой плоскости)  $S_{\text{т}}$  к площади  $S$  той площадки, на которой произведено измерение этих трещин, выраженное в процентах [2]:

$$K_{\text{тр}} = \frac{S_{\text{т}}}{S} \cdot 100\%$$

Для вычисления площадного коэффициента трещинной пустотности составляется расчетная таблица. Все трещины подразделяются по генезису, ширине и характеру заполнения на несколько групп, для каждой из которых указываются количество трещин, их средние ширина и длина. Площади трещин, вычисленные по группам, суммируются, берется отношение (%) общей площади трещин к площади площадки подсчета, что дает площадной коэффициент трещинной пустотности.

Площадной коэффициент трещинной пустотности является приближенной количественной характеристикой интенсивности трещиноватости массива пород [2].

Карта трещиноватости строится на геолого-структурной основе, с выделением зон трещиноватости различного генезиса и разной степени. Генезис трещиноватости показывается, как правило, типом штриховки. Интервалы оценки степени трещиноватости следующие: слабо ( $K_{\text{тр}} < 2\%$ ), средние ( $K_{\text{тр}} = 2-5\%$ ), сильно ( $K_{\text{тр}} = 5-10\%$ ), очень трещиноватые ( $K_{\text{тр}} = 10-15\%$ ) и раздробленные породы ( $K_{\text{тр}} > 15\%$ ). С увеличением интенсивности трещиноватости густота штриховки усиливается. Помимо информации относительно генезиса и интенсивности трещиноватости на карту наносят розы-диаграммы простираций трещин для каждого участка наблюдений.

### Литература

1. Барыкина О.С., Фоменко И.К., Зеркаль О.В. Оценка влияния проходки туннеля на напряженно-деформированное состояние неоднородного скального массива в сложных геологических и сейсмотектонических условиях// Геотехника. 2021. – Т. XIII. – № 1. – С. 6-18.
2. Золотарёв Г.С. Учебное пособие по инженерной геологии// - М.: Изд.: Московского университета, 1990. – 295 с.
3. Паремуд С.П., Новоженин В.Д., Бурдюков Б.А. Рогуская ГЭС на реке Вахш в Республике Таджикистан. Концепция достройки станции// Природные условия. Книга 3. Инженерно-геологические условия. М. Гидропроект. 2009. Т. 2. – 151 с.

**АНАЛИЗ СОДЕРЖАНИЯ ТЯЖЁЛЫХ МЕТАЛЛОВ И МЫШЬЯКА  
В ВЕРТИКАЛЬНОМ ПРОФИЛЕ ПОЧВ ЮГО-ВОСТОЧНОЙ ЧАСТИ  
СОГДИЙСКОЙ ОБЛАСТИ С УЧЁТОМ ЭМПИРИЧЕСКИХ  
ПОКАЗАТЕЛЕЙ ЗАГРЯЗНЕНИЯ**

**Нурматзода Д.Х.<sup>1</sup>, Рахматзода М.Н.<sup>1</sup>, Абдуллозода С.Ф.<sup>2</sup>**

**<sup>1</sup>Худжандский государственный университет имени академика Б. Гафурова  
(г. Худжанд, Республика Таджикистан)**

**<sup>2</sup>Физико-технический институт имени С.У. Умарова  
Национальной академии наук Таджикистана  
(г. Душанбе, Республика Таджикистан)**

***Аннотация.** В статье представлены результаты эколого–геохимической оценки почв юго–восточной и центральной частей Северного Таджикистана. На основе полученных данных о содержании тяжёлых металлов и мышьяка в верхних слоях почвы и вглубь почвенного профиля были рассчитаны коэффициенты загрязнения, комплексные показатели загрязнения, Кларк концентрации (КК) и рассеяния (КР) веществ, а также суммарные показатели загрязнения в административных центрах и других населённых пунктах на этих территориях. Оценка включает элементы, относящиеся к 1, 2 и 4 классам опасности. Оценка состояния верхнего слоя почвы на основе  $Z_c$  показала, что почвы всех исследуемых территорий относятся к категории слабого (допустимого) загрязнения ( $Z_c$  менее 16).*

***Ключевые слова:** тяжёлые металлы, почва, элементный ряд, эколого–геохимическая оценка, показатель потенциального экологического риска.*

**ANALYSIS OF HEAVY METALS AND ARSENIC CONTENT IN THE VERTICAL  
PROFILE OF SOILS IN THE SOUTH-EASTERN PART OF THE SUGHD REGION  
TAKING INTO ACCOUNT EMPIRICAL POLLUTION INDICATORS**

**D.Kh. Nurmatzoda<sup>1</sup>, M.N. Rakhmatzoda<sup>1</sup>, S.F. Abdullozoda<sup>2</sup>**

**<sup>1</sup>Khujand State University after academician B. Gafurov  
(Khujand, Tajikistan)**

**<sup>2</sup>S.U. Umarov Physical-Technical Institute  
of the National Academy of Sciences of Tajikistan  
(Dushanbe, Tajikistan)**

***Annotation.** The article presents the results of an ecological and geochemical assessment of soils in the southeastern and central parts of Northern Tajikistan. Based on the obtained data on the content of heavy metals and arsenic in the upper soil layers and deeper soil profiles, pollution coefficients, complex pollution indices, Clarke concentrations (CC) and dispersions (CD) of substances, as well as total pollution indices for administrative centers and other settlements in these areas were calculated. The assessment includes elements classified as hazard classes 1, 2, and 4. The assessment of the upper soil layer based on  $Z_c$  indicates that the soils of all studied areas fall under the category of low (permissible) pollution ( $Z_c < 16$ ).*

***Keywords:** heavy metals, soil, element series, ecological and geochemical assessment, potential ecological risk index.*

На основе анализа литературных данных [1-3] для выявления наличия загрязнения тяжёлыми металлами и мышьяком в верхнем слое почвы и их

наименьших региональных значений были рассчитаны коэффициенты концентрации (CF) для каждого вещества. Также для оценки экологической обстановки был рассчитан суммарный показатель загрязнения ( $Z_c$ ) данными элементами, который позволяет гигиенически обоснованно дифференцировать исследуемую территорию по степени опасности. Расчёт коэффициентов концентрации (CF) и суммарного показателя загрязнения ( $Z_c$ ) для исследуемых элементов проводился в соответствии с [2, с.68–70].

Прежде всего следует отметить, что максимальное содержание всех рассматриваемых ТМ в почвах поверхностного горизонта (табл. 1) превышает фоновые значения на всей исследуемой территории. Максимальные, средние и минимальные значения CF представлены в таблице 1.

**Таблица 1.** Коэффициент концентрации (CF) тяжёлых металлов и мышьяка в пробах почв

| Коэффициенты концентрации (CF) |      |      |                  |      |                                |
|--------------------------------|------|------|------------------|------|--------------------------------|
| элементы 1-го класса опасности |      |      |                  |      |                                |
|                                | Zn   | As   | Pb               | –    | –                              |
| максимум                       | 1,99 | 2,50 | 2,25             | –    | –                              |
| среднее                        | 1,00 | 1    | 1,00             | –    | –                              |
| минимум                        | 0,52 | 0,01 | 0,01             | –    | –                              |
| элементы 2-го класса опасности |      |      |                  |      |                                |
|                                | Cr   | Ni   | Co               | Cu   | –                              |
| максимум                       | 1,29 | 1,72 | 6,03             | 1,07 | –                              |
| среднее                        | 1    | 1,00 | 1,00             | 1,00 | –                              |
| минимум                        | 0,86 | 0,40 | 0,13             | 0,88 | –                              |
| элементы 4-го класса опасности |      |      |                  |      |                                |
|                                | V    | MnO  | TiO <sub>2</sub> | Sr   | Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> |
| максимум                       | 4,16 | 1,43 | 1,34             | 1,49 | 1,62                           |
| среднее                        | 1    | 1    | 1,03             | 1    | 1,00                           |
| минимум                        | 0,24 | 0,86 | –0,12            | 0,82 | 0,52                           |

Значения CF для Zn, As, Pb, Cr, Ni, Co, Cu, V, MnO, TiO<sub>2</sub>, Sr и Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> варьировались в диапазонах от 0,52 до 1,99, от 0,01 до 2,50, от 0,01 до 2,25, от 0,86 до 1,29, от 0,40 до 1,72, от 0,13 до 6,03, от 0,88 до 1,07, от 0,24 до 4,16, от 0,86 до 1,43, от –0,12 до 1,34, от 0,82 до 1,49 и от 0,52 до 1,62 соответственно. Средние значения этих элементов находятся в пределах 1, что указывает на отсутствие загрязнения исследуемых почв данными металлами. Результаты расчёта показали, что значения CF всех анализируемых ТМ в почве указывают на низкий уровень загрязнения и относятся к категории  $1 < CF < 2$ .

Значения CF для ТМ в почвах на глубине 5 см распределялись следующим образом: TiO<sub>2</sub> > Sr > Pb > As > Zn > Cu > Ni > Co > Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> > MnO > Cr > V. Распределение значений CF для ТМ в почвах на глубине 5–25 см было следующим: TiO<sub>2</sub> > Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> > Pb > Co > Sr > As > Zn > Cu > Ni > MnO > Cr > V. Значения CF на глубине 25 – 50 см следует расположить в следующем убывающем порядке: TiO<sub>2</sub> > Co > Sr > Pb > As > Zn > Cu > Ni > Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> > MnO > Cr > V. Значения CF на глубине 50 – 100

см распределяются в убывающем порядке следующим образом:  $Sr > Pb > As > Zn > Cu > Ni > Co > Fe_2O_3 > MnO > Cr > V > TiO_2$ .

Суммарный показатель загрязнения ( $Z_c$ ) почв тяжёлыми металлами и мышьяком. Оценка состояния верхнего слоя почвы на основе  $Z_c$  показала, что почвы всех исследуемых территорий относятся к категории слабого (допустимого) загрязнения ( $Z_c$  менее 16). Из расчёта данного показателя можно сделать вывод, что для исследуемых ТМ и мышьяка, в пределах юго-восточной и центральной частей области, характерен минимальный суммарный уровень загрязнения почв (см. табл. 2).

**Таблица 2.** Величина коэффициента суммарного показателя загрязнения ( $Z_c$ ) почв тяжёлыми металлами и мышьяком

| Суммарный показатель загрязнения ( $Z_c$ ) |      |                  |      |                                |
|--------------------------------------------|------|------------------|------|--------------------------------|
| Элементы 1-го класса опасности             |      |                  |      |                                |
| Zn                                         | As   | Pb               | –    | –                              |
| 1,00                                       | 1,00 | 1,02             | –    | –                              |
| Элементы 2-го класса опасности             |      |                  |      |                                |
| Cr                                         | Ni   | Co               | Cu   | –                              |
| 1,00                                       | 1,00 | 1,01             | 1,00 | –                              |
| Элементы 4-го класса опасности             |      |                  |      |                                |
| V                                          | MnO  | TiO <sub>2</sub> | Sr   | Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> |
| 1,01                                       | 1,00 | 1,58             | 1,00 | 1,07                           |

## Выводы

Результаты расчёта показали, что значения CF всех анализируемых ТМ в почве указывают на низкий уровень загрязнения и относятся к категории  $1 < CF < 2$ . Оценка состояния верхнего слоя почвы на основе  $Z_c$  показала, что почвы всех исследуемых территорий относятся к категории слабого (допустимого) загрязнения ( $Z_c$  менее 16).

## Литература

1. Чугай Н.В., Кулагина Е.Ю., Курочкин И.Н., Краснощеков А.Н., Ларионов М.В. Картографирование результатов оценки загрязнения тяжёлыми металлами почв г. Владимира с применением ГИС-технологий/ АгроЭкоИнфо, 2020. – №1. – С.1-12.
2. Чугай Н.В., Курочкин И.Н., Кулагина Е.Ю. Оценка загрязнения урбанизированных почв тяжелыми металлами на территории г. Владимира // Экология и промышленность России, 2022. – Т. 26. – № 6. – С. 67-71.
3. Подолец А.А., Селиванов О.Г. Марцев А.А. Оценка загрязнения почв рекреационных территорий промышленного города соединениями тяжёлых металлов и мышьяка // Теоретическая и прикладная экология, 2018. – № 2. – С. 94-101.

**ИССЛЕДОВАНИЯ ЛЕДНИКА ФЕДЧЕНКО  
И СТРОИТЕЛЬСТВО ЛЕДНИКОВОЙ ОБСЕРВАТОРИИ  
(ИЗ ОТЧЁТА ТАДЖИКСКО-ПАМИРСКОЙ ЭКСПЕДИЦИИ 1933 ГОДА)**

**Разыков Б.Х.**

*Международный университет туризма  
и предпринимательства Таджикистана  
(г. Душанбе, Республика Таджикистан)*

**Аннотация.** Статья освещает значимость исследовательских экспедиций в высокогорный Памир, проведённых Советско-Германской экспедицией 1928 года и Таджикско-Памирской экспедицией 1933 года. Результаты работ по исследованию района ледника Федченко и строительству на нём ледниковой обсерватории представляют ценный научный материал, посвящённый гидрометеорологическому режиму высокогорья и ледниковых районов Памира. **Ключевые слова:** ледник Федченко, движение ледника, памирские экспедиции, обсерватория, лагерь, международный полярный год.

**FEDCHENKO GLACIER SURVEY  
AND CONSTRUCTION OF THE GLACIER OBSERVATORY  
(FROM THE REPORT OF THE TAJIK-PAMIR EXPEDITION OF 1933)**

**B.H. Razykov**

*International University of Tourism and Entrepreneurship of Tajikistan  
(Dushanbe, Tajikistan)*

**Annotation.** The article highlights the importance of research expeditions to the high Pamirs carried out by the Soviet-German expedition of 1928 and the Tajik-Pamir expedition of 1933. The results of the study of the Fedchenko Glacier area and the construction of a glacier observatory on it are valuable scientific material devoted to the hydrometeorological regime of the highlands and glacial regions of the Pamirs.

**Keywords:** Fedchenko glacier, glacier movement, Pamir expeditions, observatory, camp, international polar year.

До 1928 года всё пространство высокогорного Памира к югу от хребта Петра 1-го и Заалайского хребта было неизвестно, как и существование хребта Академии. На десятивёрстной карте весь громадный район к западу от Памирской пустыни изображался «белым пятном».

В 1928 году впервые в этот район проникла возглавляемая управляющим делами СНК СССР Н.П. Горбуновым, Советско-Германская экспедиция по леднику р. Танымас и открыла хребет Академии и тянувшийся вдоль неё громадный ледник Федченко, большую ледяную дорогу в 70 с лишним км при 6-8 км ширины.

Таджикско-Памирская экспедиция (ТПЭ) 1933 г. преемственно продолжила ранее начатые исследования. Экспедиция, работая под научным руководством Академии Наук СССР была подчинена Совету Народных Комиссаров (СНК) СССР. В постановлении СНК СССР от 4 апреля 1933 г. за № 638 одними из задач экспедиции были определены: продолжить работы II Международного

полярного года, закончить постройку метеорологических станций на леднике Федченко и пике Сталина, продолжить изучение ледниковых областей Памира.

Экспедиция состояла из отрядов, организованных такими учреждениями Академии Наук как Ломоносовский институт, Энергетический институт, Химическая ассоциация, а также ЦНИГРИ, Всесоюзный Экспедиционный комитет, Институт прикладной минералогии, Комитет СССР по проведению II-го международного полярного года (МПГ) и ЦУЕГМС, Гидрологический институт, Средне-Азиатский гидроэнергопроект [1, с.8].

В экспедиции приняло участие 215 научных работников, 360 рабочих и 30 человек административно-хозяйственного персонала. Общий бюджет экспедиции составлял 2 418 000 рублей, которые были распределены по 4-м крупным объектам. Бюджеты пунктов 3) и 5) 2-го объекта «Гидроэнергетика, гидрометеорология и гляциология» составляли следующую сумму:

3) Строительство высокогорной ледниковой обсерватории на леднике Федченко – 200 000 руб.

5) Измерение движения ледника Федченко – 15 000 руб.

**Актуальность статьи**, посвящённой результатам исследований Советско-Германской экспедиции 1928 года и Таджикско-Памирской экспедиции 1933 года, ценна для научного сообщества и практического применения в изучении района ледника Федченко по нескольким причинам:

1. Историческое значение. Предоставленная информация рассказывает об экспедициях, впервые проникших в неизученные районы высокогорного Памира.

2. Научные результаты. Описанные работы представляют собой ценный научный материал, касающийся гидрометеорологического режима высокогорья и ледниковых районов.

3. Уникальность исследований. Результаты работ экспедиций по изучению ледников и климата включают в себя уникальные данные, которые до сих пор на подобном уровне не проведены современными исследователями.

#### **План строительства высокогорной ледниковой обсерватории Федченко**

Для хлопководства Средней Азии большое значение имеет баланс воды. Высочайшие хребты, отделяющие Памир от районов западной депрессии скапливают громадные массы снега, образующие гигантские фирновые поля и ледники. Изучение режима этих фирнов и ледников весьма важно для гидрологических прогнозов, которые требуют стационарных наблюдений. Поэтому в программу работ экспедиции ещё в 1932 г. была включена постройка специальной высокогорной ледниковой обсерватории, место для которой было выбрано в среднем течении ледника Федченко, который является величайшим ледником средних широт мира, у перевала Кашал-аяк, на высоте 4300 м.

Экспедиции 1933 г. было поручено закончить эти работы. Строительство производилось Средазгимеином под руководством инженера И.Е. Бойкова и В.Р. Блезе [1, с.14].

В дополнение к этой обсерватории, на большой высоте, на перевале хребта Академии Наук должны были быть установлены автоматические метеорологические приборы, которые дополняли бы наблюдения обсерватории.

На леднике Федченко, кроме того, должны были быть продолжены под руководством метеоролога В.И. Попова (Гидрологический институт) гидрометеорологические работы II Международного полярного года. В состав этих работ входило изучение скорости движения ледников, что было возложено на небольшую самостоятельную фототеодолитную партию И.Г. Дорофеева, участника всех памирских экспедиций (с 1928 г.).

### **Полевые работы ТПЭ и организация обсерватории на леднике Федченко**

Сорок отрядов ТПЭ летом 1933 года покрыли густой сетью маршрутов территорию Таджикистана. Пути их шли песками и барханами пустынь, долинами горных рек, теснинами ущелий, галькой Памирского плато, снежной тропой перевалов, растрескавшимся льдом глетчеров.

Меридиональный хребет Академии Наук, в котором расположен пик Сталина, замыкает с запада плато Памира и представляет собою своеобразный метеорологический рубеж. Влага западных ветров осаждается на его склонах, образуя огромные фирновые поля и глетчеры, в том числе ледник Федченко. В этих глетчерах берут начало стремительные и капризные реки Западного Таджикистана, таящие в себе электроэнергию, утоляющие жажду плодовых садов и хлопковых полей.

Широтная сеть метеорологических станций Красноводска, Ашхабада, Сталинабада, Гарма, Рохарва, Каракуля, Мургаба ведёт наблюдения за режимом западных ветров. Но на самом ответственном участке – на рубеже, в хребте Академии Наук – цепь станций зияла пробелом. Брешь надо было закрыть. Для этого летом 1933 г. на леднике Федченко, на скале, над сверкающими фирнами перевала Кашал-аяк, на высоте 4300 м н. у. м. была выстроена высочайшая в мире постоянная гляциолого-метеорологическая обсерватория. И для этого 29-й отряд ТПЭ должен был установить на вершине пика Сталина метеорологический самописец, отмечающий температуру воздуха и силу, и направление ветра и передающий эти наблюдения автоматическими радиосигналами «вниз», на обсерваторию на леднике Федченко.

Обсерватория строилась в Ташкенте, с тем, чтобы в разобранном виде перевезти её по железной дороге в Ош, а оттуда выюками и на руках доставить за 490 километров на ледник. Поэтому каждая деталь обсерватории должна была весить не более 32-40 килограммов. Сама станция весила четыре тонны, а приборы, запасы топлива и продовольствия на год еще 96 тонн [2].

Через опасные бурные горные рр. Саук-сай и Сель-дара, с громадными усилиями было заброшено к языку ледника Федченко на лошадях около 100 т строительных грузов, оборудования, топлива и продовольствия для обсерватории. По капризной, часто меняющейся вследствие движения, поверхности труднодоступного ледника была проложена караванная тропа, длиной около 40 км, и по этой тропе весь груз с величайшими трудностями был переброшен к месту установки станции у перевала Кашал-аяк.

На леднике Федченко по истечению 6-ти месяцев была закончена постройка большой гляциологической обсерватории, одной из высочайших в мире. На скалистом утёсе, на берегу грандиозного ледника, среди сверкающих фирновых

полей выросло красивое фундаментальное здание обсерватории, которое уже в 1933 году было сдано в эксплуатацию [2].

Приведём выдержку из отчёта начальника ТПЭ Н.П. Горбунова: «Фундаментальное здание обсерватории выстроено по специальному проекту. Оно имеет двойные стенки с прослойкой воздуха, рассчитанные на длительные пятидесятиградусные морозы и способные противостоять зимним ветрам, сила которых, предположительно, достигает 35-40 м в секунду. Обсерватория хорошо оборудована. Для каждого наблюдателя предусмотрена особая кабинка расширенного вагонного типа... Все кабинки выходят в общую кают-компанию. Обсерватория имеет радиокабинет, метеорологический кабинет, фотокабинет, машинное отделение, электрическую станцию... Эксплуатация этой станции будет довольно сложна, так как ежегодно придётся забрасывать – с преодолением больших трудностей – топливо и продовольствие [1, с.39, 40].

Заведующим станцией оставлен В.М. Бодрицкий (бывший зимовщик на станциях Средазмета – Пскем и Чаткал) и Бодрицкая (его жена), наблюдателями – В.И. Бруевич (работавший в ледниковых экспедициях Средазмета), П.А. Бладыко (два года работавший в памирских экспедициях), радист и рабочий» [1, с.40].

Небольшая партия И.Г. Дорофеева провела ряд систематических наблюдений над движением ледника Федченко и произвела фототеодолитную съёмку языка ледника Нотгемейншафт, которая позволит путём сравнения её со съёмками Финстервальдера 1928 г. определить колебания границ ледника за пятилетний период. Движение ледника в наблюдавшихся точках колебалось в сентябре в осевой части ледника от 27 до 90 см в сутки, а понижение поверхности ледника, вследствие таяния, в среднем достигало 36 мм в сутки недалеко от языка ледника и 89 мм выше, где ледник уже освобождается от сплошного моренного покрова (около перевала Кашал-аяк).

28 июня на скалах, на левом берегу Танымаса у языка Федченко, на высоте 2900 м был разбит первый лагерь 29-го отряда, названный «Базовым лагерьм».

23 сентября 1933 г. группа под руководством гидролога О.А. Спенглера на Сель-даре, у её грота на конце языка Федченко, начала гидрологические и метеорологические наблюдения и наблюдения над таянием ледникового льда.

До 23 октября была проведена съёмка конца языка ледника Федченко в масштабе 1:5000, причём в дополнение к съёмке 1932 г. засняты были и боковые морены у конца языка. Эта съёмка являлась основной программной работой.

Отрывком из дневника В.М. Бодрицкого, заболевшего вместе со всей группой сотрудников цингой из-за отсутствия полноценного питания, мы закончим повествование о работе 1-го года метеостанции Федченко: «2 июля 1934 г. Мы везём в Ташкент полный материал наблюдений, который даст возможность осветить климатический режим района оледенения, разрешить вопросы существования оледенения и зависимости его от метеорологических факторов. Мы везём материал, при помощи которого есть возможность дать прогноз водоносности рек, питающих Амударью. А она даёт жизнь миллиардам коробочкам хлопка» [2].

## Результаты ТПЭ

Необходимо рассматривать результаты работы 1932 и 1933 гг. совместно, которые по плану и по программе являлись одним целым:

- 1) установлена методика геоморфологических работ на значительном участке Памира и на леднике Федченко;
- 2) проведено общее геоморфологическое описание того же участка;
- 3) установлена классификация древних и современных оледенений района;
- 4) проведено систематическое наблюдение за горными ледниками и их жизнью: при наличии работ других ледниковых экспедиций II Международного полярного года этот материал является первым по своему объёму и значению;
- 5) широко поставлены наблюдения гидрометеорологического режима высокогорья и ледниковых районов; густая, хотя бы и временная сеть наблюдений с двумя постоянно работающими станциями в Алтын-мазаре и на леднике Федченко, с автоматической станцией и самописцем на пике Сталина – являются первыми в мире работами такого рода;
- 6) поставлены и частично разрешены вопросы ледникового питания рек, гидрометрии горных потоков, режима горных вод;
- 7) получены данные по климату и погоде, имеющие значение для Службы погоды и климата.

В представленном фрагменте отчёта ТПЭ, мы коснулись исследований ледника Федченко, хотя в отчёте имеются главы, посвящённые ископаемым богатствам Средней Азии (А.Е. Ферсмана и Д. И. Щербакова), исследованиям геологической группы ЦНИГРИ (Д.В. Наливкина), геохимическим и поисковым работам (А.Ф. Соседко), шлиховым работам (Г.Л. Юдина), работам по золоту (Н.Н. Дингельштедта), картографии и геофизике (И.Д. Жонголовича), гидрологии (Н.А. Караулова), географии и геоморфологии (И.С. Щукина), паразитологии (Е.Н. Павловского), ботанике (Б.А. Федченко и др.), лесоводственным исследованиям (Р.Я. Кордона) и работам социально-экономической группы (С.М. Абрамзона).

Таким образом, в 1933 году поставленная СНК СССР перед ТПЭ задача первого этапа по развитию тяжёлой промышленности Таджикистана была выполнена.

## Литература

1. Ферсман А.Е., Чуенко П.П. Таджикско-Памирская экспедиция 1933 г.// ОНТИ – ГОСХИМТЕХИЗДАТ – 1934 Ленинградское отделение. - 552 с. Электронный ресурс: <https://www.geokniga.org/books/13833>. (Дата обращения: 12.03.2025).
2. Станция над облаками [Электронный ресурс]: <https://asiaplustj.info/ru/news/tajikistan/society/20150829/stantsiya-nad-oblakami>. (Дата обращения: 20.03.2025).

УДК 551.324.5

## **СПЕКТРОЗОНАЛЬНЫЕ СНИМКИ И ЦИФРОВЫЕ МОДЕЛИ РЕЛЬЕФА В ИССЛЕДОВАНИЯХ ОЗЕР МОРЕННО-ЛЕДНИКОВОГО КОМПЛЕКСА АДЫГЕНЕ**

**Спиридонов А.В., Гусев А.В.**

***Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова  
(г. Москва, Российская Федерация)***

**Аннотация.** Дистанционное зондирование Земли предоставляет уникальные возможности для изучения динамики ледниковых озер, с учетом интрагляциальных и внутриморенных водных потоков, наблюдаемых только в каналах ИК-диапазона.

**Ключевые слова:** Дистанционные методы, Landsat, морены, горные ледники, геоморфологические методы

## **SPECTRAL IMAGERY AND DIGITAL ELEVATION MODELS IN THE ANALYSIS OF LAKES IN THE MORaine-GLACIAL COMPLEX ADYGENE**

**A.V. Spiridonov, A.V. Gusev**

***Lomonosov Moscow State University  
(Moscow, Russia)***

**Annotation.** Remote sensing of the Earth offers unique opportunities for studying the dynamics of glacial lakes. It allows us to take into account the intra-glacial and intra-moraine water flows, which are observed only in infrared channels.

**Keywords:** Remote sensing, Landsat, geomorphology, moraines, glaciers.

Вопрос о необходимости изучения ледниковых и приледниковых озер моренно-ледникового комплекса Адыгене, расположенных на территории северного склона хребта Киргизский Ала-Тоо, был поднят на Международной конференции, посвященной Всемирному дню ледников, в докладе Л.А. Ляминой с соавторами [1]. В процессе исследований, в частности, выяснилось, что часть этих озер могут представлять опасность для объектов инфраструктуры, расположенной ниже по долине (рис. 1). Предполагается, что для старых термокарстовых озер более вероятна закрытая система с единым источником питания в виде атмосферных осадков, в то время как для молодых аналогичных структур характерны смешанный тип и открытая сообщающаяся система.

Автор на той же конференции предложил использовать дистанционные методы зондирования Земли для поиска интрагляциальных потоков [2]. В данной работе предпринята попытка решить вопрос о возможном наличии интрагляциальных каналов ледника Адыгене с помощью возможностей спектральной съемки. Для исследований используется ПО Google Earth и комплекс программного обеспечения QGIS [3] для обработки спутниковых снимков Landsat, которые в свободном доступе находятся на сайте USGS [4]. Часть векторных покрытий взята с сайта OpenStreetMap (OSM) [5].

Дистанционное зондирование Земли с использованием спутников различных миссий позволяет получать мультиспектральные данные с глобальным

покрытием. Спутники серии Landsat предоставляют, в том числе, данные о температуре поверхности земли (ИК каналы) с довольно высокой разрешающей способностью. Разрешение спектральных каналов Landsat — 32 м на пиксель, а размеры приледниковых озёр и внутриледниковых потоков — от 25 до 400 м в поперечнике. Следовательно, искомые объекты будут видны, как области или линии размером одного до пары десятков пикселей.

Анализ опубликованных в Google Earth исторических снимков южного участка изучаемой территории позволяет выявить две независимые группы озёр, соответствующие указанным типам. Котловины центральной части моренно-ледникового комплекса линейные, вытянуты субмеридионально в направлении движения ледника. Их форма остаётся стабильной на протяжении нескольких лет, сезонная осцилляция положения береговой линии также незначительна. Озёра изолированные, бессточные, с незначительным количеством выраженных русел впадающих временных водотоков. Они располагаются гипсометрически выше западной группы, от которой отделены серией линейных гряд боковой морены (рис. 2). Характерным дешифровочным признаком является тёмный фототон на космических снимках летнего времени в видимом диапазоне.

В западной части располагаются озёра неправильной формы, связанные с ледником, а также между собой многочисленными каналами стока талых вод. Группа преимущественно стабильная, на протяжении нескольких лет конфигурация озёрных котловин практически неизменна. При этом обращает на себя внимание быстрое исчезновение некоторых озёр без видимой трансформации поверхностной гляциофлювиальной системы. Это позволяет предположить наличие интрагляциальных или внутриморенных каналов стока талых вод.

Если нанести на карту временные водотоки поверхности, можно заметить, что гребень срединной морены разделяет две области со сложной, но разной по разные стороны хребта структурой (рис. 2, центральная часть).

Кроме того, можно утверждать, что, по крайней мере, часть этих потоков — транзитная. Они продолжают под моренными отложениями, что заметно на карте в виде участков более высоких значений индекса. При этом, на поверхности распределение потоков выглядит по-другому.

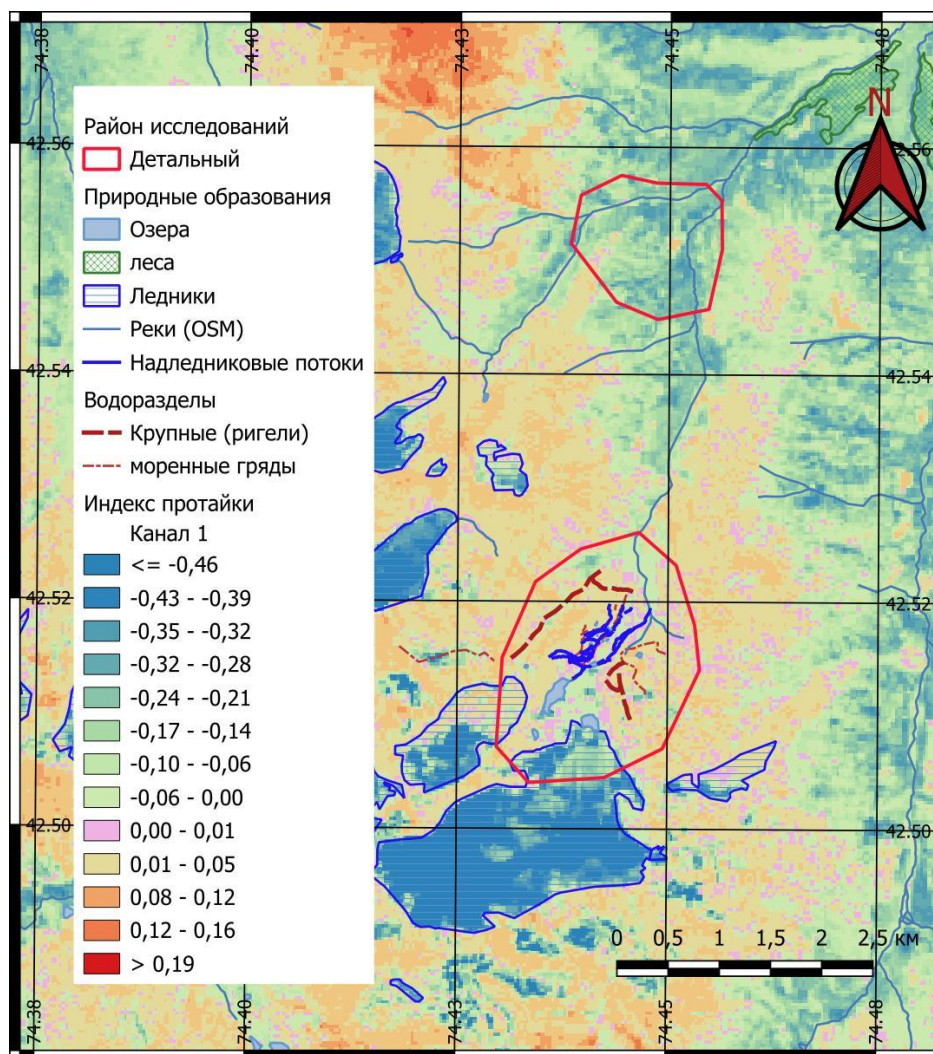


**Рисунок 1.** Карта индекса протайки и расположение участков детальных наблюдений

Результаты интерпретации «индекса протайки», вычисленного по методике, изложенной в [2], позволяет утверждать, что внутри самого ледника Адыгене находятся участки локальных протаяек, направленных вдоль движения ледника, показанные на карте (рис. 1), как светло-голубые или зеленые полосы. Внутри морен, ограничивающих озера (рис. 2), читаются участки не растаявшего до конца льда, выглядящие, как пятна синего или зеленого оттенка, как правило, совпадающие с подножиями или нижними частями склонов валов стадияльных или конечных морен. Кроме того, светлые полосы интрагляциальных или внутриморенных потоков, расположенные восточнее моренной гряды, являющейся локальным водоразделом между вышеописанными группами озер, как было сказано выше, наследуют направления стока поверхностных потоков, расположенных западнее этой гряды.

Севернее рассматриваемого участка также на карте «индекса протайки» (рис. 1) можно видеть большое количество интрагляциальных или внутриморенных каналов, используемых для питания реки в том месте, где последняя становится достаточно полноводной, чтобы на космических снимках однозначно интерпретироваться, как водная поверхность.

## Карта "индекса протайки"

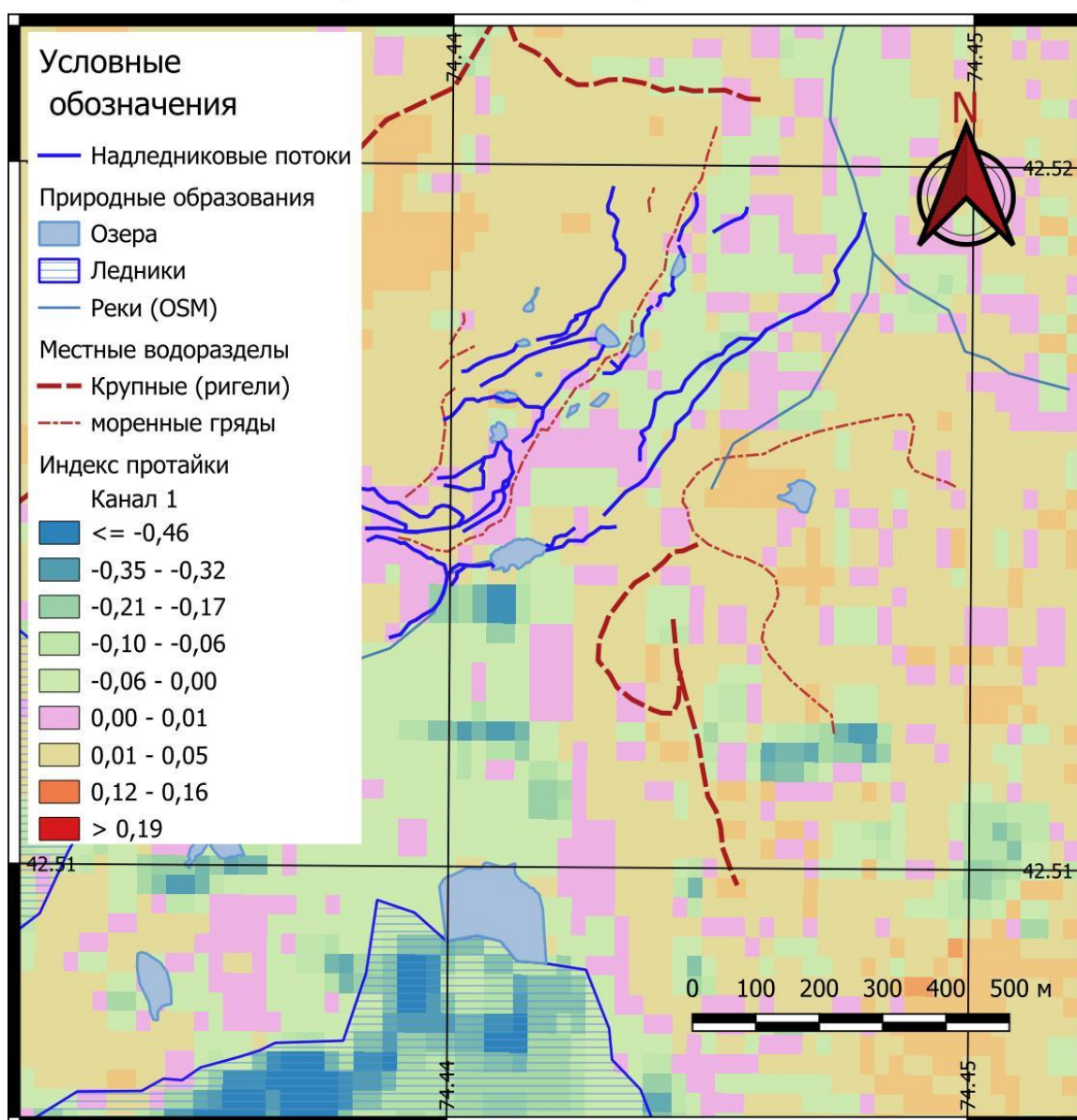


**Рисунок 2.** Детальная карта южного участка (пояснения в тексте)

Эти каналы имеют конфигурацию, подобную разветвленной сети поверхностного водосборного бассейна.

В заключении хочется подчеркнуть, что исследования ледниковых процессов актуальны для Республики Таджикистан, а значит, эти исследования можно проводить, например, силами студентов филиала МГУ в г. Душанбе. Использование инновационных космических технологий на настоящем этапе развития вычислительной техники доступно и не требует специального мощного оборудования.

Исследование выполнено в рамках НИР «Моделирование новейших геодинамических процессов, влияющих на сейсмичность и флюидную проницаемость осадочных толщ» (МГУ имени М.В. Ломоносова).

## Литература

1. Лямина Л.А., Ерохин С.А., Оморова Г.К. Изотопный состав ( $\Delta^{18}\text{O}$ ,  $\Delta^{17}\text{O}$ ,  $\Delta\text{D}$ ) ледниковых озер моренно-ледникового комплекса Адыгене, Северный Тянь-Шань // Материалы Международной научно-практической конференции Геология и ледники: актуальные проблемы и перспективы сохранения в эпоху изменений, посвященной Международному году сохранения ледников). – Изд.: Типография филиала МГУ имени М.В. Ломоносова в городе Душанбе: 2025. – С. 63-67.
2. Спиридонов А.В., Верниченко А.Е. Подбор каналов спектрозональной съёмки при исследовании таяния ледников // Материалы Международной научно-практической конференции геология и ледники: актуальные проблемы и перспективы сохранения в эпоху изменений, посвященной Международному году сохранения ледников). — Изд.: Типография филиала МГУ имени М.В. Ломоносова в городе Душанбе: 2025. – С. 115- 119.
3. Spatial without Compromise // QGIS.org, 2024. QGIS Geographic Information System. QGIS Association. <http://www.qgis.org>
4. Landsat data download: <https://earthexplorer.usgs.gov/> Sources/Usage: Public Domain Landsat 8-9 OLI/TIRS Collection 2 Level-2 - 2024 г.
5. Векторные данные свободного доступа // Данные карты ©2024 участники проекта OpenStreetMap, ODbL. <http://www.openstreetmap.org/> OSM Data licensed CC-BY-SA 2.0

УДК 551.324.5

## ИННОВАЦИОННЫЕ ЦИФРОВЫЕ МЕТОДЫ ПРИ ИССЛЕДОВАНИЯХ ЛЕДНИКОВЫХ И КАРСТОВЫХ ПРОЦЕССОВ

**Спиридонов А.В., Нагорная М.А.**

*Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова  
(г. Москва, Российская Федерация)*

***Аннотация.** Дистанционное зондирование Земли предоставляет уникальные возможности получать мультиспектральные снимки с глобальным покрытием и высокой частотой повторного посещения. Это позволяет использовать не только каналы видимого спектра, но и ИК-диапазон, в котором с разной детальностью можно выделять как интрагляциальные потоки, так и области развития карстовых процессов.*

***Ключевые слова:** Дистанционные методы, Landsat, карст, Крым.*

## INNOVATIVE DIGITAL METHODS IN THE RESEARCH OF GLACIAL AND KARST PROCESSES

**A.V. Spiridonov, M.A. Nagornaya**  
*Lomonosov Moscow State University  
(Moscow, Russia)*

***Annotation.** Remote sensing of the Earth offers unique opportunities to obtain multispectral images with global coverage and frequent repeat visits. This allows us to use not only visible light channels,*

*but also infrared wavelengths, where both glacial flows and karst features can be distinguished in varying detail.*

**Keywords:** Remote sensing, Landsat, karst, Crimea.

Проходившая в 2023 году Международная конференция, посвященная Всемирному дню ледников содержала, в том числе, доклады А.С. Борониной и М.П. Кашкевич [1] об изучении движений Антарктического ледника в окрестностях станции Новолазаревская. В их докладе упоминалось, что существуют приповерхностные интрагляциальные водные потоки (озера), представляющие наибольшую опасность для санно-тракторных путей сообщения по леднику. Некоторое количество тракторов уже утонули, провалившись под тонкий лед, не выдерживающий их веса. Автор на той же конференции предложил использовать дистанционные методы зондирования Земли для определения проницаемости пород для подземных вод [2]. Годом позже автором были представлены результаты исследования протаяек ледника в том же районе, с использованием современных методов – Геоинформационных систем и спектрально-космических снимков [3].

В лаборатории исследования Земли космическими методами на кафедре динамической геологии геологического факультета МГУ им. М.В. Ломоносова продолжают работы по изучению возможностей спектрально-космической съемки. Для исследований используется комплекс программного обеспечения QGIS [4] с модулем Semi-Automatic Classification Plugin [5] для обработки спутниковых снимков Landsat, которые можно взять с сайта USGS [6].

Дистанционное зондирование Земли с использованием спутников различных миссий предоставляет уникальные возможности для мониторинга земной поверхности. Комбинация данных Landsat-8, Landsat-9, Sentinel-2A и Sentinel-2B позволяет получать мультиспектральные данные с глобальным покрытием и высокой частотой повторного посещения. Спутники серии Landsat предоставляют, в том числе, данные о температуре поверхности земли (ИК каналы) с высокой пространственной разрешающей способностью. Landsat позволяет выявлять и картировать такие особенности, как ледяные потоки, разломы и трещины, которые ранее не были идентифицированы [7]. Разрешение спектральных каналов Landsat – 32 м на пиксель, а размеры карстовых воронок на плато – от 25 до 400 м в поперечнике. Следовательно, воронки будут видны, как области размером одного до пары десятков пикселей.

Ниже приведена таблица с подбором оптимального сочетания каналов для видимости карста методом экспертной оценки. Мы рассмотрели ряд комбинаций каналов, оценили видимость карстовых воронок, растительности, скальных выходов и облачности (табл. 1).

Больше всего варьируется видимость самых важных для нас объектов – карстовых воронок и растительности. Хуже всего видимость в диапазоне естественных цветов, немного более удачная при комбинации 7-11-6. Наиболее удачными являются сочетания 11-5-7 (TIR2-NIR-SWIR3). При таком сочетании (рис. 1) карстовые воронки видны хорошо – пологая часть выделяется красным и хорошо контрастирует с нижней обводненной, выделенной сине-зеленым. Растительность и скальные выходы также чётко различимы.

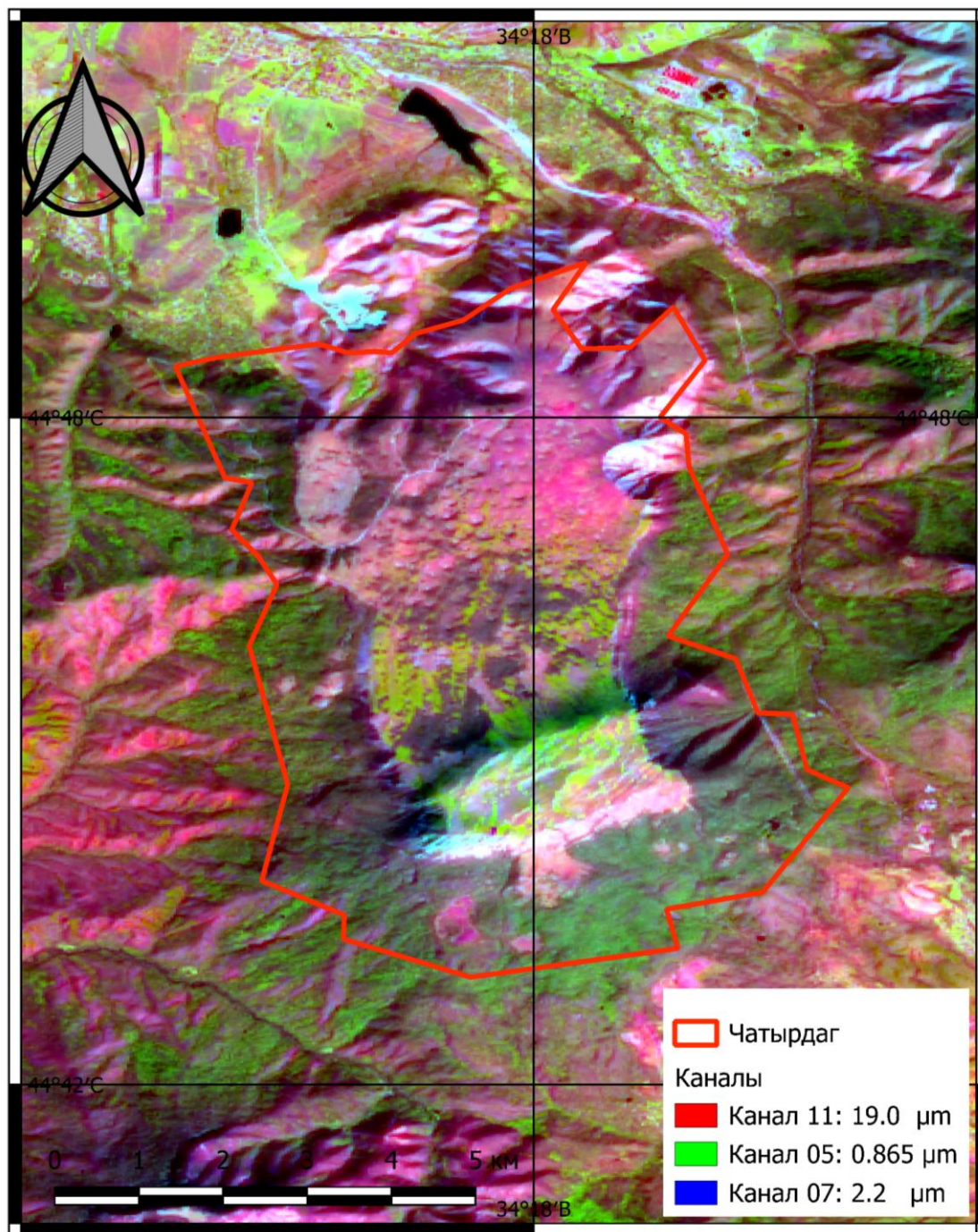


**Рисунок 1.** Обработка космоснимка плато Чатырдаг в QGIS (SCP). Комбинация каналов 11-5-7 (TIR2-NIR-SWIR3).

**Таблица 1. Сравнение видимости карстовых воронок, растительности, и скальных выходов при различных комбинациях каналов**

| Комбинация каналов     | карстовые воронки                                                                                               | растительность                            | скальные выходы     |
|------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------|---------------------|
| (видимый спектр) 4-3-2 | видны общие очертания, тени                                                                                     | слабо видно тёмно-зелёные участки         | видны хорошо        |
| 7-11-6                 | видны плохо                                                                                                     | видна плохо                               | видны нормально     |
| 2-3-4                  | видны общие очертания, тени                                                                                     | слабо видно тёмно-зелёные участки         | видны хорошо        |
| 5-6-7                  | слабо, в голубых тонах                                                                                          | очень хорошо, ярко красным, чётко         | видны хорошо        |
| 11-6-7                 | видны нормально полагая часть выделена розовым, обводненная (?) нижняя – зеленым (менее контрастно, чем 11-7-6) | видна нормально                           | видны нормально     |
| 12-7-6                 | аналогично 11-7-6                                                                                               | выделяется чёткими бордовыми пятнами      | видны нормально     |
| 11-7-6                 | видны <b>хорошо</b> , полагая часть выделена розовым, нижняя – голубым                                          | выделяется чёткими бордовыми пятнами      | видны нормально     |
| 5-6-7                  | слабо, в голубых тонах                                                                                          | <b>очень хорошо</b> , ярко красным, чётко | видны нормально     |
| 11-5-7                 | видны <b>хорошо</b> полагая часть выделена красным, нижняя – зеленым /голубым                                   | <b>очень хорошо</b>                       | видны <b>хорошо</b> |

В заключение, хочется подчеркнуть, что исследования и ледниковых, и карстовых процессов актуальны для Республики Таджикистан, а значит эти исследования можно проводить, например, силами студентов филиала МГУ в городе Душанбе. Исследование выполнено в рамках НИР «Моделирование новейших геодинамических процессов, влияющих на сейсмичность и флюидную проницаемость осадочных толщ» (МГУ имени М.В. Ломоносова).

### Литература

1. Боронина А.С., Кашкевич М.П. Мониторинг и моделирование опасных гляциологических процессов в районах антарктических оазисов // Материалы Международной научно-практической конференции «Актуальные проблемы защиты экологии и климата, посвящ. Всемирному дню ледников» (18-21 марта 2023 года). – Изд.: Типография филиала МГУ имени М.В. Ломоносова в городе Душанбе: 2023. – С. 31-37.
2. Спиридонов А.В. Линеаментный анализ как показатель проницаемости осадочных толщ на примере Юго-Западного Крыма // Материалы Междун. научно-практ.конф. «Актуальные проблемы защиты экологии и климата, посвященной Всемирному дню ледников (18-21 марта 2023 года)». Изд.: Типография филиала МГУ в городе Душанбе: 2023. – С. 169 - 173.

3. Спиридонов А.В., Верниченко А.Е. Подбор каналов спектрозональной съёмки при исследовании таяния ледников // Материалы Международной научно-практической конференции геология и ледники: актуальные проблемы и перспективы сохранения в эпоху изменений, посвященной Международному году сохранения ледников). Изд.: Типография филиала МГУ имени М.В. Ломоносова в городе Душанбе: 2025. – С. 115-119.
4. QGIS.org, 2024. QGIS Geographic Information System. QGIS Association. Электронный ресурс: <http://www.qgis.org> (дата обращения: 12.01.2024).
5. Congedo Luca, (2021). Semi-Automatic Classification Plugin: A Python tool for the download and processing of remote sensing images in QGIS. Journal of Open Source Software, 6(64), 3172, [Электронный ресурс]: <https://doi.org/10.21105/joss.03172> (дата обращения: 02.02.2024).
6. Landsat data download: <https://earthexplorer.usgs.gov/> Sources/Usage: Public Domain Landsat 8-9 OLI/TIRS Collection 2 Level-2 - doi.org/10.5066/P9OGBGM6 2024 г.
7. Swithinbank C., Lucchitta B. Multispectral Digital Image Mapping of Antarctic Ice Features. // Annals of Glaciology. 1986; 8. <https://doi.org/10.3189/S0260305500001361>

УДК 551.24 (575.151)

## **ОСОБЕННОСТИ ГЕОЛОГО-ТЕКТОНИЧЕСКОГО СТРОЕНИЯ ПЛОЩАДИ МИРШАДИ (СУРХАНДАРЬИНСКОГО НЕФТЕГАЗОНОСНОГО РЕГИОНА)**

**Тогаев И.С., Джалилов Г.Г., Алимов М.М., Жуммаева Л.Х.  
Национальный университет Узбекистана имени Мирзо Улугбека  
(г. Ташкент, Республика Узбекистан)**

***Аннотация.** В Сурхандарьинской области, одной из основных нефтегазоносных территорий республики, перспективными на нефть и газ считаются отложения палеогенового периода, относящиеся к мезозойскому и кайнозойскому периоду. Хотя в последние годы в регионе не были открыты крупные месторождения, глубинные исследования и карбонатный слой не были полностью изучены, поскольку продолжают работы, направленные на поиски нефти и газа в других перспективных пластах. В статье рассматривается уровень геолого-тектонической изученности площади Миршади и Южного Миршади - одной из самых перспективных площадей Сурхандарьинского нефтегазоносного региона.*

***Ключевые слова:** Миршади, регион, площадь, разрез, мегасинклиналь, антиклиналь, изученность, впадины, прогиб, комплекс, методы, глубокое бурение, палеоген, нефть и газ.*

## FEATURES OF THE GEOLOGICAL AND TECTONIC STRUCTURE OF THE MIRSHADI AREA (SURKHANDARYA OIL AND GAS REGION)

I.S. Togayev, G.G. Djalilov, M.M. Alimov, L.Kh. Jummayeva  
*Mirzo Ulugbek National University of Uzbekistan*  
(Tashkent, Uzbekistan)

**Annatation.** *In the Surkhandarya region, one of the main oil and gas-bearing territories of the republic, deposits of the Paleogene period dating back to the Mesozoic and Cenozoic eras are considered promising for oil and gas. Although no large deposits have been discovered in the region in recent years, in-depth studies and the carbonate layer have not been fully explored as work continues to search for oil and gas in other promising formations. The article examines the level of geological and tectonic exploration of the Mirshadi and South Mirshadi areas - one of the most promising territories in the Surkhandarya oil and gas region.*

**Keywords:** *Mirshadi, region, area, section, megasyncline, anticline, study, depressions, deflection, complex, methods, deep drilling, paleogene, oil and gas.*

### Введение

Сурхандарьинский нефтегазоносный регион является одним из элементов Афгано-Таджикской межгорной впадины. Размеры региона составляют 200x100км. В геотектоническом плане он представляет собой Сурхандарьинскую мегасинклинали. Рассматриваемая территория характеризуется неравномерной геолого-геофизической изученностью и преимущественно низким качеством сейсмических разрезов [1, с.41].

Геотектоническим районированием Сурхандарьинского региона занимались Н.С. Шатский, А.А. Богданов, А.Л. Яншин, О.А. Рыжков, П.К. Азимов, Д.С. Султанов, М.И. Варенцов, Ш.Д. Давлятов, Б.Б. Таль-Вирский, Б.Б. Ситдилов, А.А. Абидов и др. В ходе этих работ были выделены Байсунский прогиб, Келиф-Сарыкамышская и Сурхандарьинская синклинали. Установлены два типа складок: узкие протяженные антиклинали и синклинали, протягивающиеся через всю мегасинклинали, а также более мелкие непротяженные и пологие, приуроченные к прогибам. В более поздних построениях, основанных на степени дислоцированности надсолевых отложений, Сурхандарьинская мегасинклинали подразделялась на западный и восточный блоки по Западно-Хаудагскому разлому. При этом здесь также получила развитие идея и поднадвиговых поясах и полого залегающих разрывных нарушениях, которые контролируют размещение локальных складок. Подобные построения были выполнены в пределах Афгано-Таджикской межгорной впадины Б.Б. Ситдиловым, Б.Б. Таль-Вирским, Д.С. Оруджевой, Г.Е. Корниенко, А.Н. Обуховым и др [2-4].

На основе обобщения и систематизации имеющихся геолого-геофизических данных в 1996г. А.А. Абидовым, Т.Л. Бабаджановым, Б.Б. Таль-Вирским и др. была составлена новая карта тектонического районирования Юго-Западных отрогов Гиссара и Сурхандарьинской мегасинклинали в масштабе 1:500000. На ней Сурхандарьинский регион ограничен с востока Байсун-Кугитангским глубинным разломом, а с запада и юга – государственной границей. На севере его граница проводится по Южно-Гиссарскому глубинному разлому.

Согласно вышеназванным авторам Сурхандарьинская мегасинклиналь подразделяется на Западно-Сурханский и Восточно-Сурханский блоки. Эти блоки отделяются друг от друга по линии Западно-Хаудагского разлома и различаются между собой по степени дислоцированности надсолевых отложений и историей геологического развития. При этом более дислоцированным блоком является Восточно-Сурханский. Указанные блоки состоят из зон антиклинальных поднятий с входящими в их состав локальными складками [3].

В пределах Западно-Сурханского блока выделяются: Сурхантауская гряда, Дербентская зона антиклинальных поднятий, Байсунский прогиб, Шерабадский прогиб, Акташ-Гаджакская зона антиклинальных поднятий, Бешкыз-Аккапчигайская зона антиклинальных поднятий, Каракурт–Истаринская зона а антиклинальных складок, Аширхан-Восточно-Баташская зона антиклинальных складок, Юрчи-Пахтабадская зона антиклинальных складок [4].

Для всех складок Восточно-Сурханского блока характерна закономерная асимметричность с крутым восточным и относительно пологим западным крыльями. В пределах этого блока выделяется также ряд зон антиклинальных поднятий: Учкызыл-Миршадинская, Ляльмикар-Джейранханинская, Каттабаш-Кошчекинская, Актау-Раджабмархурская, Коштар-Курганчинская, Заркоса-Карсоглинская, Амударья-Карасыртская, Туюнтауская и Джаркурганский прогиб.

Структура Юж. Миршади расположена в Учкызыл-Миршадинской зоне локальных поднятий и представляет собой по кровле бухарских слоев палеогена брахиантиклиналь северо-восточного простирания, ограничивающими ее крылья продольными нарушениями и поперечными мало амплитудными нарушениями. Размеры складки 5 x 3 км, амплитуда 500 м. По мере ополаскивания площади, с получением новой информации, конфигурация Южно Миршадинской структуры претерпевало значительные изменения.

Имеющийся фактический материал характеризует, не полную картину конфигурации ловушки. В связи с этим есть необходимость продолжить разведку месторождения для уточнения распространения залежи в юго-западной и северо-восточной части структуры, так как северо-восточная часть не изучена глубоким бурением.

На исследуемом районе основные продуктивные палеогеновые отложения представлены терригенными и карбонатными образованиями, содержащими богатые комплексы органических остатков - фораминиферы, двустворки, остракоды и др. Согласно общепринятой схеме, разрез палеогеновых отложений представлен образованиями палеоцена и эоцена, отложения олигоцена отсутствуют. Мощность отложений более 600 м (622 м в.ч. на скв. №5-Южный Миршады).

По литобиостратиграфическим особенностям и по комплексу органических остатков в палеогене выделены бухарская свита (танетский ярус); сузакская свита (ипрский ярус); алайская (лютетский ярус); туркестанская - средняя часть (лютетский) и нижняя часть (бартонский ярусы) и нерасчлененные ханабад-исфара-риштанская свиты (см. рис.1).

По отобранным образцам керна вскрытый разрез палеогеновых образований скв. №5 пл. Южный Миршады представлен в верхней части глинистым известняком пепельно-серым с многочисленными включениями раковин устричных моллюсков. В средней части встречаются известняки светло-серые, с органогенно-детритовой, местами микрозернистой и комковатой структурой. Породы кавернозно-пористые, диаметр пор и каверн местами достигает 1-2 мм, чаще 0.5 мм. В нижней части наблюдаются песчаники светло-серые алевро-глинистые, интенсивно карбонатизированные [3].

По данным петрографического описания шлифов в известняках отмечена слабая трещиноватость. Трещины тонкие, заполнены темным минеральным веществом (ОВ?). Встречается ОВ детритного типа, которое образует мелкие комочки, перемещенного типа - окаймляет некоторые форменные элементы. В небольшом количестве встречаются оолиты, ядра некоторых оолитов выщелочены, отдельные перекристаллизованы с образованием кальцита. Органические остатки представлены редкими обломками фораминифер, двустворок. В песчаниках наблюдаются перекристаллизованные с образованием кристаллического кальцита обломки брахиопод и реже раковин двустворок.

Породы кавернозно-пористые, трещиноватые. Поры и каверны вторичные, за счет выщелачивания межформенного пространства раковин и пространства между комками и органическими обломками.

По аналитическим данным породы низкопористые (открытая пористость 5.92-8.89%) и непроницаемые (проницаемость по газу 0.02-0.4мД), плотность 2.7-2.8г/см<sup>3</sup>. По фильтрационно-емкостным параметрам породы характеризуются, как низкопористые, с весьма низкими емкостными свойствами. Продуктивность отложений связана трещинно-поровыми параметрами [3].

В период палеогена, в частности в эоцене и олигоцене, на территории региона происходили тектонические процессы, которые в значительной мере повлияли на распределение осадочных пород и их коллекторские свойства.

Кроме того, геолого-геофизическая сложность этого участка, глубина залегания некоторых перспективных структур затрудняют геолого-тектонические исследования. Применение новых методов исследования перспективных структур в этом регионе важно для поиска перспективных структур в регионе.

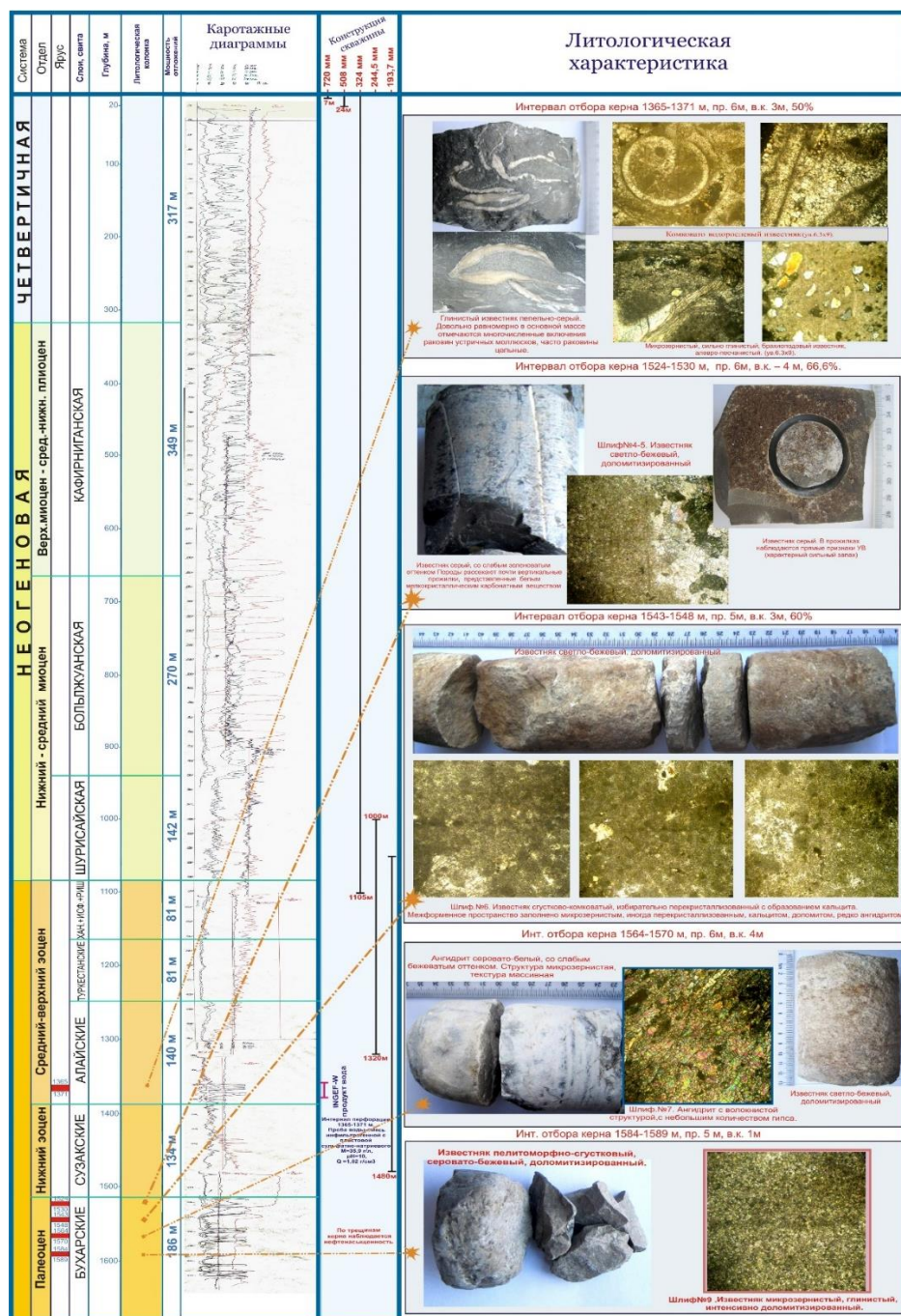


**Рисунок 1.** Сводный геолого-геофизический разрез пл. Южный Миршады (скв. №5)

## Литература

1. Абидов А.А. Нефтегазogeологическое районирование и поиски скоплений углеводородов в подсолевых юрских отложениях Сурхандарьинского синклинория// В кн.: Перспективы нефтегазоносности Средней Азии/ РНТС ВНИИОЭНГ. Сер. нефтегаз. геол. и геофиз., 1982. – Вып. 34. – С. 41-46.
2. Акрамходжаев, А. М. Нефть и газ – продукты преобразования органического вещества / А. М. Акрамходжаев // – М. – Недра. – 1982. – 261 с.
3. Абдуллаев Г.С., Богданов А.Н., Эйдельмант Н.К. Месторождения нефти и газа Республики Узбекистан// - Ташкент. 2019. – 820 с.

4. Пулатова У.П. Изучение природы малоподвижных нефтей и природных битумов в Сурхандарьинском регионе (на примере Карсоглы-Дасманагинской зоны)// Т., ОАО «ИГИРНИГМ», 2011.

УДК 504;550.3;556.552; 574

## ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ГЕОЭКОЛОГИИ КАК МЕЖДИСЦИПЛИНАРНОЙ НАУКИ

**Трофимов В.Т., Харькина М.А.**

*Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова  
(г. Москва, Российская Федерация)*

**Аннотация.** Описан теоретический базис геоэкологии как междисциплинарной науки, разработанный на базе концепции экологических функций абиотических сфер Земли. Охарактеризованы ресурсная, геодинамическая, геохимическая и геофизическая экологические функции абиотических сфер Земли, которые обеспечивают условия функционирования биоты, включая человеческое сообщество. Определен объект исследований геоэкологии – это экосистема с обязательным включением геологической составляющей (литотопа), показана логическая структура геоэкологии как междисциплинарной науки.

**Ключевые слова:** Экологические функции, абиотические сферы Земли, литосфера, атмосфера, гидросфера, педосфера, экосистема.

## THEORETICAL FOUNDATIONS OF GEOECOLOGY AS AN INTERDISCIPLINARY SCIENCE

**V.T. Trofimov, M.A. Kharkina**  
*Lomonosov Moscow State University  
(Moscow, Russia)*

**Annotation.** The theoretical basis of geoecology as an interdisciplinary science developed on the basis of the concept of ecological functions of the Earth's abiotic spheres is described. The resource, geodynamic, geochemical and geophysical ecological functions of the Earth's abiotic spheres vital for functioning of biota, including the human community, are characterized. The object of geoecology researches is determined – this is an ecosystem with the obligatory inclusion of a geological component (lithotope). The logical structure of geoecology as an interdisciplinary science is shown.  
**Keywords:** Ecological functions, abiotic geospheres, lithosphere, atmosphere, hydrosphere, pedosphere, ecosystem.

При разработке теоретических основ геоэкологии как междисциплинарной науки предлагается опираться на представления об экологических функциях абиотических сфер Земли [3,1]. Это возможно, т.к. основное предназначение всех абиотических сфер Земли – литосферы, педосферы, атмосферы и гидросферы – ресурсное и энергетическое обеспечение жизни на планете.

Объект исследований геоэкологии неоднозначно понимается исследователями до сих пор. Объем геоэкологии рассматривается нами как поле

пересечения наук о жизни, атмосфере, поверхностной гидросфере и литосфере (рис. 1).

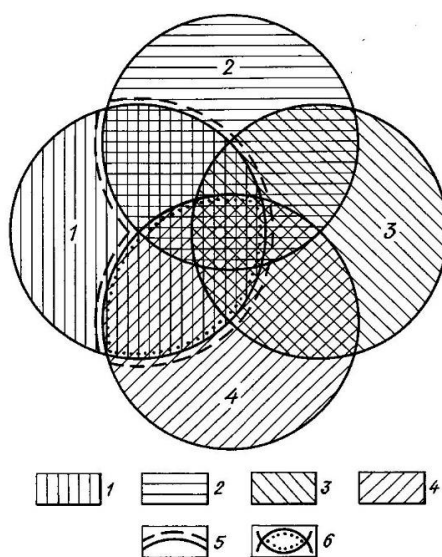


**Рисунок 1.** Соотношение предметных полей наук о жизни и об абиотических сферах Земли [2]. 1 – науки о жизни, 2- науки об атмосфере, 3 – науки о поверхностной гидросфере, 4 – науки о литосфере, 5 – граница совместных объектных и предметных полей наук о Земле и биологии, формируемых поле и содержание междисциплинарной науки – геоэкологии: 6 – граница области исследований экологической геологии.

С наших позиций геоэкология изучает экологические функции абиотических сфер Земли – экотопа экосистем, закономерности их формирования и пространственно-временного изменения под влиянием современных природных и антропогенных воздействий *в связи с жизнью и деятельностью биоты, включая человека – биоценоза экосистемы* [1]. Объектом геоэкологии следует признать экосистемы различных иерархических уровней, экологические функции их абиотических сред – компонентов экотопа. Структура экосистемы с учетом геологической составляющей представлена на рис. 2.

Основными экологическими функциями абиотических сфер Земли являются ресурсная, геодинамическая, геохимическая и геофизическая.

*Ресурсная экологическая функция абиотических сфер Земли* определяет роль минеральных, органо-минеральных и органических твёрдых, жидких и газообразных ресурсов литосферы, атмосферы, педосферы и поверхностной гидросферы, а также литосферного, атмосферного и гидросферного пространства для жизни и развития биоты в качестве как биогеоценоза, так и социальной структуры;

– *геодинамическая экологическая функция абиотических сфер Земли* отражает способность литосферы, педосферы, атмосферы и поверхностной гидросферы влиять на условия жизни биоты, ее состояние, безопасность и комфортность проживания человека через природные и антропогенные процессы и явления;

– *геохимическая экологическая функция абиотических сфер Земли* определяет свойства геохимических полей литосферы, педосферы, атмосферы и

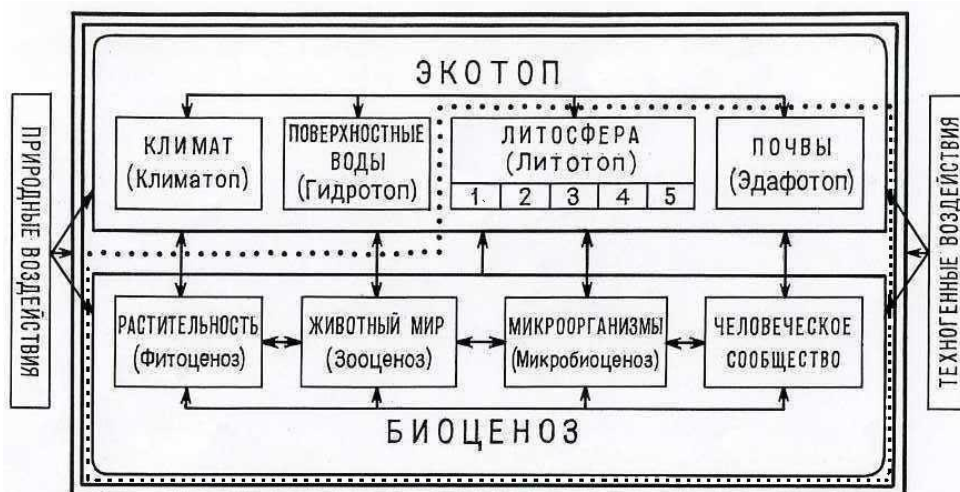


**Рисунок 2.** Структура экосистемы с учетом геологической составляющей [4].

1-5 – параметры литосферы: 1 – состав, состояние и рельеф геологического массива, 2 – подземные воды, 3 – геохимические поля, 4 – геофизические поля, 5 – современные эндо- и экзогенные процессы, (точками обозначены границы эколого-геологической системы)

поверхностной гидросферы природного и техногенного происхождения влиять на условия жизни и состояние биоты в целом, включая здоровье человека;

– *геофизическая экологическая функция абиотических сфер Земли* отражает свойства геофизических полей литосферы, педосферы, атмосферы и поверхностной гидросферы природного и техногенного происхождения влиять на условия жизни биоты в целом, включая здоровье человека.

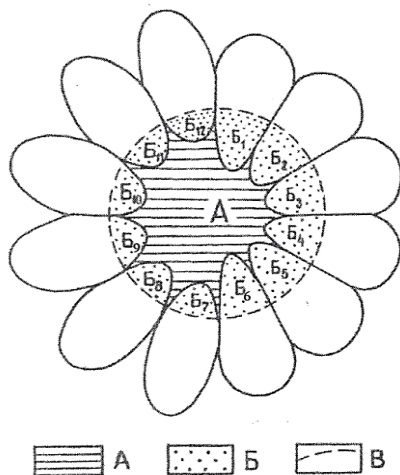


**Рисунок 3.** Принципиальная схема строения общего поля логической структуры геоэкологии.

А – «собственная часть» логической основы логической структуры геоэкологии; Б – структуры экологически ориентированных наук, используемые в геоэкологии:

Б<sub>1</sub> – экологическая геология, Б<sub>2</sub> – экологическая география, Б<sub>3</sub> – экологическое почвоведение, Б<sub>4</sub> – экологическая гидрология, Б<sub>5</sub> – экологическая океанология, Б<sub>6</sub> – экологическая «атмосферология», Б<sub>7</sub> – науки о Живом, Б<sub>8</sub> – экологическая физика, Б<sub>9</sub> – экологическая химия, Б<sub>10</sub> – экологическая медицина, Б<sub>11</sub> – ?, Б<sub>12</sub> – ?; В – контуры общего поля логической структуры геоэкологии

Исходя из представлений о том, что геоэкология является междисциплинарной наукой, ее логическая структура формируется за счет ассимиляции определенных элементов логической структуры различных естественных наук, так и своей собственной логической структуры (рис. 3). Ассимиляция носит не механический характер, а подчинена определенным закономерностям, логике экологического подхода.

Научные разделы геоэкологии включают геоэкологическое ресурсоведение, геоэкологическую геодинамику, геоэкологическую геохимию, геоэкологическую геофизику.

*Геоэкологическое ресурсоведение* исследует современные морфологические особенности ресурсных экологических функций атмосферы, гидросферы, литосферы и педосферы, закономерности их формирования и пространственно-временного изменения под влиянием современных природных и антропогенных воздействий и оценку влияния и роли их сырьевых и пространственных ресурсов на условия функционирования биоты и жизнедеятельности социума. Акцент делается на оценку не только количества, но и качества ресурсов абиотических сфер Земли, уровня их потребления и рационального использования с учетом экологических последствий, с учетом сохранения и нормального функционирования экосистем разных уровней организации. С экологических позиций должны оцениваться и пространственные ресурсы геосфер, включая ресурсы геологического пространства. Эти исследования должны быть социально ориентированы, что подразумевает их тесную связь с социально-экономическими науками, а в практическом отношении – деловой контакт экологов с экономистами, социологами, представителями директивных органов и проектных институтов. Сюда же относят оценку состояния минерально-сырьевых ресурсов с учетом развития современной цивилизации и геологическое обоснование предложений по регламентации их потребления.

*Геоэкологическая геодинамика* исследует морфологические, ретроспективные и прогнозные задачи, связанные с изучением развития природных и антропогенных геологических, гидрологических, метеорологических и других процессов в соответствующих абиотических сферах Земли и их влиянием на биоту как с позиций оценки возможных бедствий и катастроф, так и комфортности ее проживания. (Последнее относится, как правило, к человеческому сообществу). Выполняемые исследования опираются на методы широкого круга наук и предусматривают контакт с проектировщиками. К основным задачам относятся: разработка методов оценки устойчивости абиотических сред к изменению ее геодинамических параметров под влиянием природных факторов и техногенеза с учетом экологических последствий; эколого-геологическое обоснование (в случае необходимости) инженерной защиты от опасных и катастрофических геологических и гидрометеорологических процессов (природных и антропогенных), влияющих на существование и комфортность проживания биоты и человека.

*Геоэкологическая геохимия* исследует морфологические, ретроспективные и прогнозные задачи, связанные с изучением геохимических полей и их аномалий

абиотических сфер Земли природного и техногенного происхождения и их влияния на биоту. Среди этих полей выделяются литогеохимические, гидрогеохимические, атмогеохимические, сноугеохимические, биогеохимические. Объектом исследований является вещественный химический состав абиотических сред, миграция подвижных соединений химических элементов, их аномальных концентраций и характер воздействия на биоту с использованием методов разных наук и данных медико-биологических оценок состояния биоты. В практическом аспекте такие исследования подразумевают тесное сотрудничество с медиками и санитарной службой, так как оценка аномалий должна проводиться с медико-санитарных позиций.

*Геоэкологическая геофизика* исследует морфологические, ретроспективные и прогнозные задачи, связанные с изучением геофизических полей различных абиотических сред природного и техногенного происхождения, их отклонением от нормы и воздействием на биоту. Для этого привлекаются методы геофизики, физики Земли и атмосферы, сейсмо тектоники и других наук и данные медико-биологических дисциплин. Здесь также необходимо тесное сотрудничество с представителями медико-санитарной службы.

Изложенные положения позволяют с единых теоретических позиций подойти к анализу экологической роли всех абиотических сфер Земли и именно этим обуславливается междисциплинарный характер геоэкологии.

### Литература

1. Трофимов В.Т., Харькина М.А. и др. Теоретические основания геоэкологии как междисциплинарной науки. На базе концепции экологических функций абиотических сфер Земли // Трофимов В.Т., Харькина М.А., Жигалин А.Д., Барабошкина Т.А., Королев В.А., Григорьева И.Ю., Шанина В.В. М.: Изд.: Московского университета Москва, 2022. – С. 717.
2. Трофимов В.Т. Новый теоретический подход к определению содержания и развития геоэкологии // Геоэкология, 2006. – № 2. – С.216-225.
3. Трофимов В.Т. Основы нового содержания геоэкологии как междисциплинарной науки // М.: КДУ, 2021. – 106 с.
4. Трофимов В.Т. Эколого-геологическая система, ее типы и положение в структуре экосистемы // Вестник Моск. ун-та. Серия 4. Геология, 2009. – №2. – С. 48-52.

**ТЕРМОДИНАМИЧЕСКИЕ И ЦИРКУЛЯЦИОННЫЕ УСЛОВИЯ  
ФОРМИРОВАНИЯ АТМОСФЕРНОЙ ЗАСУХИ  
В КАРШИНСКОМ ОАЗИСЕ**

**Холматжанов Б.М.<sup>1,2</sup>, Махмудов И.М.<sup>1</sup>, Холматова Ш.И.<sup>2</sup>,  
Мухиддинов У.Ф.<sup>2</sup>, Сафаров Ф.Б.<sup>3</sup>**

<sup>1</sup>*Научно-исследовательский гидрометеорологический институт*

<sup>2</sup>*Национальный университет Узбекистана имени Мирзо Улугбека*

<sup>3</sup>*Агентство Гидрометеорологической службы Республики Узбекистан  
(г. Ташкент, Республика Узбекистан)*

*Аннотация.* В исследовании использован термогигрометрический коэффициент сухости воздуха (ТГК) для выявления условий формирования атмосферной засухи в Каршинском оазисе. Определены термодинамические показатели, циркуляционные условия и типы воздушных масс, приводящих к формированию атмосферной засухи различных градаций.

*Ключевые слова:* атмосферная засуха, ТГС синоптические процессы, воздушная масса, продолжительность, повторяемость.

**THERMODYNAMIC AND CIRCULATION CONDITIONS OF FORMATION  
OF ATMOSPHERIC DROUGHT IN THE KARSHI OASIS**

**B.M. Kholmatjanov<sup>1,2</sup>, I.M. Makhmudov<sup>1</sup>, Sh.I. Kholmatova<sup>2</sup>,  
U.F. Mukhiddinov<sup>2</sup>, F.B. Safarov<sup>3</sup>**

<sup>1</sup>*Hydrometeorological Research Institute*

<sup>2</sup>*Mirzo Ulugbek National University of Uzbekistan*

<sup>3</sup>*Agency of the Hydrometeorological Service of the Republic of Uzbekistan  
(Tashkent, Uzbekistan)*

*Annotation.* The study used the thermohygrometric coefficient of air dryness (THC) to identify the conditions for the formation of atmospheric drought in the Karshi oasis. Thermodynamic indicators, circulation conditions and types of air masses leading to the formation of AD of various gradations were determined.

*Keywords:* atmospheric drought, THC, synoptic processes, air mass, duration, frequency.

Засухи, как и другие экстремальные явления, возникают в сочетании термодинамических и динамических процессов. Термодинамические процессы, способствующие засухе, связаны с тепло- и влагообменом, которые влияют на влажность воздуха, температуру и радиацию и формируют режим осадков и/или эвапотранспирации. В свою очередь, динамические процессы важны для объяснения изменчивости засухи в различных временных масштабах. Таким образом, термодинамические процессы являются основным фактором генерации засухи в условиях потепления климата. Индексы засухи могут варьироваться от аномалий в отдельных переменных (например, осадки, влажность почвы, сток, эвапотранспирация) до индексов, объединяющих различные атмосферные переменные. Оценка условий засухи основана на изменениях физических условий и показателей, имеющих непосредственное отношение к засухам: дефицит осадков; избыток потребности в испарении в атмосфере (atmospheric evaporative demand – AED); дефицит влажности почвы; гидрологический дефицит; и атмосферные индексы, объединяющие осадки и

AED [1, с. 1570]. В качестве индексов атмосферной засухи (АЗ) обычно применяются переменные и индексы термодинамических процессов, такие как дефицит давления водяного пара, фактическая и потенциальная эвапотранспирация или их сочетание, потребность атмосферы к испарению или индекс суточного дефицита эвапотранспирации [2-5].

Индексы атмосферной засухи отражают меру потенциального стресса растительности, возникающий из-за дефицита между доступной водой и увеличением AED. В засушливых условиях увеличение AED увеличивает водную нагрузку на растения. При наступлении АЗ поступление воды в растения через корневые системы затрудняется, расход влаги на транспирацию начинает превосходить её приток из почвы, водонасыщенность тканей падает, нормальные условия фотосинтеза и углеродного питания нарушаются. В результате может наступить гибель растений, увеличивается риск возникновения крупных лесных пожаров [1, с. 1582].

В данном исследовании в качестве индекса атмосферной засухи использован термогигрометрический коэффициент сухости воздуха (ТГК), предложенный узбекскими учеными [6]:

$$K = \frac{T - \tau}{T} = \frac{\Delta}{T}, \quad (1)$$

где  $K$  – термогигрометрический коэффициент сухости воздуха (%),  $T - \tau = \Delta$  – дефицит точки росы,  $T$  – температура воздуха (в Кельвинах),  $\tau$  – температура точки росы. На основе тщательного анализа связи между температурой воздуха, давлением водяного пара и значениями ТГК для различных физико-географических условий Узбекистана (горы, оазис, пустыня), в соответствии с физиологическим воздействием на растения установленные критерии АЗ имеют следующие пределы: слабая АЗ – ТГК в пределах 76-90%, умеренная АЗ – 91-105%, сильная АЗ – 106-120%, очень сильная (экстремальная) АЗ – более 120% [7].

Как известно, термодинамические свойства воздуха обусловлены динамическими процессами, т.е. условиями циркуляции атмосферы. Формы циркуляции атмосферы над Средней Азией и сопредельными районами разнообразны. Исследование изменений этих форм циркуляции имеет прикладное значение в выявлении циркуляционных причин ряда метеорологических явлений. В настоящее время классификация синоптических процессов Средней Азии состоит из следующих 17 типов: 1 – южнокаспийский циклон, 2 – мургабский циклон, 3 – верхнеаму-дарьинский циклон, 4 – широкий вынос тёплого воздуха, 5 – северо-западное холодное вторжение, 6 – северное холодное вторжение, 7 – волновая деятельность на холодном фронте, 8 – малоподвижный циклон над Средней Азией, 9 – юго-западная периферия антициклона, 9а – юго-восточная периферия антициклона, 9б – южная периферия антициклона, 10 – западное вторжение, 11 – летняя термическая депрессия, 12 – малоградиентное поле повышенного давления, 13 – малоградиентное поле пониженного давления, 14 – западный циклон, 15 – ныряющий циклон [8]. Основными воздушными массами, приходящими в Узбекистан или формирующимися над его территорией в теплое полугодие и приводящие к возникновению АЗ, являются:  $T_{и}$  – иранский воздух, формирующийся над территорией Месопотамии (типы 1, 2, 8),  $T_{с}$  – тропический воздух Средиземноморья и Северной Африки (типы 4, 14),  $У_{е}$  – воздух умеренных широт,

формирующийся над восточной частью европейской территории России (поступает при типах СП 5, 15),  $У_C$  – воздух умеренных широт, формирующийся над Западной Сибирью и Восточным Казахстаном в малоподвижном сибирском антициклоне (тип 6),  $У_T$  – воздух южной полосы умеренных широт, формирующийся в пределах Средней Азии (над Туранской низменностью) (типы 9, 9а, 9б),  $У_{Ю}$  – воздух южной полосы умеренных широт, формирующийся над Балканами и Восточным Средиземноморьем (тип 10) и  $Т_T$  – тропический воздух, формирующийся над территорией Средней Азии (над Туранской низменностью) (типы 11, 12, 13) [9]. По мере своего продвижения в Среднюю Азию эти воздушные массы трансформируются и, особенно летом, в значительной степени теряют свои характерные свойства.

В качестве исходных данных использованы ряды наблюдений метеостанции Карши в теплый период года (март-октябрь), расположенной в зоне орошаемого земледелия за период 1991-2024 гг. Значения ТК определялись по дневным максимальным температурам воздуха и соответствующим им значениям температуры точки росы. Типы воздушных масс (ВМ), приводящие к формированию той или иной градации АЗ, определялись с помощью календарей синоптических процессов (СП) Средней Азии.

АЗ любой интенсивности в Каршинском оазисе начинает формироваться с марта (табл. 1).

В марте слабая АЗ может наступать при достаточно низких суточных максимальных температурах воздуха ( $9.6^{\circ}\text{C}$ ), низких значениях температуры точки росы ( $-14.4^{\circ}\text{C}$ ) и небольшого дефицита влажности ( $9.6$  гПа). Многолетняя средняя продолжительность слабой АЗ весной составляет 4-8, летом 8-9, а осенью – 10-11 дней.

**Таблица 1.** Диапазоны изменения максимальной температуры воздуха ( $\Delta T_x$ ), температуры точки росы ( $\tau$ ), дефицита точки росы ( $\Delta \tau$ ), максимального дефицита давления ( $\Delta d$ ) и многолетние средние числа дней (N) при различных степенях АЗ

| Месяц                 | $\Delta T_x, ^{\circ}\text{C}$ | $\tau_n \div \tau_x, ^{\circ}\text{C}$ | $\Delta \tau, ^{\circ}\text{C}$ | $\Delta d, \text{гПа}$ | N  | $\Delta T_x, ^{\circ}\text{C}$ | $\tau_n \div \tau_x, ^{\circ}\text{C}$ | $\Delta \tau, ^{\circ}\text{C}$ | $\Delta d, \text{гПа}$ | N  |
|-----------------------|--------------------------------|----------------------------------------|---------------------------------|------------------------|----|--------------------------------|----------------------------------------|---------------------------------|------------------------|----|
| слабая АЗ (76-90%)    |                                |                                        |                                 |                        |    | умеренная АЗ (91-105%)         |                                        |                                 |                        |    |
| III                   | 9.6÷31.6                       | -14.4÷7.4                              | 22.4÷27.0                       | 9.6÷36.9               | 4  | 17.5÷34.0                      | -9.4÷5.0                               | 26.5÷31.5                       | 14.2÷38.4              | 2  |
| IV                    | 15.4÷36.9                      | -7.8÷11.50                             | 22.6÷27.5                       | 12.6÷49.5              | 6  | 20.5÷38.8                      | -7.4÷10.0                              | 27.1÷32.2                       | 18.7÷58.1              | 4  |
| V                     | 19.5÷39.0                      | -5.7÷15.2                              | 23.1÷27.7                       | 18.4÷55.5              | 8  | 24.3÷42.8                      | -6.4÷12.0                              | 26.9÷32.8                       | 23.5÷62.9              | 7  |
| VI                    | 28.2÷43.0                      | 1.9÷17.3                               | 23.2÷28.1                       | 21.8÷60.8              | 8  | 30.3÷43.3                      | -1.2÷13.1                              | 27.7÷33.1                       | 27.0÷71.0              | 11 |
| VII                   | 30.9÷46.0                      | 4.3÷17.3                               | 23.4÷28.1                       | 21.4÷66.3              | 8  | 31.2÷43.2                      | 0.6÷14.6                               | 27.7÷33.2                       | 28.9÷76.6              | 13 |
| VIII                  | 27.4÷45.0                      | 0.6÷19.4                               | 23.4÷28.3                       | 27.1÷67.0              | 9  | 28.1÷43.2                      | -3.0÷12.7                              | 27.4÷32.9                       | 26.6÷65.9              | 13 |
| IX                    | 22.0÷38.5                      | -3.0÷12.7                              | 22.8÷27.8                       | 13.8÷51.4              | 11 | 24.2÷41.0                      | -6.4÷9.9                               | 27.1÷32.7                       | 18.8÷62.8              | 11 |
| X                     | 14.7÷34.5                      | -9.3÷9.4                               | 22.0÷27.6                       | 11.0÷43.0              | 10 | 15.5÷36.5                      | -12.2÷6.4                              | 26.4÷32.0                       | 9.6÷50.1               | 8  |
| сильная АЗ (106-120%) |                                |                                        |                                 |                        |    | очень сильная АЗ (>120%)       |                                        |                                 |                        |    |
| III                   | 24.0÷36.4                      | -7.8÷3.2                               | 31.8÷34.9                       | 25.3÷44.6              | 2  | 23.7÷36.3                      | -13.3÷-2.2                             | 37.0÷38.5                       | 23.7÷50.0              | 2  |
| IV                    | 23.7÷38.0                      | -8.2÷2.1                               | 31.7÷36.9                       | 24.6÷57.1              | 3  | 29.0÷38.4                      | -7.8÷0.4                               | 36.4÷42.2                       | 35.0÷54.8              | 2  |
| V                     | 27.7÷41.5                      | -4.4÷7.8                               | 32.1÷37.0                       | 30.2÷65.4              | 5  | 27.0÷40.2                      | -12.7÷2.1                              | 36.6÷46.6                       | 29.7÷64.7              | 2  |
| VI                    | 31.3÷44.2                      | -4.7÷10.0                              | 32.3÷37.8                       | 31.3÷73.3              | 9  | 31.0÷45.6                      | -6.4÷6.5                               | 36.7÷46.4                       | 39.4÷88.8              | 5  |
| VII                   | 32.1÷46.8                      | -2.2÷12.3                              | 32.5÷38.0                       | 40.5÷81.4              | 9  | 34.7÷45.7                      | -9.0÷6.2                               | 37.7÷48.0                       | 49.0÷88.8              | 4  |
| VIII                  | 27.4÷42.6                      | -4.7÷7.8                               | 32.1÷37.5                       | 31.6÷69.2              | 7  | 32.8÷44.6                      | -4.4÷4.5                               | 37.2÷42.4                       | 38.7÷82.8              | 3  |
| IX                    | 27.9÷39.8                      | -5.7÷6.4                               | 31.7÷37.2                       | 23.5÷62.4              | 6  | 32.8÷42.1                      | -5.0÷3.6                               | 37.8÷43.9                       | 43.6÷66.3              | 2  |
| X                     | 23.4÷38.5                      | -10.3÷2.5                              | 31.6÷36.7                       | 19.3÷56.4              | 2  | 26.1÷35.1                      | -13.9÷-4.4                             | 36.4÷42.5                       | 15.6÷53.0              | 2  |

Умеренная АЗ, которая формируется при более высоких температурах ( $17.5^{\circ}\text{C}$  в марте,  $15.5^{\circ}\text{C}$  в октябре), имеет максимальную продолжительность в летние месяцы

(11-13 дней). В условиях более высоких температур воздуха формируется сильная и очень сильная АЗ. Многолетняя средняя продолжительность АЗ этих градаций, как и в предыдущем случае, имеет максимальную продолжительность в летние месяцы (7-9 и 3-5 дней, соответственно). Главной отличительной чертой формирования различных градаций АЗ является следующее: слабая АЗ формируется при интервале дефицита точки росы 22.0÷28.0°C, умеренная – 27.0÷33.0°C, сильная – 32.0÷38.0°C и очень сильная – 36.0÷48.0°C.

Анализ показателей продолжительности дней с АЗ показывает, что их многолетнее среднее суммарное число за исследуемый 34-летний период составляет 158.6 (весной – 30.5 дней, летом – 84.4 дней и осенью – 43.7 дней) дней (табл. 2).

**Таблица 2.** Статистические характеристики продолжительности (число дней) и повторяемости (%) АЗ в различные сезоны и в теплый период в целом

| Типы СП       | ВМ             | Продолжи-<br>тельность | Степень АЗ |      |      |     | Всего | %     | Степень АЗ            |      |      |     | Всего | %     |
|---------------|----------------|------------------------|------------|------|------|-----|-------|-------|-----------------------|------|------|-----|-------|-------|
|               |                |                        | I          | II   | III  | IV  |       |       | I                     | II   | III  | IV  |       |       |
| Весна (III-V) |                |                        |            |      |      |     |       |       | Лето (VI-VIII)        |      |      |     |       |       |
| 1,2,8         | Т <sub>И</sub> | N                      | 48         | 35   | 9    | 3   | 95    | 9.2   | 24                    | 24   | 7    | 0   | 55    | 1.9   |
|               |                | N <sub>ср</sub>        | 1.4        | 1.0  | 0.3  | 0.1 | 2.8   |       | 0.7                   | 0.7  | 0.2  | 0.0 | 1.6   |       |
| 4,14          | Т <sub>С</sub> | N                      | 4          | 3    | 0    | 0   | 7     | 0.7   | 1                     | 0    | 10   | 8   | 19    | 0.7   |
|               |                | N <sub>ср</sub>        | 0.1        | 0.1  | 0.0  | 0.0 | 0.2   |       | 0.0                   | 0.0  | 0.3  | 0.2 | 0.6   |       |
| 5,15          | У <sub>Е</sub> | N                      | 9          | 4    | 1    | 2   | 16    | 1.5   | 42                    | 43   | 14   | 3   | 102   | 3.6   |
|               |                | N <sub>ср</sub>        | 0.3        | 0.1  | 0.0  | 0.1 | 0.5   |       | 1.2                   | 1.3  | 0.4  | 0.1 | 3.0   |       |
| 6             | У <sub>С</sub> | N                      | 2          | 6    | 0    | 0   | 8     | 0.8   | 20                    | 25   | 5    | 0   | 50    | 1.7   |
|               |                | N <sub>ср</sub>        | 0.1        | 0.2  | 0.0  | 0.0 | 0.2   |       | 0.6                   | 0.7  | 0.1  | 0.0 | 1.5   |       |
| 9,9а,9б       | У <sub>Т</sub> | N                      | 150        | 61   | 14   | 4   | 229   | 22.1  | 107                   | 134  | 54   | 5   | 300   | 10.5  |
|               |                | N <sub>ср</sub>        | 4.4        | 1.8  | 0.4  | 0.1 | 6.7   |       | 3.1                   | 3.9  | 1.6  | 0.1 | 8.8   |       |
| 10            | У <sub>Ю</sub> | N                      | 73         | 38   | 16   | 3   | 130   | 12.5  | 130                   | 161  | 66   | 13  | 370   | 12.9  |
|               |                | N <sub>ср</sub>        | 2.1        | 1.1  | 0.5  | 0.1 | 3.8   |       | 3.8                   | 4.7  | 1.9  | 0.4 | 10.9  |       |
| 11,12,13      | Т <sub>Т</sub> | N                      | 253        | 173  | 108  | 17  | 551   | 53.2  | 464                   | 824  | 554  | 132 | 1974  | 68.8  |
|               |                | N <sub>ср</sub>        | 7.4        | 5.1  | 3.2  | 0.5 | 16.2  |       | 13.6                  | 24.2 | 16.3 | 3.9 | 58.1  |       |
| Всего         |                | N                      | 539        | 320  | 148  | 29  | 1036  | 100.0 | 788                   | 1211 | 710  | 161 | 2870  | 100.0 |
|               |                | N <sub>ср</sub>        | 15.9       | 9.4  | 4.4  | 0.9 | 30.5  |       | 23.2                  | 35.6 | 20.9 | 4.7 | 84.4  |       |
| %             |                |                        | 52.0       | 30.9 | 14.3 | 2.8 | 100.0 |       | 27.5                  | 42.2 | 24.7 | 5.6 | 100.0 |       |
| Осень (IX-X)  |                |                        |            |      |      |     |       |       | Теплый период (III-X) |      |      |     |       |       |
| 1,2,8         | Т <sub>И</sub> | N                      | 16         | 9    | 3    | 1   | 29    | 2.0   | 88                    | 68   | 19   | 4   | 179   | 3.3   |
|               |                | N <sub>ср</sub>        | 0.5        | 0.3  | 0.1  | 0.0 | 0.9   |       | 2.6                   | 2.0  | 0.6  | 0.1 | 5.3   |       |
| 4,14          | Т <sub>С</sub> | N                      | 7          | 5    | 4    | 1   | 17    | 1.1   | 12                    | 8    | 14   | 9   | 43    | 0.8   |
|               |                | N <sub>ср</sub>        | 0.2        | 0.1  | 0.1  | 0.0 | 0.5   |       | 0.4                   | 0.2  | 0.4  | 0.3 | 1.3   |       |
| 5,15          | У <sub>Е</sub> | N                      | 44         | 23   | 5    | 1   | 73    | 4.9   | 95                    | 70   | 20   | 6   | 191   | 3.5   |
|               |                | N <sub>ср</sub>        | 1.3        | 0.7  | 0.1  | 0.0 | 2.1   |       | 2.8                   | 2.1  | 0.6  | 0.2 | 5.6   |       |
| 6             | У <sub>С</sub> | N                      | 9          | 4    | 0    | 0   | 13    | 0.9   | 31                    | 35   | 5    | 0   | 71    | 1.3   |
|               |                | N <sub>ср</sub>        | 0.3        | 0.1  | 0.0  | 0.0 | 0.4   |       | 0.9                   | 1.0  | 0.1  | 0.0 | 2.1   |       |
| 9,9а,9б       | У <sub>Т</sub> | N                      | 253        | 161  | 43   | 4   | 461   | 31.0  | 510                   | 356  | 111  | 13  | 990   | 18.4  |
|               |                | N <sub>ср</sub>        | 7.4        | 4.7  | 1.3  | 0.1 | 13.6  |       | 15.0                  | 10.5 | 3.3  | 0.4 | 29.1  |       |
| 10            | У <sub>Ю</sub> | N                      | 82         | 81   | 20   | 6   | 189   | 12.7  | 285                   | 280  | 102  | 22  | 689   | 12.8  |
|               |                | N <sub>ср</sub>        | 2.4        | 2.4  | 0.6  | 0.2 | 5.6   |       | 8.4                   | 8.2  | 3.0  | 0.6 | 20.3  |       |
| 11,12,13      | Т <sub>Т</sub> | N                      | 288        | 298  | 111  | 8   | 705   | 47.4  | 1005                  | 1295 | 773  | 157 | 3230  | 59.9  |
|               |                | N <sub>ср</sub>        | 8.5        | 8.8  | 3.3  | 0.2 | 20.7  |       | 29.6                  | 38.1 | 22.7 | 4.6 | 95.0  |       |
| Всего         |                | N                      | 699        | 581  | 186  | 21  | 1487  | 100.0 | 2026                  | 2112 | 1044 | 211 | 5393  | 100.0 |
|               |                | N <sub>ср</sub>        | 20.6       | 17.1 | 5.5  | 0.6 | 43.7  |       | 59.6                  | 62.1 | 30.7 | 6.2 | 158.6 |       |
| %             |                |                        | 47.0       | 39.1 | 12.5 | 1.4 | 100.0 |       | 37.6                  | 39.2 | 19.4 | 3.9 | 100.0 |       |

**Примечание:** N – суммы дней за период 1991-2024 гг., N<sub>ср</sub> – их многолетние средние значения.

Весной и осенью преобладающими являются условия слабой и умеренной АЗ, многолетние средние продолжительности (и повторяемости) которых составляют 15.9 дней (52.0%), 9.4 дня (30.9%) и 20.6 дней (47.0%) и 17.1 дней (39.1%), соответственно.

Летом преобладающим является слабая, умеренная и сильная АЗ (23.2 дня (27.5%), 35.6 дней (42.2%), 20.9 дней (24.7%), соответственно). В сумме за весь тёплый период наибольшую продолжительность и повторяемость имеет слабая и умеренная АЗ (59.6 дней (37.6%) и 62.1 дней (39.2%), соответственно).

Условия с АЗ вне зависимости от градации весной формируются при типах синоптических процессов, при которых над исследуемой территорией преобладают тропический туранский (53.2%), умеренный туранский (22.1%), умеренный южный (12.5%) и тропический иранский (9.2%) воздушные массы. Летом основным типом воздушных масс, формирующим АЗ является тропический туранский воздух, повторяемость которого составляет 68.8%. Осенью, как и в предыдущих случаях, преобладающими воздушными массами, формирующими АЗ, являются тропический туранский (47.4%), умеренный туранский (31.0%) и умеренный южный (12.7%).

Анализ межгодового изменения продолжительности АЗ, не принимая во внимание количественные оценки, показывает, что происходит уменьшение продолжительности слабой и увеличение продолжительностей остальных, особенно сильной, градаций АЗ (рис. 1). Данное обстоятельство подтверждает факт потепления климата в среднеазиатском регионе.

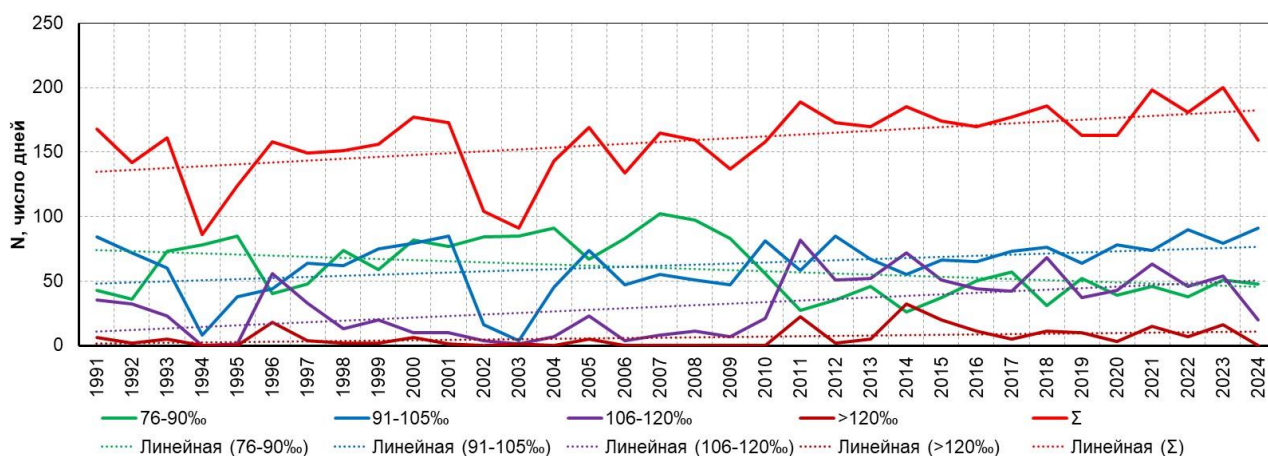


**Рисунок 1.** Межгодовое изменение продолжительности АЗ различных градаций в тёплый период (март-октябрь)

## Литература

1. IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change). 2021. Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Masson-Delmotte, V., P. Zhai, A. Pirani, S.L. Connors, C. Péan, S. Berger, N. Caud, Y. Chen, L. Goldfarb, M.I. Gomis, M. Huang, K. Leitzell, E. Lonnoy, J.B.R. Matthews, T.K. Maycock// Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 2391 pp.
2. Бабушкин Л.Н. О климатической характеристике воздушной засухи и суховеев в хлопковой зоне Узбекистана// В кн. Суховеи, их прогнозирование и борьба с ними. Ташкент. 1974. – С. 59-84.

3. Hobbins M., Wood A., Streubel D., Werner K. What drives the variability of evaporative demand across the conterminous United States. // J. Hydrometeorol., 2012, V. 13. – P. 1195–1214.
4. McVicar T.R., Roderick M.L., Donohue R.J., Li L.T., Van Niel T.G., Thomas A. et al. Global review and synthesis of trends in observed terrestrial near-surface wind speeds: Implications for evaporation // J. Hydrol., 2012, V. 416-417. – P. 182-205.
5. Zhang X., Duan Y., Duan J. et al. A daily drought index based on evapotranspiration and its application in regional drought analyses // Science China Earth Sciences, 2022, V. 65(2). – P. 317–336.
6. Петров Ю.В., Абдуллаев А.К. К вопросу оценки сухости воздуха // Метеорология и гидрология, 2010. – №11. – С. 90-96.
7. Петров Ю.В., Холматжанов Б.М., Эгамбердиев Х.Т., Ишниязова Ф.А., Буков В.А., Хайдаров М.Б. Новый подход к классификации атмосферной засухи // Гидрометеорология и мониторинг окружающей среды, 2021. – №1. – С. 20-36.
8. Инагамова С.И., Мухтаров Т.М., Мухтаров Ш.Т. Особенности синоптических процессов Средней Азии. Ташкент: САНИГМИ, 2002. – 486 с.
9. Бугаев В.А., Джорджио В.А., Козик Е.М., Петросянц М.А., Пшеничный А.Я., Романов Н.Н., Чернышева О.Н. Синоптические процессы Средней Азии // Под ред. Т.А. Сарымсакова, В.А. Бугаева, В.А. Джорджио, М.А. Петросянца, О.Н. Чернышевой. Ташкент: АН Уз, 1957. – 477 с.

УДК 551.577:31

## СТАТИСТИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ СИЛЬНЫХ ОСАДКОВ В ТАШКЕНТЕ

Холматжанов Б.М.<sup>1,2</sup>, Усаров З.Ш.<sup>1</sup>, Бегматов С.У.<sup>1</sup>

<sup>1</sup>*Научно-исследовательский гидрометеорологический институт*

<sup>2</sup>*Национальный университет Узбекистана имени Мирзо Улугбека  
(г. Ташкент, Республика Узбекистан)*

*Аннотация.* В работе показано, что в Ташкенте в период 1991-2022 гг. происходит увеличение дней с сильным дождем и уменьшение дней с сильным снегом. Вместе с тем в течение периода увеличивается доля сильных осадков в их общем годовом количестве.

*Ключевые слова:* осадки, сильный и очень сильный дождь, сильный и очень сильный снег, Ташкент.

## STATISTICAL CHARACTERISTICS OF HEAVY PRECIPITATION IN TASHKENT

B.M. Kholmatjanov<sup>1,2</sup>, Z.Sh. Usarov<sup>1</sup>, S.U. Begmatov<sup>1</sup>

<sup>1</sup>*Hydrometeorological Research Institute*

<sup>2</sup>*Mirzo Ulugbek National University of Uzbekistan  
(Tashkent, Uzbekistan)*

*Annotation.* The paper shows that in Tashkent in the period 1991-2022 there is an increase in days with heavy rain and a decrease in days with heavy snow. At the same time, the share of heavy precipitation in their total annual amount increases during the period.

**Keywords:** *precipitation, heavy and very heavy rain, heavy and very heavy snow, Tashkent.*

Осадки имеют важное значение в формировании климата. В глобальном масштабе прогнозируется увеличение количества осадков примерно на 1-2% на каждый градус потепления. Однако в региональных масштабах изменения количества осадков могут быть более сложными в зависимости от локальных условий циркуляции атмосферы [1]. На протяжении десятилетий количество осадков меняются из года в год, а изменения в количестве, интенсивности, частоте и типе (снег или дождь) влияют на окружающую среду и общество. Устойчивые умеренные дожди впитываются в почву и приносят пользу растениям, в то время как то же количество осадков в короткий промежуток времени может вызвать локальное наводнение и сток, в результате чего почва не получает влагу в полном объеме. Таким образом, при одинаковом количестве осадков климат может сильно отличаться, если частота и интенсивность осадков различаются. Следовательно, характеристики осадков так же важны, как и их количество, с точки зрения воздействия на влажность почвы и расход воды [2].

В последние годы столица Узбекистана часто страдает затоплениями вследствие сильных осадков. Почти каждую весну и осень обильные осадки превращают Ташкент в «Венецию». Самый сильный дождь за последние годы был зафиксирован в 2014 году, когда вода не только заполнила улицы, но и доверху затопила подземные переходы [3].

Учитывая вышеизложенное, в целях выявления изменений в режиме осадков г. Ташкент в течение 1991-2022 гг., произведена статистическая обработка наблюдений за осадками за этот период. Необходимо подчеркнуть, что в ходе анализа тренды изменений оценивались только с качественной точки зрения.

В Ташкенте многолетнее среднее годовое количество осадков в исследуемый период составил 455.1 мм. Линейный тренд межгодового изменения количества осадков показывает, что происходит их уменьшение (рис. 1). Вместе с тем, как видно из графика, происходит уменьшение амплитуды колебания годовых сумм осадков. Если в 90-е годы прошлого столетия максимальная амплитуда межгодового колебания составляла более 500 мм (747.8 мм в 1993 г. и 234.9 мм в 1995 г.), то в текущем веке она составляет около 300 мм (610.5 мм в 2003 г. и 288.5 мм в 2021 г.).

Основное количество осадков выпадают в Ташкенте в холодную половину года. В ноябре и декабре многолетние средние месячные суммы осадков составляют более 50 мм, а период с января по март выпадают более 60 мм осадков. Летний сезон является самым сухим, в этот период выпадают не более 10 мм осадков в месяц (рис. 2).

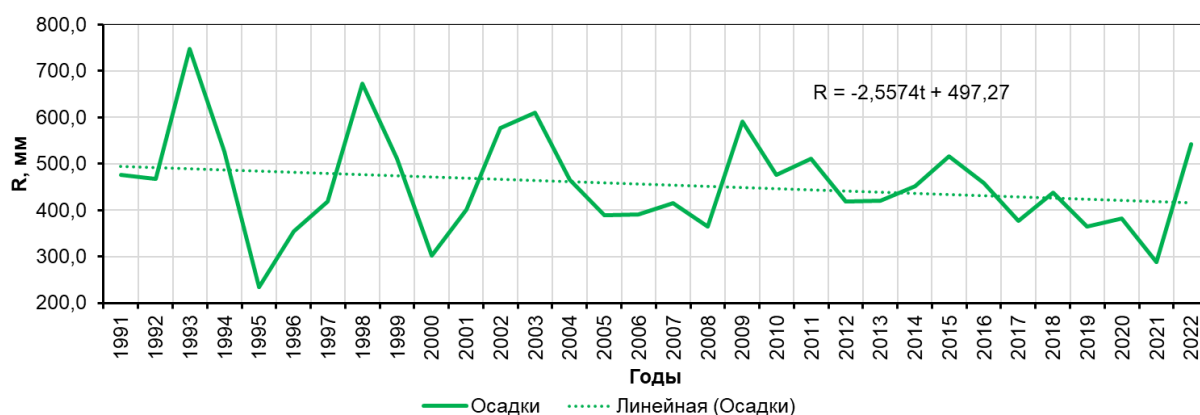


**Рисунок 1.** Межгодовое изменение количества осадков в Ташкенте

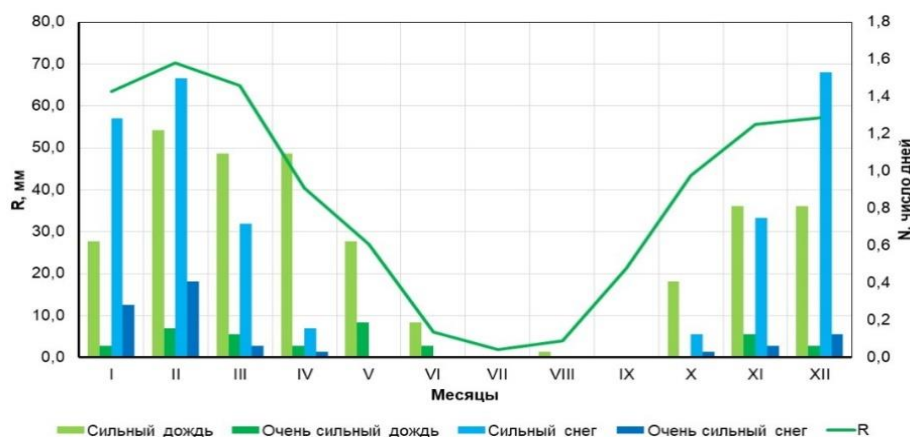


**Рисунок 2.** Внутригодовое распределение многолетних сумм осадков и числа дней с сильными и очень сильными осадками (дождь, снег) в Ташкенте (1991-2022 гг.)

Согласно методики, применяемой в Агентстве гидрометеорологической службы Республики Узбекистан, сильные и очень сильные осадки классифицируются следующим образом: сильный дождь – 15-29 мм/12 ч, очень сильный дождь – более 30 мм/12 ч, сильный снег – 7-19 мм/12 ч и очень сильный снег – более 20 мм/12 ч. Статистический анализ показал, что в Ташкенте преобладают осадки сильной интенсивности. Так, в многолетнем среднем расчете сильные дожди в октябре наблюдаются около 0.4 дней, в январе и мае 0.6 дней, в ноябре и декабре 0.8 дней и с февраля по апрель 1.1-1.2 дня. В зимний сезон дни с сильным снегом больше, чем дни с сильным дождем. Их число в январе составляют 1.3 дня, а феврале и декабре – 1.5 дня. Очень сильные дожди наименьшую частоту, их число не превышает 0.2 дней (май) в году. А очень сильный снег имеет большую частоту – феврале их частота может составлять до 0.4 дней.

Представляет большой интерес динамика числа дней с сильными и очень сильными осадками (дождь и снег) в течение исследуемого периода (рис. 3 и 4). Как свидетельствуют анализ, происходит увеличение дней с сильным дождем и уменьшение дней с сильным снегом. Вместе с тем дни с очень сильным дождем и снегом уменьшаются.

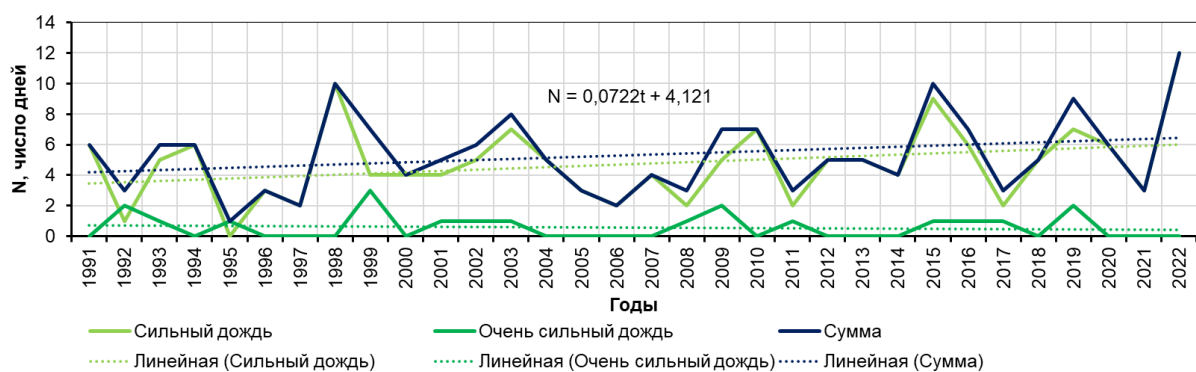


**Рисунок 3.** Межгодовое изменение числа дней с сильным и очень сильным дождем в Ташкенте

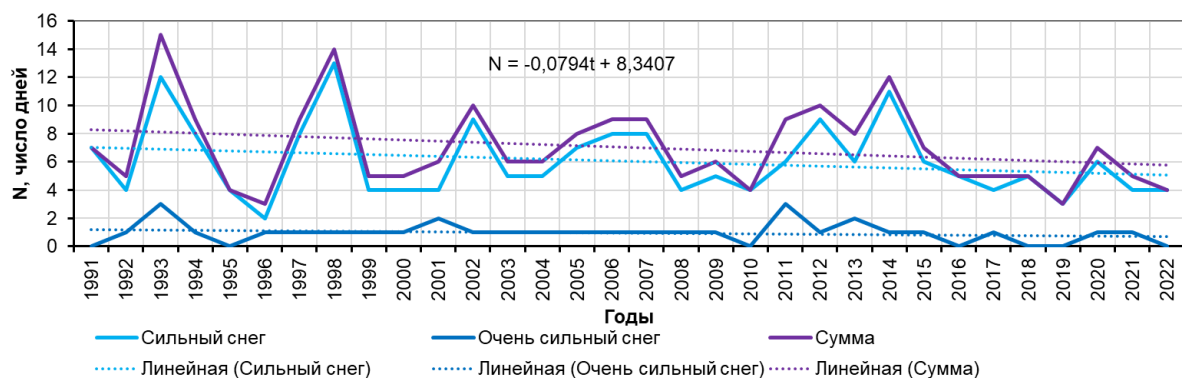


**Рисунок 4.** Межгодовое изменение числа дней с сильным и очень сильным снегом в Ташкенте

Многолетняя средняя количественная доля месячных сильных и очень сильных осадков составляют в течение года от 22% до 48%. А их годовая доля составляет 40.2% (рис. 5). Анализ динамики этой величины в течение исследуемого периода свидетельствует, что она заметно увеличивается (рис. 6).

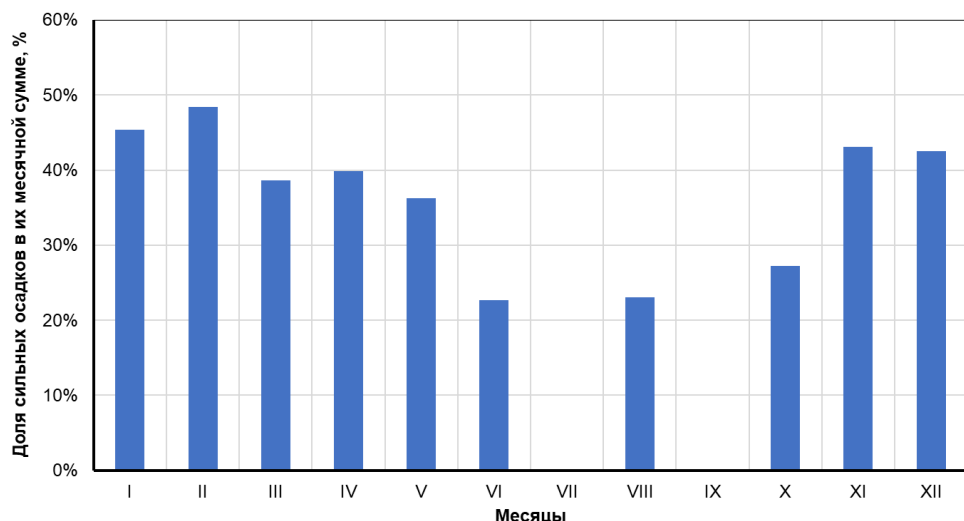


**Рисунок 5.** Доля сильных осадков в общем месячном количестве осадков (дождь, снег) в Ташкенте (1991-2022 гг.)

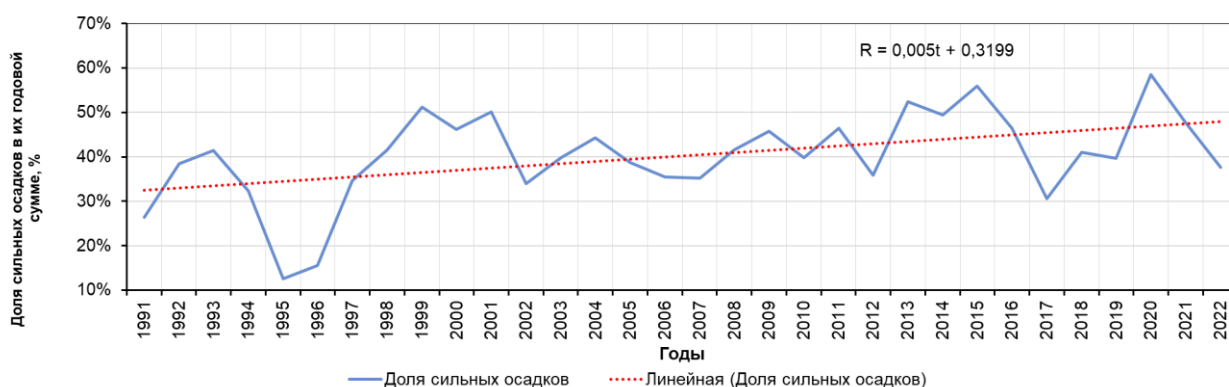


**Рисунок 6.** Динамика доли сильных осадков в общем годовом количестве осадков (дождь, снег) в Ташкенте

В качестве **выводов** данного исследования можно констатировать следующее. В свете продолжающегося изменения климата происходят ощутимые изменения в режиме осадков. В течение периода исследования в Ташкенте происходит уменьшение количества годовых осадков. Вместе с тем увеличивается число дней с сильными осадками и их доля в месячных и годовых суммах.

### Литература

1. Guo R., Deser C., Terray L., & Lehner F. Human influence on winter precipitation trends (1921–2015) over North America and Eurasia revealed by dynamical adjustment // Geophysical Research Letters, 2019, 46:3426–3434. <https://doi.org/10.1029/2018GL081316>
2. Trenberth K.E. Changes in precipitation with climate change // Climate Research, 2011, 47:123-138. <https://doi.org/10.3354/cr00953>
3. Ташкент затопило – город в очередной раз оказался не готов к весенним дождям. <https://www.autostrada.uz/venice/> [дата обращения: 05.03.2025]

УДК 551.435.8

## К ВОПРОСУ ОБ ОЦЕНКЕ ОПАСНОСТИ ПРОВАЛООБРАЗОВАНИЯ НА ТЕРРИТОРИИ КРУПНЫХ ГОРОДОВ

**Чалая Е.А., Барыкина О.С.**

*Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова  
(г. Москва, Российская Федерация)*

**Аннотация.** Проблема провалообразования представляет собой одну из актуальных тем в области геологии, особенно в таких крупных мегаполисах, как Москва. Северо-западный район столицы России, обладая уникальной архитектурой и исторической ценностью, сталкивается с рисками, связанными с геологическими процессами, одним из таких процессов является провалообразование. Различное геологическое строение, такое как, приуроченность к тальвегам погребенных эрозионных врезов, различная мощность слабопроницаемого слоя глинистых пород, разделяющего грунтовый и трещинно-карстовый водоносные горизонты. Все это является факторами способствующими провалообразованию. Оно может привести к серьезным последствиям, как для инфраструктуры, так и для безопасности населения.

Целью данной работы является изучение факторов способствующих образованию провалов на территории северо-западного района г. Москвы и оценка их опасности.

**Ключевые слова:** провалы; провалообразование; карст, суффозия; оценка опасности; районирование и прогноз карстовой и суффозионной опасности.

## THE ASSESSMENT APPROACH OF THE CAVITY FORMATION DANGER ON THE TERRITORY OF METROPOLITAN AREAS

E.A. Chalaya, O.S. Barykina  
Lomonosov Moscow State University  
(Moscow, Russia)

**Annotation.** The issue of cavity formation is one of the pressing topics in the field of geology, especially in large megacities like Moscow. The north-western districts of the capital of Russia, with their unique architecture and historical value, face risks associated with geological processes, one of which is cavity formation. Various geological structures, such as proximity to the thalwegs of buried erosion cuts and varying thickness of low-permeability clay layers separating groundwater and fractured-karst aquifers, are factors contributing to the formation of cavities. This phenomenon can lead to serious consequences for both infrastructure and public safety. The aim of this study is to investigate the factors contributing to the formation of cavities in the north-western district of Moscow and to assess its danger.

**Keywords:** cavities; cavity formation; karst; suffosion; danger assessment; zoning and forecasting of karst and suffosion hazards.

Провалообразование представляет собой геологический или инженерно-геологический процесс, который характеризуется образованием отрицательных форм рельефа на поверхности. Большинство работ, посвященных оценке провалообразования, трактуются авторами, как оценка карстового процесса или карстоопасности, куда в свою очередь очень часто входит еще и анализ сопутствующего суффозионного процесса. Карстовые и тесно связанные с ними суффозионные процессы развиваются в результате геологической деятельности подземных вод и относятся к опасным труднопрогнозируемым процессам. Развитие этих процессов приводит к разуплотнению грунтовых толщ, образованию пустот, провалов и оседанию отдельных участков земной поверхности (рис. 1).



Рисунок 1. Провал грунта на проспекте Маршала Жукова [1]

Карстовые формы на территории г. Москвы связаны с наличием в геологическом разрезе мощной толщи растворимых и водопроницаемых карбонатных пород каменноугольного возраста. Они, как правило, залегают на глубине нескольких десятков метров под толщей мезокайнозойских образований. Наиболее интенсивно закарстованы верхне- и среднекаменноугольные карбонатные породы, особенно находящиеся в области унаследованного развития речных долин. Имеются крупные полости внутри массива и воронкообразные понижения на поверхности растворимых пород. За несколько десятков лет на территории г. Москвы на поверхности были зафиксированы многочисленные провалы (рис. 2), известны случаи деформаций и разрушения жилых домов, что говорит об очевидности развития карстовых и суффозионных процессов на территории г. Москвы.

Анализ всех изученных воронок г. Москвы с подтвержденной приуроченностью их к древнему карсту показал, что средний размер данных форм в плане составляет 13,1 м, изменяясь от 1.5 до 53 м; встречаются такие значения, как 20, 22, 24, 28 и 40 м [2]. При этом все расчеты возможных диаметров воронок, выполненные при инженерно-геологических изысканиях в Москве, обычно сводятся к значениям менее 3 м, реже до 5-6 м и крайне редко — более.

Для формирования провала на поверхности необходимы следующие геологические условия: 1) в растворимых породах должны присутствовать раскрывающиеся в их кровле карстовые полости или расширенные трещины, лишенные заполнителя; 2) растворимые породы могут быть перекрыты водонепроницаемым слоем, содержащим сквозные нарушения сплошности (щели), контактирующие с трещинами или полостями, присутствующими в растворимых породах; 3) над растворимыми породами или над перекрывающим их водоупором должны залежать водонасыщенные или неводонасыщенные несвязные дисперсные породы.

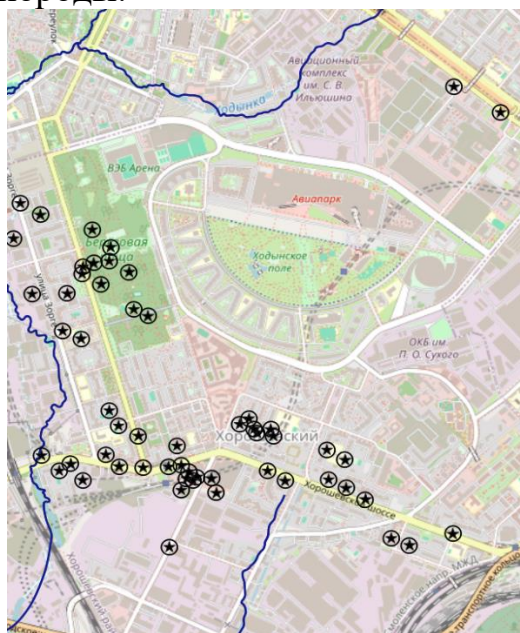


**Рисунок 2.** Случаи проявлений на поверхности воронок и мульд оседания на территории северо-западного района (Снимок экрана программы QGIS)

В этих условиях по разным причинам, имеющим как естественный, так и искусственный характер, может начаться прерывистое фильтрационно-гравитационное разрушение несвязных грунтов, перекрывающих растворимые породы [3].

В современном карстоведении известно более 150 количественных показателей, характеризующих особенности развития карстовых форм и их морфометрические параметры. Наиболее типичными параметрами морфометрии поверхностных карстовых форм являются их глубина  $z$  и диаметры  $d$  по разным осям, а также их производные площадные и объемные характеристики. При оценке подземных карстовых форм (полостей), исходя из доступных в настоящее время методов их исследования, наибольшее внимание уделяется двум морфометрическим характеристикам – высоте  $h$  (или вертикальной мощности) и ширине  $l$  [4]. В практике отечественного инженерного карстоведения широко применяется показатель глубинности  $N$  карстового провала:  $N = \frac{z}{d}$ . Этот

показатель напрямую характеризует степень опасности провала применительно к различным объектам. Среди показателей карстоопасности, оценивающих локальную интенсивность возникновения поверхностных карстовых форм в пространстве и времени, одними из первых были предложены показатели плотности  $\rho$  и интенсивности  $\lambda$  образования провалов:  $\rho = \frac{n}{S}$ ,  $\lambda = \frac{n}{S \cdot t}$ , где  $n$  –

количество поверхностных карстовых форм, шт.;  $S$  – площадь локализации поверхностных карстовых форм, км<sup>2</sup>;  $t$  – время образования карстовых форм, год.

Морфометрические характеристики карстопроявлений рекомендуется рассматривать с позиции вероятностно-статистического анализа. Результаты применения статистических методов прогноза размеров карстовых форм в наиболее полной степени отражают объективные закономерности эволюции массива горных пород [4]. Однако, в условиях г. Москвы неприменимы, поскольку, во-первых, в Москве имеют место не карстовые провалы, а карстовые и суффозионные оседания и, во-вторых, количество данных для применения этих методов недостаточно [5].

В некоторых случаях предварительные заключения о характере карстоопасности выстраиваются по анализу отдельных факторов в результате установления их влияния на активность развития карста, а иногда и на интенсивность его проявления. Согласно В.Н. Катаеву в качестве признаков, позволяющих оценить активность и опасность какого-либо процесса, используют те его факторы, определенное сочетание которых обуславливает степень активности и частоту проявлений процесса на единице площади или объема исследуемого массива [6].

В результате исследования центрального и северо-западного районов г. Москвы, оценка опасности провалообразования осуществлялась по анализу отдельных факторов, которые непосредственно влияют на возможность образования провалов. Изучаемая территория была разделена на 3 категории: опасная, потенциально опасная, неопасная. Каждой категории соответствуют определенные геологические условия, совокупность которых определяет

степень опасности возникновения провалов на данном участке. Среди таких факторов, были рассмотрены, приуроченность территории к тальвегам погребенных эрозионных врезов, мощность слабопроницаемого слоя глинистых пород, разделяющего грунтовый и трещинно-карстовый водоносные горизонты, наличие на поверхности проявлений карстовых и суффозионных форм в виде воронок и мульд оседания. Использование такого критерия как районирование по степени закарстованности карбонатного массива не представляется возможным при масштабе карты 1:10000, поскольку данный показатель обладает крайне сильной изменчивостью как по глубине, так и в плане.

### **Литература**

1. Бобылев С. На северо-западе Москвы произошел провал грунта//ТАСС от 02 августа 2020. <https://www.gazeta.ru/auto/photo/road-collapse-in-moscow.shtml>
2. Kochev A.D., Kopytin P.L., Kochev N.A., 2018. Karst suffusion processes in Moscow city and the problem of evaluating their hazard// Expekt the Unexpekt, Proceedings of International Symposium KARST 2018, Trebinje, 2018, pp. 173-178.
3. Хоменко В.П. Карстово-суффозионно-обвальное провалообразование и оценка его опасности для зданий и сооружений // Геоэкология. Инженерная геология. Гидрогеология. Геокриология, 2022. – № 1. – С. 20–29
4. Щербаков С.В. Интегральная оценка карстоопасности районов развития карбонатно-сульфатного карста на примере Среднего Предуралья: дисс. ... канд. геол.-мин. наук: 25.00.08 / Щербаков Сергей Владимирович. – Екатеринбург, 2013. – 273 с.
5. Кочев А.Д., Чертков Л.Г, Зайонц И.Л. Карстово-суффозионные процессы на территории г. Москвы и проблема оценки их опасности //Инженерная геология, 2018. – №6. – С. 24-32
6. Катаев В.Н. Методология и практика сравнительно-оценочного карстологического районирования. Пермь: Изд-во Перм. ун-та, 2001. – 85 с.

УДК 624.131

## **ПРИМЕНЕНИЕ ГИС ТЕХНОЛОГИЙ ДЛЯ ОЦЕНКИ СМЕЩЕНИЙ ОПОЛЗНЕВЫХ СКЛОНОВ**

**Шварц А.В.**

***Институт геологии, сейсмостойкого строительства и сейсмологии  
Национальной академии наук Таджикистана  
(г. Душанбе, Республика Таджикистан)***

***Аннотация.** Рассмотрено применение технологий географических информационных систем (ГИС) для оценки смещений оползневых склонов за определённый период времени, позволяющий рассчитать объёмы смещённых отложений. В качестве примера приводится Кукутальский оползневой склон, расположенный на восточном хребте Каратау в долине р. Вахи. Кроме того, используя сервис Google Earth можно построить рельеф любого участка поверхности Земли в любом масштабе и любым интервалом изогипс.*

**Ключевые слова:** географическая информационная система, оползень, смещение, график профиля, рельеф, изогипсы, растровая модель, защита территории.

## APPLICATION OF GIS TECHNOLOGIES FOR ASSESSING LANDSLIDES DISPLACEMENTS

A.V. Schvartz

*Institute of Geology, Earthquake Engineering and Seismology  
of the National Academy of Sciences of Tajikistan  
(Dushanbe, Tajikistan)*

**Annotation.** The application of geographic information systems (GIS) technologies to assess displacements of landslide slopes over a certain period of time is considered, allowing one to calculate the volumes of displaced sediments. As an example, the Kukhtal landslide slope, located on the eastern Karatau ridge in the valley of the river, is given in Vakhsh. In addition, using the Google Earth service, you can build the relief of any part of the Earth's surface at any scale and at any isohypsum interval.

**Keywords:** geographic information system, landslide, displacement, profile graph, relief, isohypsum, raster model, territory protection.

### Введение

Проблема изучения и прогноза оползней, обвалов и других склоновых процессов в связи с оценкой устойчивости – важнейшая задача в инженерной геологии и имеет большое значение для обоснования защиты как для отдельных сооружений, так и для территорий. При этом данные процессы не представляют экстраординарного феномена, а являются отражением закономерно развивающихся процессов в горно-складчатых областях. Каждое инженерно-геологическое исследование в областях, где распространены современные экзогенные геологические процессы должно завершаться возможно более обоснованной оценкой современной устойчивости склонов разных типов и прогнозом её изменения под влиянием природных и техногенных факторов [1]. Для обоснованной оценки устойчивости склонов, наряду с методами геологического анализа и аналогии, необходимо применять расчётные методы.

В инженерно-геологической практике часто возникает задача оценить тот или иной склон, с точки зрения его оползнеопасности во временном интервале. Одной из наиболее перспективной методикой, на сегодняшний день является применение ГИС технологий.

Для оценки смещений оползневого склона за какой-либо временной период необходимо:

- создать растровые модели исследуемого участка с изогипсами за разные периоды времени;
- построить соответствующие профили;
- сравнить профили между собой, выявив разницу в объёмах.

Создание растровой модели для любого участка земной поверхности с изогипсами можно выполнить с помощью следующих программ: Google Earth, GPS Visualizer и ArcGIS. Алгоритм действий, следующий:

1. Открываем Google Earth и на площади исследований проводим путь (Add path), так чтобы он покрывал всю территорию как вдоль, так и поперёк. Далее

сохраняем файл с расширением (\*.kmz). Причём, чем плотнее проводим линии, тем точнее будут проведены изогипсы.

2. В интернете открываем программу GPS Visualizer, нажимаем Look up elevation. В открывшемся окне выбираем Choose File и нажимаем Convert & add elevation. Далее нажимаем Click to download имя файла .gpx.

3. Открываем ArcMap, ArcToolbox, Conversation Tool, From GPS, GPX to Feature в открывшемся диалоговом окне вставляем наш файл и выбираем, где мы будем хранить наши данные.

4. В ArcToolbox открываем 3D Analyst Tools, Raster Interpolation, IDW. В открывшемся окне вставляем наш файл, во втором окне выбираем elevation и сохраняем, далее ОК. Получившуюся растровую модель оформляем по вашему желанию.

5. В ArcToolbox открываем 3D Analyst Tools, Raster Surface, Counter. В открывшемся окне вставляем наш растр, далее, где сохранить и выбираем интервал контуров (изогипс). Заходим в Properties и оформляем как нам удобно.

6. В 3D Analyst открываем Interpolate Line и далее Create Profile Graph. Дополнительно, можно изменить компоновку графика профиля. Для этого правой кнопкой мыши выделяем заголовок графика профиля и выбираем Properties. Для того, чтобы внести более сложные изменения в график профиля можно выбрать Advanced Options.

Все шаги, перечисленные выше, можно посмотреть на сайтах [2, 3].

В качестве примера оценки динамики оползневого склона, рассмотрим предлагаемую методику на небольшом оползневом склоне, расположенном на восточном хребте Каратау в долине р. Вахш. Данный оползень, получивший название Куккутальский, активизировался 2003 и 2004 годах после ливневых дождей. Морфологически оползневой участок расположен в краевой части древнего оползневого тела и занимает весь восточный склон хребта Каратау. Форма древнего оползневого цирка округлая, размером около 3,5×3км. В нижней части древнего цирка видны остатки древнего оползня, который выходил к реке Вахш и перекрывал её. Строение древнего оползневого цирка напоминает собой округлую чашу с узким проходом к реке Вахш в самой южной её части. В стенке срыва древнего оползня обнажаются карбонатно-терригенные породы верхнего мела, которые круто, около 600-700, падают на восток к реке Вахш. В геологическом строении оползневого склона принимают участие следующие типы пород: лёссовидные суглинки (Q<sub>III</sub>), рыхлые оползневые отложения (dpQ<sub>IV</sub>), аллювиальные отложения (aQ<sub>IV</sub>), карбонатно-терригенные отложения акджарских слоёв палеогена (P<sub>1</sub>) и карбонатные отложения кампанского и маастрихтского ярусов верхнего мела (K<sub>2</sub>). Более подробная информация о инженерно-геологических условиях данного склона приведена в работе [4].

По вышеприведённому алгоритму на Куккутальском оползневом склоне (космоснимок из Google Earth за 2023 год) проводим путь для создания растровой модели (рис. 1). Далее в программе ArcGIS оформляем получившуюся растровую модель с границами оползня, а также обязательно выделяем изогипсы (рис. 2). Кроме того, на карте проводим линию разреза, для которого в этой же программе строим график профиля (рис.3).

Для того чтобы сравнить рельеф 2023 г. данного оползневого участка, с более ранним, был выбран космоснимок из коллекции ASTER 2000 г. (ASTGTM\_N38E069\_dem).

Продукт ASTER GDEM был разработан совместно METI и NASA. ASTER GDEM был предоставлен системе GEOS и бесплатно доступен посредством загрузки из интернета. Глобальная цифровая модель рельефа (GDEM) версии 3 (ASTGTM) усовершенствованного космического термоэмиссионного и отражательного радиометра Terra (ASTER) обеспечивает глобальную цифровую модель рельефа (ЦМР) участков суши на Земле с пространственным разрешением 1 угловая секунда (приблизительно 30 метров по горизонтали на экваторе). Сенсор ASTER был создан METI и запущен на борту спутника NASA Terra в декабре 1999 года.



**Рисунок 1.** Добавление пути для создания растровой модели Куккутальского оползневого склона (рельеф 2023 года из Google Earth)

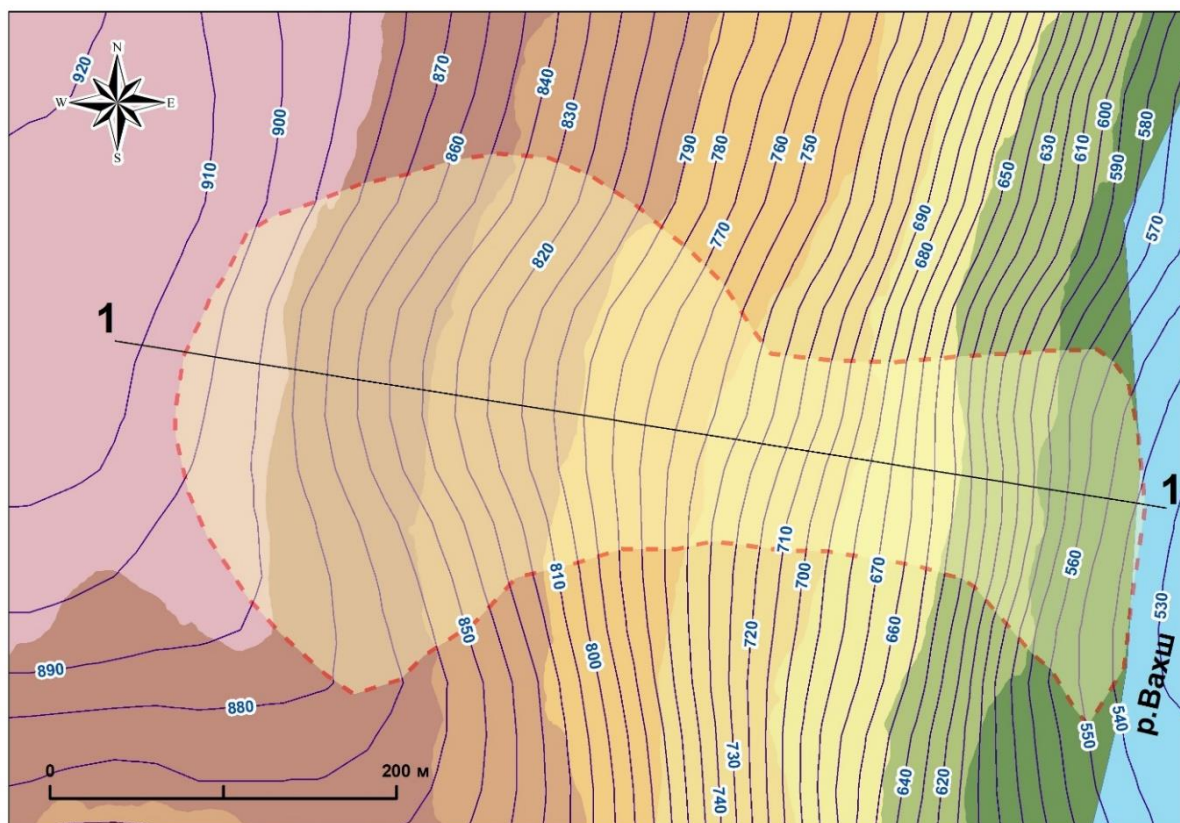


**Рисунок 2.** Растровая модель Куккутальского оползневого склона с изогипсами и профилем по линии 1-1

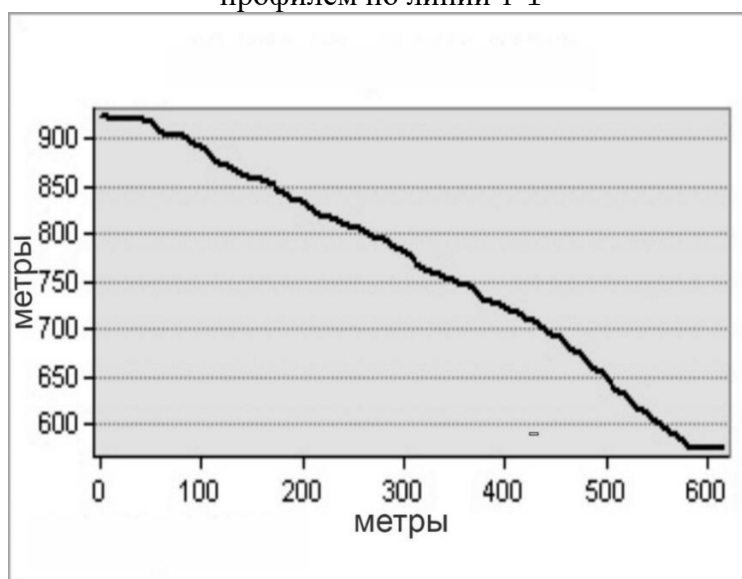


**Рисунок 3.** Профиль Куккутальского оползневого склона (рельеф 2023 года из Google Earth)

Ввиду того, что космоснимки ASTER представляют собой цифровую модель рельефа, можно сразу строить растровую модель исследуемого склона и профиль по той же линии. На рисунке 4 представлена растровая модель оползневого склона с изогипсами (а) и построенный по данным изогипс график профиля (б).

Далее в программе Corel график профиля за 2000 год, был совмещён с графиком профиля за 2023 год (рис.5). Построенный график профиля был

перенесён в программу ArcGIS, где была вычислена площадь сегмента, являющейся разницей между границами рельефа 2000 и 2023 годов. Объём данного сегмента при ширине 1 метр составил 12640 м<sup>3</sup>.

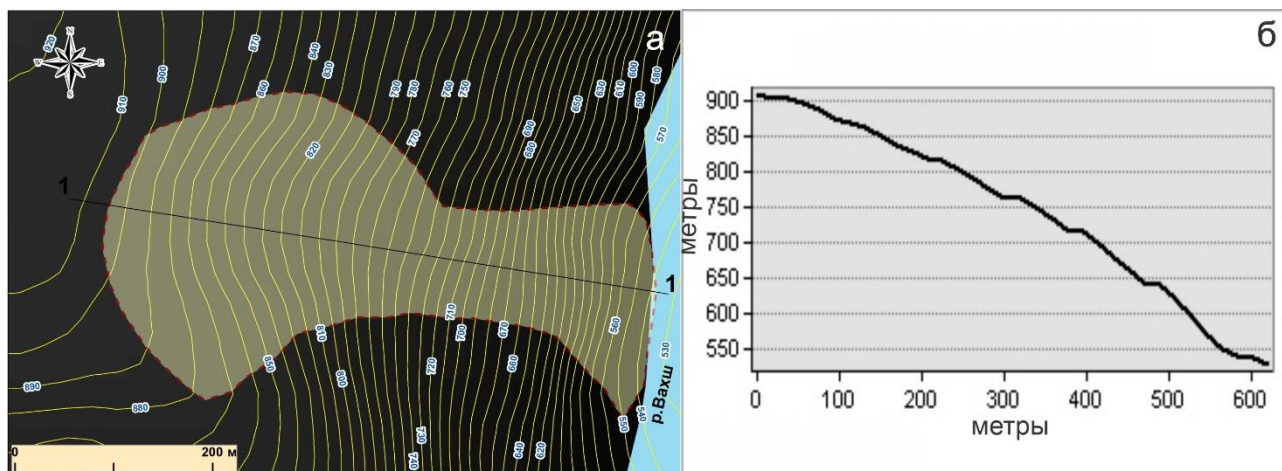


**Рисунок 4.** Растровая модель Куккутальского оползневого склона по рельефу 2000 г. (космоснимок ASTER \_ASTGTM\_N38E069\_dem) с линией разреза 1-1 (а) и график профиля (б).

При этом средняя мощность (толщина) сместившихся масс составила 15-18 метров. Площадь оползневой деформации, вычисленная в программе ArcGIS, составила 105 349 м<sup>2</sup>. Следовательно, объём сместившихся масс за 24 года составил 1580235-1896282 м<sup>3</sup>, т. е. примерно от 1.6 млн. м<sup>3</sup> до 1.9 млн. м<sup>3</sup>. Однако, учитывая, что мощность сместившихся накоплений к краям оползня уменьшается, то можно считать, объём 1.6 млн. м<sup>3</sup> является наиболее вероятной цифрой.

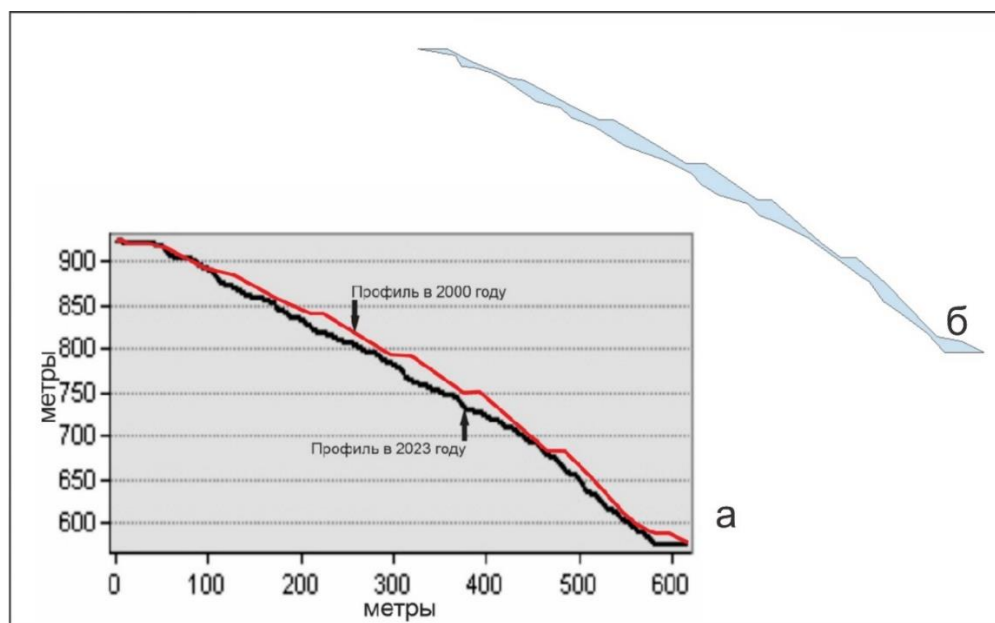


**Рисунок 5.** Совмещённые графики профиля (а) Куккутальского оползневого склона (рельеф 2000 г. из космоснимка ASTER и 2023 г. из Google Earth) и сегмент рельефа (б), являющейся разницей между границами рельефа 2000-2023 годов

## **Заключение**

Предлагаемая методика поможет решить следующие задачи:

- используя общедоступный сервис Google Earth можно построить рельеф любого участка поверхности Земли в любом масштабе и любым интервалом изогипс;
- определение смещения оползневых склонов во времени позволяет уточнить инженерно-геологические рекомендации по комплексным мероприятиям при защите территорий и сооружений от оползней и других склоновых процессов в зависимости от их типов и объёмов.

## **Литература**

1. Методика инженерно-геологических исследований высоких обвальных и оползневых склонов. Под ред. Г.С. Золотарёва и М. Янича. Изд-во МГУ, 1980, 184 с.
2. Электронный ресурс. <https://www.youtube.com/watch?v=7MN1iMSnfQ0>;
3. Электронный ресурс. [https://www.youtube.com/watch?v=1r7fqIx\\_OJU](https://www.youtube.com/watch?v=1r7fqIx_OJU)
4. Шварц А.В., Ишук Н.Р. Строение и динамика Кукутальского оползня// В сб.: Геология и вопросы сейсмичности территории Таджикистана. Душанбе, «Недра», 2014. С.163-175.

УДК 502/504:55.551.5:556

## **РАЗРАБОТКА БАЗЫ ДАННЫХ СЕЛЕВЫХ БАССЕЙНОВ КАБАРДИНО - БАЛКАРСКОЙ РЕСПУБЛИКИ В СОВРЕМЕННОМ ЦИФРОВОМ ФОРМАТЕ**

**Шерхов А.Х., Гергокова З.Ж.**

**Высокогорный геофизический институт  
(г. Нальчик, Российская Федерация)**

***Аннотация.** В работе представлены ключевые моменты разработки электронной базы данных селевых бассейнов несущей в себе информацию, позволяющую оценить условия возникновения селевых процессов в регионе, их тип, генезис, объём твёрдой составляющей селя, периодичность, интенсивность, основные морфометрические показатели селевых бассейнов и т.п. Анализ представляемых в таких базах данных материалов, способствует выявлению масштабов, опасности, основных особенностей и закономерностей распространения и развития селевой деятельности.*

***Ключевые слова:** база, данные, селепроявления, бассейн, параметры, потоки.*

## DEVELOPMENT OF A DATABASE OF MUDFLOW BASINS OF THE KABARDINO-BALKARIAN REPUBLIC IN A MODERN DIGITAL FORMAT

A. Sherkhov, Z.Zh. Gergokova  
High Mountain Geophysical Institute  
(Nalchik, Russia)

**Annotation.** The paper presents the key points of the development of an electronic database of mudflow basins containing information that allows assessing the conditions of occurrence of mudflow processes in the region, their type, genesis, volume of solid component of mudflow, periodicity, intensity, main morphometric indicators of mudflow basins, etc. Analysis of the materials presented in such databases helps to identify the scale, danger, main features and patterns of distribution and development of mudflow activity.

**Keywords:** database, data, mudflows, basin, parameters, flows.

Проведённый анализ существующих подходов к созданию баз данных о селепроявлениях показал, что на современном этапе базы данных по данной тематике выполнены, в основном, в виде таблиц, отображающих информацию в структурированном формате, который, в свою очередь, определяется целевым предназначением предоставляемых данных. Помимо табличных данных составляются обзорные карты и карты селевых бассейнов различного масштаба [1, 2].

Представляемая «База данных селевых бассейнов» (БД) охватывает вопросы организации учета данных о селепроявлениях по материалам комплексного и оперативного (космического, наземного маршрутного и др.) мониторинга селевых бассейнов, а также архивных данных по каждому из них [3-5]. Назначение настоящей БД состоит в предоставлении актуальной информационной основы для оценки текущих пространственно-временных изменений объектов мониторинга селевых бассейнов по результатам аналитической проработки пополняемых данных.

В качестве программной оболочки «Базы данных селевых бассейнов» предполагается использовать реляционную систему управления базами данных (СУБД) Microsoft Access входящую в состав пакета Microsoft Office.

Вопросу учёта в базе данных подлежат:

- *параметры основной реки.* Первичное районирование объектов «Базы данных селевых бассейнов» реализуется на гидрологической основе и предполагает представление сведений об основных реках селевых бассейнов Кабардино-Балкарской республики (КБР): Малка, Баксан, Чегем, Черек Балкарский и Черек Безенгийский. Данные хранятся в файловой системе в разрезе «Параметры основной реки».

- *селевые притоки 1-го и 2-го порядков.* В качестве основных сведений о селевых притоках 1-го 2-го порядков, по указанным основным рекам, используются кадастровые данные каталога к карте «Селевые бассейны КБР» («Кадастр»), дополненные параметрами селевых бассейнов, которые ранее не учитывались. Так, в случаях, когда в селевом бассейне имеется не один, а несколько селевых очагов, селепроявления в них могут как совпадать, так и не совпадать по времени. Таким образом, одно и тоже русло может пропускать

потоки из разных селевых очагов. К тому же при трансформации русла и прилегающих склонов часто возникают условия для формирования новых очагов или активизации существующих. Очевидно, в таких случаях целесообразно говорить о системе селевых очагов бассейна [6-8].

- *параметры селевых русел.* В дополнение к основным параметрам селевых водотоков приведенным по данным «Каталога», в БД учитывается наличие в русле потенциальных очагов селеобразования, например, оползневых массивов, озер или скоплений материала в приледниковой зоне.

- *параметры селевых очагов.* До настоящего момента, селевые очаги не рассматривались в известных БД, каталогах, кадастрах и пр. в качестве отдельного объекта селевого бассейна. Сведения о них носят разрозненный характер и на данный момент не имеют единой методики описания. В разрабатываемой БД селевых бассейнов предлагается единый формат представления данных селевых очагов, в том числе потенциальных. В качестве основных параметров рассматриваются: информация о местоположении очага (координаты), абсолютная высота над у. м., тип очага, определяемый по характеру процессов, динамический показатель, классифицирующий состояние селевого очага на данный момент: потенциальный, развивающийся, стабильный, затухающий.

- *параметры селевых потоков.* Некоторые параметры селевых потоков приводятся в «Каталоге» и дублируются в настоящей БД. В дополнении к ним вводятся: данные о возможности выхода селевых выносов в русло основной реки и в графе «Дополнительные сведения» информация о площади конуса выноса, в том числе вероятной; возможности перекрытия русла основной реки; протяженности транзита селевых масс в русле основной реки.

- *ущерб народно-хозяйственным объектам.* В БД вносятся данные о возможном и фактическом ущербе народно-хозяйственным объектам. Графа «Дополнительные сведения» содержит детальную информацию с классификацией объектов жизнедеятельности подверженных негативному воздействию (в том числе возможному) склоновых и русловых процессов.

- *угрозы и риски.* Угрозы и риски, до настоящего момента, так же не рассматривались в едином формате показателя опасных природных процессов. Здесь, в графе «Угрозы» учитываются возможные опасности для объектов жизнедеятельности на селитебных территориях подверженных воздействию селевых потоков и, а также оценивается вероятность развития событий по негативному сценарию.

- *степень селеопасности.* В настоящее время общепринятой методики определения степени селеопасности (селевой интенсивности, селевой пораженности) не существует. Разными исследователями используются различные принципы и подходы [9,10]. Значение этого показателя во многом зависит от факторов, способствующих селеформированию в селевом бассейне и их активности. Здесь учитываются: интенсивность селепроявлений в селевом бассейне, уровень пораженности селевыми процессами территории бассейна основной реки, степень присутствия народнохозяйственных объектов и их инфраструктуры в зоне воздействия селевых потоков. Данные показатели,

будучи не связанными напрямую между собой, отражают масштаб селеопасности в зависимости от целевого назначения запроса.

- *сооружения и мероприятия.* В основе информационного наполнения данного блока представлены материалы, изложенные в каталоге к карте «Народнохозяйственные объекты на территории КБР, подверженные воздействию лавин и селей» Кадастра лавинно-селевой опасности КБР 2001 г., дополненные актуальными, в настоящее время, сведениями.

- *рекомендации.* В этом блоке представлена информация о рекомендуемых селезащитных сооружениях и мероприятиях в контексте современной обстановки в селевом бассейне с учетом предполагаемого развития ситуации в ближайшем будущем. Базовыми данными в наполнении данного блока также служат материалы каталога к карте «Народнохозяйственные объекты на территории КБР, подверженные воздействию лавин и селей» Кадастра лавинно-селевой опасности КБР. В графе «Примечания» указывается необходимость проведения дополнительных исследований в случаях, когда информации о селепроявлениях в данном водотоке недостаточно.

Графическое представление рабочего варианта структуры «Базы данных селевых бассейнов» и взаимосвязей ее блоков показаны на рисунке 1.

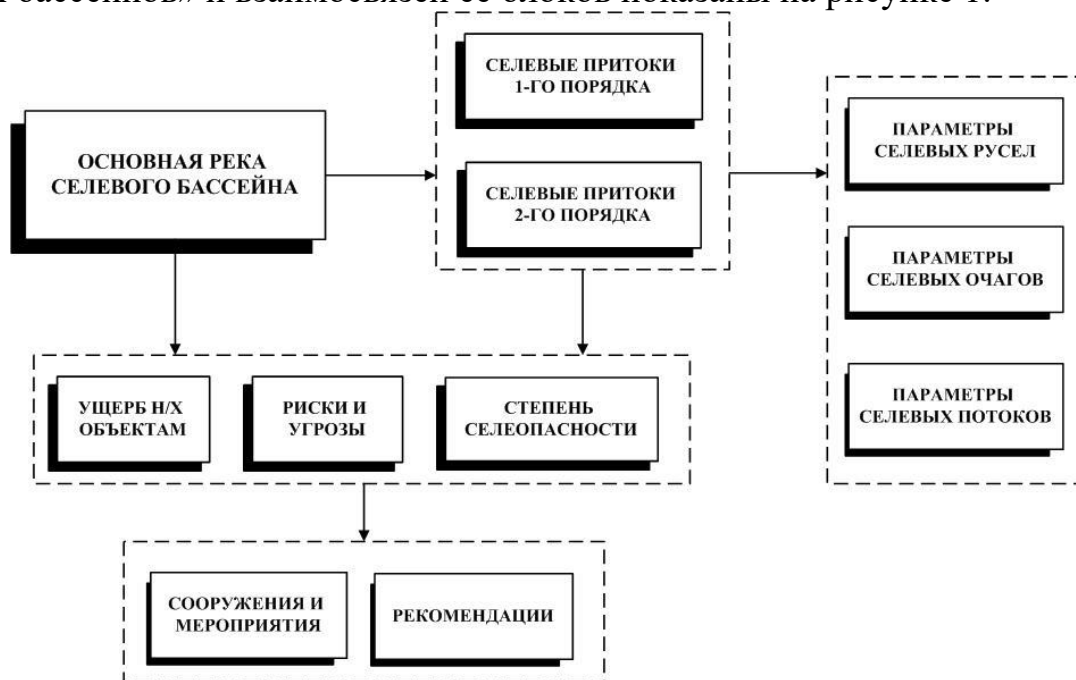


**Рисунок 1.** Рабочий вариант структуры «Базы данных селевых бассейнов»

Базы данных селепроявлений являются следующим этапом разработки системного геоинформационного подхода к изучению развития селевых процессов, поскольку позволяют систематизировать исследования прошлых лет и всесторонне рассмотреть пространственные и временные закономерности селепроявлений. Такой подход позволяет анализировать процессы с учетом изменений геоморфологических, гидрометеорологических, климатических, почвенно-растительных и антропогенных факторов, определяющих

повторяемость, объем, расход, плотность селевой массы, характер отложений и другие параметры селевых потоков.

Базы данных также могут быть составлены для разных иерархических уровней географо-территориального и административного деления региона (основные физико-географические районы региона, субъекты РФ, речные бассейны и т.д.). Электронные версии подобных информационных ресурсов должны обеспечивать возможность автоматизированного поиска и оперативного пополнения данных, находясь, при этом, в режиме свободного доступа на специализированных сайтах в сети интернет.

### Литература

1. Кондратьева Н.В. и др. Кадастр селевой опасности Юга Европейской части России// М–Н. – «Феория». – 2015. – 148с.
2. Кондратьева Н.В. и др. Кадастр лавинно-селевой опасности КБР// Гидрометеиздат. – 2001. – 64с.
3. Балатакова А., Николова В., Кендерова Р., Христова Н. Применение ГИС и данных дистанционного зондирования для анализа селевых потоков на примере изучения восточных предгорий Пирина (Болгария) / / Труды 5-й Международной конференции «Селевые потоки: катастрофы, риск, прогноз, защита», Тбилиси, Грузия. – 2018. – С 22-33.
4. Шерхов А.Х., Гергокова З.Ж. База данных «Ледники России»// Институт географии РАН (Грант №05/2017-2019/РГО-РФФИ) <https://www.glacrus.ru> Природообустройство. – 2023. – № 4. – С.86-91.
5. Аппаева Ж. Ю., Березинский И. Н., Геккиева Ж. М. Депонируемые материалы, идентифицирующие базу данных «Материалы по активным воздействиям на градовые процессы» //ФГБУ «ВГИ», Нальчик – 2019. – 15 с.
6. Черноморец С. С. Селевые очаги до и после катастроф// г. Москва. Изд.: Научный мир, Москва. 2005. – 184 с.
7. Докукин М.Д. и др. О селях 2011 года на Северном склоне Центрального Кавказа. Геориск, 2012. – № 7. – С. 30-40.
8. Запорожченко Э. В. и др. Селевые процессы на современном этапе деградации горного оледенения// Вестник ВНЦ, 2009. – Т. 9. – №1. – С. 44-49.
9. Мезенина Т.Н., Чулков К.И., Сейнова И.Б. Пояснительная записка к комплекту карт распространения экзогенных геологических процессов на территории КБР масштаба 1:200000// – Нальчик. Фонды МЧС КБР, 1995.
10. Стрешнева Н. П., Строганова О. И. и др. Отчет по инженерно-геологическому обследованию территории КБАССР, СОАССР, ЧИАССР и КЧАО за 1972-1975 гг// - Нальчик. Фонды КБГРЭ, 1996.

## ПРИМЕНЕНИЕ СОВРЕМЕННЫХ ТЕХНИЧЕСКИХ СРЕДСТВ ДЛЯ МОНИТОРИНГА ГОРНЫХ ЛАНДШАФТОВ

Шерхов А.Х.

*Высокогорный геофизический институт  
(г. Нальчик, Российская Федерация)*

**Аннотация.** В работе, показаны перспективные направления применения современных технических средств и сопутствующего профильного программного обеспечения, с целью мониторинга природных объектов повышенной потенциальной опасности в горах. На примерах показаны варианты оценки пространственно - временных изменений участков обследуемой территории.

**Ключевые слова:** беспилотный летательный аппарат, опасные склоновые и русловые процессы, мониторинг, сель, оползень.

## APPLICATION OF MODERN TECHNICAL MEANS FOR MONITORING MOUNTAIN LANDSCAPES

A.Kh. Sherkhov

*High Mountain Geophysical Institute  
(Nalchik, Russia)*

**Annotation.** The paper shows promising areas of application of modern technical means and accompanying specialized software for monitoring natural objects of increased potential danger in the mountains. Examples show options for assessing spatial and temporal changes in areas of the surveyed territory.

**Keywords:** unmanned aerial vehicle, dangerous slope and channel processes, monitoring, mudflow, landslide.

В силу таких факторов как удаленность и труднодоступность наблюдения территорий, комплексный мониторинг горных и высокогорных ландшафтов, помимо натурных обследований, подразумевает использование данных космоснимков и результатов аэрофотосъемки вертолетных облетов и беспилотных летательных аппаратов [1]. Наиболее перспективным направлением решения поставленных задач представляется аэрофотосъемка с применением беспилотных летательных аппаратов (БПЛА), поскольку высокоточная съемка ландшафта исследуемого участка поверхности позволяет получить, созданное на основе перекрывающихся снимков с квадрокоптера, цифровое ортотрансформированное изображение местности - ортофотоплан. с точной привязкой объектов в заданной системе координат, которое практически лишено искажений и может быть выполнено с высоким пространственным разрешением [2, 3]. Таким образом, достигается уровень детализации, достаточный для проведения сопоставительного анализа разновременных снимков с целью получения максимально достоверных данных о текущей динамике развития опасных склоновых и русловых процессов.

Технология реализации современного подхода в решении проблем мониторинга горных территорий показана на примере участка, заброшенного

хвостохранилища Тырнаузского горно-обогатительного комбината (ТГОК), который на сегодняшний день является одним из наиболее проблемных, в плане селевой и экологической опасности, объектов [4-7]. Съёмка местности проводилась при помощи квадрокоптера «DJI Mavic Air 2». В процессе съёмки использовались различные сочетания высоты и скорости движения, стандартная камера указанного аппарата. Для обработки материалов аэрофотосъёмки, построения цифровых моделей рельефа, ортофотопланов и пр. использовано программное обеспечение Agisoft Metashape Professional.

Обработка данных аэрофотосъёмки начинается с выравнивания снимков и создания связующих точек в специализированном приложении. На данном этапе идёт центрирование снимков и отсеивание лишних фотографий с неправильным углом съёмки или с лишними участками. Так при обследовании аварийной зоны хвостохранилища созданы два проекта для рассматриваемой области, отражающие состояние объекта в 2021 и 2024 годах. В процессе обработки, в программу были включены более 500 фотографий, из которых были отсеяны 28 обзорных фото, которые не имели общих точек и достаточного перекрытия. В сумме была создана 461 тыс. связующих точек (рис. 1).



**Рисунок 1.** Начальный этап построения цифровой модели рельефа

Далее строится плотное облако точек, на базе имеющихся связующих точек. В результате построения плотного облака точек, в данных проектах, было создано 167, 7 млн. точек. На данном этапе практически можно увидеть цельный рисунок, но при уменьшении масштаба заметно, что проект состоит только из точек.

На третьем этапе строится цифровая модель местности на основе плотного облака точек. Искажение по краям снимков и недостаточное их перекрытие обуславливает наличие шумов по краям проекта. Поэтому при построении плотного облака точек, на границе полигона съёмки будут наблюдаться артефакты в виде интерференционных волн (рис. 2).

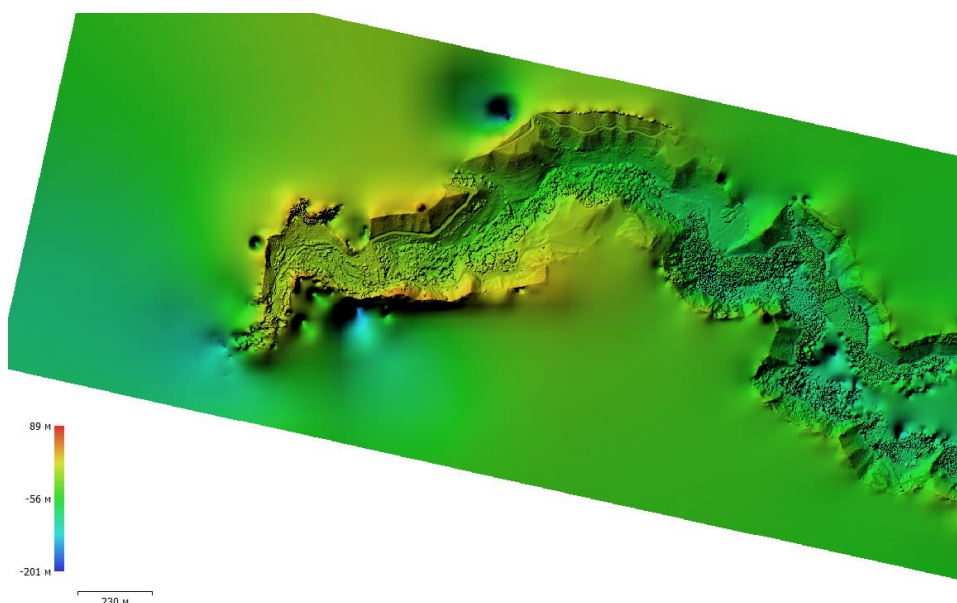


**Рисунок 2.** Цифровая модель рельефа (ЦМР) исследуемого участка

Участок съёмки следует выбирать с буфером минимум в один снимок от границы области интереса.

Последний этап – это создание ортофотоплана участка на основе уже полученных данных который, в отличии от ЦМР, позволяет детально оценить качественные различия заданной поверхности (рис. 3).



**Рисунок 3.** Ортофотоплан исследуемого участка

Сопоставление разновременных цифровых моделей исследуемой поверхности позволяет с высокой точностью оценить пространственно-временные изменения за указанный период. Это, в свою очередь, дает возможность обоснованно характеризовать текущее состояние объекта мониторинга в данный момент.

В заключение хотелось бы отметить высокую эффективность данной методики ведения мониторинга. Проведение разновременных рекогносцировочных обследований небольших территорий (несколько

квадратных километров) с применением БПЛА позволяет в оперативном режиме и с высокой точностью отслеживать развитие различных геоморфологических и гидрологических явлений. Результаты обработки полученных данных позволяют количественно оценить динамику пространственно-временных изменений объектов мониторинга, вплоть до расчета объема наносов, оползневого тела или объема вынесенного грунта в результате эрозионных или селевых процессов. На их основе возможна разработка адекватных оперативных мероприятий, проектирование защитных сооружений и пр., в целях предотвращения или минимизации негативного воздействия опасных природных процессов на обследуемой территории.

### Литература

1. Ерофеев А.А., Ябаркин А.Ю., Еремеев В.Ф. Первые результаты аэрофотосъемки горно-ледникового бассейна Актру с использованием БПЛА. В сборнике: Применение беспилотных летательных аппаратов в географических исследованиях. Материалы Всерос. научно-практ. конф. (Иркутск, 22–23 мая 2018 г.). - Иркутск, 2018. – С. 68-70.
2. Бляхарский Д.П., Волгушева Н.Э., Казаков Э.Э. Мониторинг ледников в сезон абляции с использованием беспилотных аэрофотосъемочных систем на примере ледников Потанина и Александры (массив Табын-Богдо-ола, Монголия) // Известия высших учебных заведений. Геодезия и аэрофотосъемка. 2019. – Т. 63. – № 2. – С.168-179.
3. Воскресенский И.С. Применение БПЛА для мониторинга оползневых и эрозионных процессов (на примере центра Русской равнины) / Сучилин А.А., Ушакова Л.А., Шафоростов В.М., Энтин А.Л. / Сб. Применение беспилотных летательных аппаратов в географических исследованиях. Иркутск: изд-во Института географии им. В.Б. Сочавы СО РАН, 2018. – С. 42-47.
4. Запорожченко Э.В., Докукин М.Д. Об угрозе разрушения Тырнаузского хвостохранилища на р. Гижгит в Кабардино-Балкарской Республике// Геориск, Том XIII, 1: 2019. –С. 72-85.
5. Запорожченко Э.В., Докукин М.Д. Хвостохранилище на р. Гижгит в Кабардино-Балкарской Республике (Россия) и его проблемы// IX International scientific and technical conference “Moderin problems of water management, environmental protection, architecture and construction”. Tbilisi, Georgia: 2019. – Pp. 301-310.
6. Шерхов А.Х., Гергокова З.Ж. Оценка актуального состояния некоторых компонентов комплекса гидротехнических сооружений хвостохранилища Тырнаузского горно-обогатительного комбината// Природообустройство. 2022. – № 4. – С. 100-106.
7. Запорожченко Э.В., Докукин М.Д. Тырнаузское хвостохранилище – объект повышенного экологического риска. Устойчивое развитие горных территорий Кавказа// Коллективная монография. Москва: РАН, 2019. – Т. II. – С. 224-237.

## СНИЖЕНИЕ ВОЗДЕЙСТВИЯ НА ОКРУЖАЮЩУЮ СРЕДУ ПРИ ОБРАЩЕНИИ С ОТХОДОМ ПРОИЗВОДСТВА САХАРА

Шибека Л.А., Доминиковская И.В.

*Белорусский государственный технологический университет  
(г. Минск, Республика Беларусь)*

**Аннотация.** Представлены результаты исследований по изучению возможности получения компоста из отхода производства сахара – транспортно-моечного осадка. Показано, что для получения более качественного компоста необходимо вводить добавки в состав сырьевой смеси. Установлено, что компост с наилучшими потребительскими параметрами можно получить на основе сырьевой смеси, содержащей транспортно-моечный осадок и древесные опилки.

**Ключевые слова:** отход, транспортно-моечный осадок, компост, состав, сырьевая смесь.

## REDUCING THE ENVIRONMENTAL IMPACT IN HANDLING SUGAR PRODUCTION WASTE

L.A. Shibeka, I.V. Dominikovskaya  
*Belarusian State Technological University  
(Minsk, Belarus)*

**Annotation.** The article presents the results of studies on the possibilities of obtaining compost from sugar production waste – transport and washing sludge. It is shown that in order to obtain higher quality compost it is necessary to introduce additives into the composition of the raw mix. It has been established that compost with the best consumer parameters can be obtained on the basis of a raw material mixture containing transport and washing sludge and wood sawdust.

**Keywords:** waste, transport-washing sludge, compost, composition, raw mix.

Снижение антропогенной нагрузки на компоненты природной среды – одна из глобальных задач, стоящих перед современной цивилизацией. Это обусловлено ухудшением качества компонентов окружающей среды, что связано с высоким антропогенным прессингом на атмосферный воздух, водные и земельные ресурсы планеты.

Для снижения негативного воздействия на природную среду в Республике Беларусь предусмотрена реализация совокупности мероприятий, которые отражены в соответствующих законодательных и технических нормативно правовых актах. Так, согласно «Национальной стратегии устойчивого социально-экономического развития Республики Беларусь на период до 2030 года» [1, с. 9] «экологичность развития Беларуси достигается посредством мер, обеспечивающих снижение антропогенной нагрузки на компоненты природной среды, уменьшение объемов образования отходов (в том числе токсичных) и предотвращение их вредного воздействия на окружающую среду и здоровье граждан, максимальное вовлечение отходов в гражданский оборот в качестве вторичного сырья, а также максимальное использование возобновляемых ресурсов и др.».

Для устойчивого развития страны в настоящее время разработаны новые подходы в природопользовании, предусматривающие развитие циркулярной экономики. В соответствии с «Проектом Национальной стратегии устойчивого развития Республики Беларусь на период до 2040 года» [2, стр. 105] стратегическая цель развития циркулярной экономики в Республике Беларусь – обеспечение перехода к рациональным моделям производства и потребления, максимальное вовлечение образующихся отходов в хозяйственный оборот в качестве вторичного сырья.

К крупнотоннажным отходам производства сахара относятся свекловичный жом, меласса, дефека́т, транспортно-мочный осадок и некоторые другие. В отношении первых трех указанных отходов в настоящее время предложены и реализуются на действующих предприятиях по производству сахара направления их использования. Проблему составляет транспортно-мочный осадок. Данный отход образуется на этапе очистки сточных вод, которые отводятся со стадии мойки и транспортировки сахарной свеклы. Транспортно-мочный осадок содержит частицы грунта, части ботвы и плодов сахарной свеклы, другие включения. Как показывает анализ существующих систем обращения с указанным отходом, он чаще всего после отделения от сточных вод обезвоживается в естественных условиях и в последующем вывозится на сельскохозяйственные земли.

В работе проведены исследования, направленные на поиск возможных направлений использования транспортно-мочного осадка в народном хозяйстве, с учетом физико-химических характеристик отхода.

Цель работы – использование транспортно-мочного осадка в качестве сырьевого материала для производства компоста.

Объектом исследования являлся отход производства сахара – транспортно-мочный осадок – отобранный на одном из предприятий Республики Беларусь.

Из литературных источников известно, что в составе транспортно-мочного осадка содержатся органические остатки (компоненты свеклы, сорняки и другие включения). Исследованиями установлено, что величина зольности отхода составляет 48%, что позволяет его рассматривать в качестве потенциального материала для получения компоста. Учитывая, что в составе транспортно-мочного осадка содержится значительное количество грунта, для получения компоста с определенными параметрами рыхлости в состав сырьевой смеси целесообразно вводить добавки-наполнители. В качестве таковых в работе использовали различные отходы производства: древесные опилки и свекловичный жом. Древесные опилки являются отходом деревообработки. Свекловичный жом – это отход производства сахара.

Исходную компостную смесь готовили при равном массовом соотношении транспортно-мочного осадка и древесных опилок (или свекловичного жома). Смесь отходов периодически перемешивали и увлажняли. Длительность процесса компостирования составляла 60 суток, по истечении которых из компоста готовили водную вытяжку. В вытяжке определяли содержание соединений азота, калия и фосфора по методикам, представленным в [3]. Результаты исследований представлены на рисунке 1.



**Рисунок 1** – Содержание питательных элементов в вытяжке из компоста

Из рисунка видно, что компост, полученный при использовании в качестве добавки-наполнителя древесных опилок, характеризуется более высоким содержанием всех трех определяемых питательных элементов – азота, калия и фосфора. Вероятно, это обусловлено тем, что древесные опилки, имея меньшую плотность, чем свекловичный жом, создают более рыхлую структуру сырьевой смеси. Это способствует проникновению кислорода воздуха внутрь компостируемой массы отходов. При этом интенсифицируются процессы разложения органических компонентов, содержащихся в отходах, и создаются благоприятные условия для протекания процессов компостирования смеси.

Анализ результатов показал, что суммарное количество соединений, содержащих питательные элементы, для компоста, приготовленного из сырьевой смеси на основе транспортно-моечного осадка и древесных опилок, составляет 9,21 мг/кг, а для компоста, полученного из отходов производства сахара, – 3,26 мг/кг. Установлено, что во всех компостах в наибольшем количестве содержатся соединения калия, в наименьшем количестве – соединения фосфора.

Полученный из отходов производства компост может использоваться в качестве органического удобрения, а также материала, улучшающего физико-механическую структуру почв, используемых для различных целей. Компост может применяться на лесных, сельскохозяйственных, нарушенных и иных землях.

Полученные результаты свидетельствуют о том, что отходы различных производств могут вовлекаться в повторное использование с получением новых видов продукции. Это будет способствовать снижению воздействия производственной деятельности на компоненты окружающей среды и развитию циркулярной экономики.

## Литература

1. Национальная стратегия устойчивого социально-экономического развития Республики Беларусь на период до 2030 года / Министерство экономики Республики Беларусь [Электронный ресурс] // URL: <https://economy.gov.by/uploads/files/NSUR2030/Natsionalnaja-strategija->

ustojchivogo-sotsialno-ekonomicheskogo-razvitija-Respubliki-Belarus-na-period-do-2030-goda.pdf (дата обращения: 03.03.2025).

2. Проект Национальной стратегии устойчивого развития Республики Беларусь на период до 2040 года / Министерство экономики Республики Беларусь [Электронный ресурс] // URL: <https://economy.gov.by/uploads/files/NSUR/proekt-Natsionalnoj-strategii-ustojchivogo-razvitija-na-period-do-2040-goda.pdf> (дата обращения: 03.03.2025).
3. Лихачева А.В. Химия окружающей среды// Лабораторный практикум: Учеб.-метод. пособие для студ. // А.В. Лихачева, Л.А. Шибека – Минск: БГТУ, 2011. – 204 с.

УДК 658.567.1

## **ПЕРЕРАБОТКА ОТХОДОВ ПРОИЗВОДСТВА В ИНТЕРЕСАХ ЭКОЛОГО-ОРИЕНТИРОВАННОГО РАЗВИТИЯ ГОСУДАРСТВА**

**Шибека Л.А., Костенко Е.А.**

***Белорусский государственный технологический университет  
(г. Минск, Республика Беларусь)***

**Аннотация.** В статье представлена характеристика отходов производства, образующихся в Республике Беларусь. Рассмотрены приоритетные направления обращения с указанными отходами. На примере отхода производства бумаги (скопа) показана возможность его использования в качестве сорбционного материала для извлечения ионов меди из сточных вод. Установлено, что термическая обработка сорбента приводит к изменению сорбционных свойств скопы.

**Ключевые слова:** бумага, отход, скоп, медь, сорбент.

## **PROCESSING OF INDUSTRIAL WASTE IN THE INTERESTS OF ECOLOGICALLY-ORIENTED DEVELOPMENT OF THE STATE**

**L.A. Shibeka, K.A. Kostsenko**

***Belarusian State Technological University  
(Minsk, Belarus)***

**Annotation.** The article presents the characteristics of industrial waste generated in the Republic of Belarus. Priority areas for handling the specified waste are considered. The example of paper production waste (skop) shows the possibility of its use as a sorption material for the extraction of copper ions from wastewater. It was found that thermal treatment of the sorbent leads to a change in the sorption properties of the scop.

**Keywords:** paper, waste, scop, copper, sorbent.

Интенсивное воздействие хозяйственной деятельности человека на природно-ресурсный потенциал планеты привело к существенным изменениям качества объектов окружающей среды. Об этом свидетельствует рост числа глобальных экологических проблем за последние несколько десятилетий. Для решения указанных проблем мировым сообществом предлагается ряд

инициатив, которые следует реализовать в рамках достижения целей устойчивого развития, на территориях отдельно взятых государств.

Направления и способы достижения целей устойчивого социально-экономического развития Республики Беларусь учитывают национальные особенности народнохозяйственного комплекса и мировые тенденции в области совершенствования системы государственного управления в сфере природопользования и охраны окружающей среды. «Проектом Национальной стратегии устойчивого развития Республики Беларусь на период до 2040 года» [1] в планах на ближайшее время предусмотрен переход на особую модель развития страны – циркулярную экономику. Согласно «Национальной стратегии развития экономики замкнутого цикла (циркулярной экономики) Республики Беларусь на период до 2035 года» [2] «под циркулярной экономикой понимается экономика, отличительным признаком которой является восстановительный и замкнутый характер, направленный на снижение потребления всех видов сырьевых и топливно-энергетических ресурсов и максимальное использование отходов».

Согласно данным статистической отчетности [3] в Республике Беларусь в 2023 году образовалось 50,4 млн. т отходов производства, из которых на долю галитовых отходов (образующихся при производстве калийных удобрений) приходится 29,4 млн. т или 58,3% от общего количества отходов производства. В составе отходов преобладают отходы 4 класса опасности и неопасные отходы. Использовано 33,5% всех образующихся отходов производства. Несмотря на усилия, принимаемые со стороны органов государственного управления, отдельных промышленных объектов и других организаций, степень вовлечения отходов в повторное использование остается невысокой. В связи с этим, необходим детальный анализ отходов различных производств с оценкой возможных направлений их применения в различных сферах народного хозяйства.

В качестве объекта исследований использовали отход производства бумаги – скоп. Данный отход образуется при механической очистке производственных сточных вод на предприятиях по изготовлению картонно-бумажной продукции. Скоп – волокнистая масса, представленная целлюлозосодержащими компонентами, с остатками соединений, входящих в состав красителей, наполнителей, проклеивающих веществ и других композиций, используемых в процессе изготовления бумаги или картона. Качественный состав отхода определяется видом используемых сырьевых материалов на конкретном предприятии, где осуществляется выпуск бумажной продукции.

В настоящее время данный отход обычно подлежит частичному обезвоживанию на очистных сооружениях предприятий с последующим размещением на полигонах для хранения или захоронения отходов. Частично скоп может применяться в качестве добавки к сырью (целлюлозе, макулатуре и т.п.) и возвращаться в технологический процесс изготовления бумажного полотна. Полный возврат рассматриваемого отхода невозможен в виду ухудшения качества готовой продукции при высокой доле его в сырьевой композиции.

Цель работы – поиск направлений использования скопа и оценка возможности его применения в процессах очистки сточных вод в качестве сорбционного материала.

Анализ литературных источников показал, что скоп может использоваться в качестве добавки к основному сырью при производстве строительных материалов, подвергаться компостированию с получением органического удобрения (компоста), сжигаться вместе с древесными и иными органическими отходами для получения тепловой энергии и др. Каждый из представленных вариантов применения скопа имеет достоинства и недостатки и может быть реализован на практике при определенных условиях.

В работе проведены исследования по определению сорбционных свойств скопа в отношении ионов тяжелых металлов (на примере меди).

Образец скопа подвергали сушке при температуре 105 °С. Высушенный скоп измельчали до размера частиц не более 5 мм.

В статических условиях проводили определение сорбционной емкости отхода при продолжительности взаимодействия скопа и сточных вод в течение 60 минут. Исследование проводили на модельных сточных водах, содержащих ионы меди в концентрации от 0,1 г/дм<sup>3</sup> до 1,0 г/дм<sup>3</sup>. Содержание ионов меди в растворе после взаимодействия фаз устанавливали титриметрическим методом [4]. Результаты исследований представлены в табл. 1.

**Таблица 1.** Сорбционная ёмкость отхода производства бумаги

| Начальная концентрация ионов меди, г/дм <sup>3</sup> | Сорбционная емкость отхода, г/г |
|------------------------------------------------------|---------------------------------|
| 0.1                                                  | 0.021                           |
| 0.2                                                  | 0.025                           |
| 0.3                                                  | 0.025                           |
| 0.4                                                  | 0.029                           |
| 0.5                                                  | 0.030                           |
| 0.6                                                  | 0.041                           |
| 0.7                                                  | 0.041                           |
| 0.8                                                  | 0.053                           |
| 0.9                                                  | 0.055                           |
| 1.0                                                  | 0.063                           |

Установлено, что скоп обладает сорбционными свойствами в отношении ионов тяжелых металлов. Из представленных результатов видно, что при увеличении содержания ионов меди в пробе наблюдается рост сорбционной емкости скопа. В диапазоне начальных концентраций ионов металла 0,1-0,5 г/дм<sup>3</sup> наблюдается незначительное увеличение сорбционных свойств отхода. При дальнейшем росте содержания ионов меди в воде фиксируется плавное увеличение сорбционной емкости скопа. Следует отметить, что для повышения фактических значений сорбционной емкости отхода необходим поиск оптимальных условий предварительной подготовки отхода перед его применением в качестве сорбционного материала.

Результаты исследований свидетельствуют о том, что скоп может найти применение в различных сферах народного хозяйства. Он может применяться в качестве сорбента для извлечения ионов меди в процессах очистки или доочистки сточных вод.

### Литература

1. Проект Национальной стратегии устойчивого развития Республики Беларусь на период до 2040 года / Министерство экономики Республики Беларусь [Электронный ресурс] // URL: <https://economy.gov.by/uploads/files/NSUR/proekt-Natsionalnoj-strategii-ustojchivogo-razvitija-na-period-do-2040-goda.pdf> (дата обращения: 03.03.2025).
2. Национальная стратегия развития экономики замкнутого цикла (циркулярной экономики) Республики Беларусь на период до 2035 года / Национальный правовой интернет-портал Республики Беларусь [Электронный ресурс] // URL: <https://pravo.by/document/?guid=12551&p0=C22400393> (дата обращения: 03.03.2025).
3. Состояние природной среды Беларуси: экологический бюллетень / Министерство природных ресурсов и охраны окружающей среды Республики [Электронный ресурс] // URL: <https://www.minpriroda.gov.by/uploads/files/Bjulleten-Sostojanie-prirodnoj-sredy-Belarusi-2023.pdf> (дата обращения: 03.03.2025).
4. Лихачева А.В. Химия окружающей среды. Лабораторный практикум: учеб.-метод. пособие для студ. / А.В. Лихачева, Л.А. Шибeka – Минск: БГТУ, 2011. – 204 с.

УДК 556.3+550.8

## ГИДРОГЕОЛОГИЧЕСКИЕ УСЛОВИЯ И ГЕОДИНАМИЧЕСКИЕ ФАКТОРЫ ФОРМИРОВАНИЯ ПОДЗЕМНЫХ ВОД КУРАМИНСКОГО РЕГИОНА

Шишкина О.Ю., Мирахмедов Т.Д.

*Национальный университет Узбекистана имени Мирзо Улугбека  
(г. Ташкент, Республика Узбекистан)*

**Аннотация.** Статья представляет результаты комплексного исследования гидрогеологических условий Кураминского региона, расположенного в западной части Тянь-Шаня. На основе полевых, лабораторных и геофизических методов изучены особенности формирования подземных вод, их связь с тектоническими структурами, гидрохимический состав и геоэкологические риски. Особое внимание уделено влиянию антропогенной деятельности и разработке рекомендаций по рациональному использованию ресурсов.

**Ключевые слова:** гидрогеология, Кураминский регион, подземные воды, тектонические разломы, минерализация, геоэкологические риски, водоносные горизонты.

# HYDROGEOLOGICAL CONDITIONS AND TECTONIC FACTORS OF GROUNDWATER FORMATION IN THE KURAMIN REGION

O.Y. Shishkina, T.D. Mirahmedov  
*Mirzo Ulugbek National University of Uzbekistan*  
(Tashkent, Uzbekistan)

**Annotation.** The article presents the results of a comprehensive study of the hydrogeological conditions of the Kuramin region, located in the western part of the Tien Shan. Using field, laboratory, and geophysical methods, the features of groundwater formation, their connection with tectonic structures, hydrochemical composition, and geoecological risks were analyzed. Special attention is paid to the impact of anthropogenic activities and the development of recommendations for sustainable resource management.

**Keywords:** hydrogeology, Kuramin region, groundwater, tectonic faults, mineralization, geoecological risks, aquifers.

## Введение

Кураминский регион, являющийся частью Центрально-Азиатского горного пояса, представляет собой уникальную природную лабораторию для изучения взаимодействия геодинамических, климатических и антропогенных факторов. Согласно историческим данным, первые гидрогеологические исследования здесь проводились в 1940-х годах в рамках программы освоения минеральных ресурсов [1, с. 8]. Однако современные вызовы, такие как изменение климата и рост населения, требуют пересмотра существующих моделей. Актуальность работы подчеркивается тем, что 70% водоснабжения региона обеспечивается подземными водами [2], а их качество стремительно ухудшается из-за промышленной деятельности.

**Актуальность.** По данным ООН, Узбекистан входит в список стран с критическим уровнем водного стресса [3]. В Кураминском регионе за последние 30 лет уровень подземных вод снизился на 12–15 м, что связано с интенсивным забором для орошения хлопковых полей [4, с. 24]. Параллельно горнодобывающая промышленность, обеспечивающая 40% регионального ВВП, стала источником загрязнения вод тяжелыми металлами. Например, в районе месторождения Алмалык концентрация кадмия в скважинах достигает 0.005 мг/л (при ПДК 0.001 мг/л) [5].

## Геологическое строение и тектоническая активность.

**Стратиграфия и литология.** Геологический разрез региона охватывает:

1. Докембрийско-палеозойский комплекс (кристаллические сланцы, гнейсы), формирующий региональный водоупор.
2. Мезозойские карбонатные породы (известняки, доломиты), где развиты карстовые полости диаметром до 50 м [6, с. 15].
3. Кайнозойские отложения (аллювий, пролювий), содержащие основные эксплуатационные запасы вод с дебитом до 30 л/с [7].

**Тектонические структуры.** Регион пересекают три основные разломные зоны:

- Главный Кураминский надвиг (протяженность 120 км), разделяющий Евразийскую и Туранскую плиты.

- Ташкентский разлом, вдоль которого зафиксированы термальные источники с температурой до 52°C [8].

- Чаткало-Кураминская зона, характеризующаяся сейсмичностью до 7 баллов [9].

Скорость горизонтального движения плит составляет 10–15 мм/год, что приводит к периодической активизации трещиноватости и изменению режима подземных вод [10].

### **Гидрогеологические условия**

#### **Водоносные комплексы**

Трещинно-жильный (докембрий-палеозой): Глубина залегания: 80-200 м. Минерализация: 1.5–3.0 г/л (сульфатно-натриевый состав). Температура: 18-22°C [6, с. 20].

Карстовый (мезозой): Дебит источников: 5-25 л/с. Минерализация: 0.8-1.2 г/л (гидрокарбонатно-кальциевый состав). pH: 7.2-7.8 [7].

Аллювиальный (четвертичный): Глубина: 10-50 м. Дебит скважин: 15-30 л/с. Минерализация: 0.3-0.6 г/л [4, с. 30].

#### **Гидрохимические особенности**

Химический состав вод (табл. 1) отражает влияние литологии и антропогенных факторов:

**Таблица 1.** Гидрохимические характеристики водоносных горизонтов [5, 7].

| Параметр                             | Докембрий-<br>Палеозой | Мезозой | Четвертичный |
|--------------------------------------|------------------------|---------|--------------|
| Ca <sup>2+</sup> (мг/л)              | 45–60                  | 80–120  | 30–50        |
| SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> (мг/л) | 400–600                | 150–250 | 50–100       |
| Cl <sup>-</sup> (мг/л)               | 120–180                | 50–80   | 20–40        |
| Pb (мкг/л)                           | 8–12                   | 2–5     | <1           |

### **Геоэкологические риски**

**Загрязнение тяжелыми металлами:** в районе горно-обогатительного комбината «Алмалык» концентрация меди в водах достигает 0.08 мг/л (ПДК 0.02 мг/л) [11]. Ежегодный экономический ущерб от загрязнения оценивается в 2.5 млн долларов [12].

**Засоление:** на орошаемых землях минерализация грунтовых вод увеличилась с 0.8 до 2.5 г/л за 20 лет [4, с. 35].

**Карстовые провалы:** в 2022 году в Бостанлыкском районе зафиксирован провал диаметром 25 м, повредивший инфраструктуру [13].

#### **Рекомендации по устойчивому управлению**

**Технологические меры:** внедрение систем обратного осмоса для очистки вод от тяжелых металлов [14]. Использование солнечных насосов для снижения энергозатрат на водоподъем [15].

**Законодательные инициативы:** ужесточение нормативов сброса промышленных стоков (на основе директив ЕС [16]). Создание гидрогеологических заповедников в зонах разгрузки термальных вод [17].

**Научные исследования:** разработка 3D-модели водоносных горизонтов с использованием программного комплекса GMS [18]. Мониторинг микрокомпонентного состава вод методами ICP-MS [19].

### **Заключение**

1. Гидрогеологические условия Кураминского региона формируются под влиянием тектонической активности, литологического разнообразия и антропогенной нагрузки.

2. Ключевые риски — загрязнение тяжелыми металлами, засоление и карст — требуют комплексного подхода, включая технологические, законодательные и научные меры.

4. Перспективы исследований связаны с интеграцией спутникового мониторинга и искусственного интеллекта для прогнозирования динамики подземных вод.

### **Литература**

1. Петров В.Г. История гидрогеологических исследований Центральной Азии// – Ташкент: Фан, 2015. – 180 с.
2. UNESCO. The United Nations World Water Development Report 2023// Paris, 2023. – 200 p.
5. Karimov F. et al. Groundwater Depletion in the Tien Shan Mountains // Environmental Research Letters. – 2021. – Vol. 16. – P. 1–12.
6. Abdullaev R., Isaev V. Hydrogeology of the Kuramin Range// Tashkent: Navruz, 2020. – 150 p.
7. Smith J. Heavy Metal Contamination in Central Asia. – Springer, 2019. – 95 p.
8. Абдурашидов А. Карстовые системы Тянь-Шань// – М.: Наука, 2018. – 210 с.
9. Ivanov A. et al. Quaternary Aquifers of Central Asia // J. of Hydrology. – 2022. – Vol. 605. Pp. 30–45.
10. Johnson R. Geothermal Resources of the Kuramin Region. – London: Elsevier, 2021. – 120 p.
11. Mukhamedjanov S. Seismic Activity and Groundwater// – Tashkent: NUUz, 2019. – 80 p.
12. Lee S. Tectonic Movements in Central Asia// – Berlin: Springer, 2020. – 135 p.
13. UNDP. Environmental Impact of Mining in Uzbekistan// – New York, 2023. – 65p.
14. World Bank. Economic Costs of Water Pollution// Washington, 2022. – 50 p.
15. Ташкентская правда. Карстовый провал в Бостанлыке// – 2022. – № 45. – С.5.
16. Brown K. Advanced Water Treatment Technologies// CRC Press, 2021. – 300 p.
17. UNESCO. Renewable Energy for Water Management// Paris, 2023. – 90 p.
18. EU Water Framework Directive. – 2000. – 60 p.
19. Петров В.Г. Гидрогеологические заповедники// Ташкент: НУУз, 2021. 110 с.
20. GMS User Manual/ Aquaveo, 2023. – 400 p.
21. EPA. Methods for ICP-MS Analysis// – Washington, 2020. – 80 p.

## СОДЕРЖАНИЕ

### МАТЕМАТИКА И ИНФОРМАТИКА

|                                                                                                                                                 |    |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| ЗАДАЧА ОПТИМАЛЬНОГО РАСПРЕДЕЛЕНИЯ РЕСУРСОВ В УСЛОВИЯХ РЫНОЧНЫХ ОТНОШЕНИЙ<br>Альхамов Р.Р., Сайдаматов Э.М. ....                                 | 3  |
| ПРИМЕНЕНИЕ ФУНКЦИИ ПОТЕРЬ ТЬЮКИ В МЕТОДЕ LS–SVM<br>Бобоев Ш.А. ....                                                                             | 5  |
| АЛГОРИТМ ТЕСТИРОВАНИЯ ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ ВОЗМОЖНОСТЕЙ БОЛЬШИХ ЯЗЫКОВЫХ МОДЕЛЕЙ<br>Бородин Д.В. ....                                                 | 12 |
| ТЕРМИЧЕСКИЕ НАПРЯЖЕНИЯ, ВЫЗВАННЫЕ ПЕРЕМЕННЫМИ ТЕПЛОВЫМИ ПОТОКАМИ НА ПОВЕРХНОСТИ ТЕЛА<br>Казиджанова Н.М. ....                                   | 16 |
| РАЗДЕЛИМОСТЬ ДЛЯ БИГАРМОНИЧЕСКОГО ОПЕРАТОРА С МАТРИЧНЫМ ПОТЕНЦИАЛОМ В ГИЛЬБЕРТОВОМ ПРОСТРАНСТВЕ<br>Каримов О.Х., Набиев Д.И. ....               | 19 |
| О ПРОСТОТЕ ДИАССОЦИАТИВНЫХ КВАЗИГРУПП 4-го ПОРЯДКА<br>Комилов О.О. ....                                                                         | 22 |
| ИСТИФОДАИ ТЕХНОЛОГИЯҲОИ РАҶАМӢ ДАР СОҶАИ КИШОВАРӢ<br>Қурбонов К.Ю., Бадалова Б.А. ....                                                          | 27 |
| НАҚШИ ТЕХНОЛОГИЯИ ИННОВАТСИОНӢ ДАР ФАӢОЛИЯТИ КОРХОНАҲОИ КИШОВАРӢ<br>Қурбонова Ф.К. ....                                                         | 31 |
| ЗАДАЧА РИМАНА И ЕЁ РЕШЕНИЕ ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ ДВУМЕРНЫХ СИНГУЛЯРНЫХ ИНТЕГРАЛЬНЫХ ОПЕРАТОРОВ<br>Одинабеков Д.М., Зарифбеков М.Ш. ....              | 36 |
| СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ МЕТОДОВ МАШИННОГО ОБУЧЕНИЯ ДЛЯ ЗАДАЧИ БИНАРНОЙ КЛАССИФИКАЦИИ ТОНАЛЬНОСТИ ТЕКСТОВ<br>Раджабова Д.И. ....                    | 41 |
| РАЗРАБОТКА АЛГОРИТМА СРАВНЕНИЯ ВЕБ-СТРАНИЦ<br>Ронжин А.В. ....                                                                                  | 54 |
| ИССЛЕДОВАНИЕ САРТСНА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МЕТОДОВ КЛАСТЕРНОГО АНАЛИЗА<br>Сидорова М.А. ....                                                         | 59 |
| СОЗДАНИЕ ЦИФРОВОГО ДВОЙНИКА ДЛЯ ОПТИМИЗАЦИИ ЛОГИСТИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ: КЕЙС ДОСТАВКИ ОТ ЦЕНТРАЛЬНОГО ТАДЖИКИСТАНА НА ПАМИР<br>Сирошенко Е.Ю. .... | 64 |

РЕКОМЕНДАТЕЛЬНАЯ СИСТЕМА ДЛЯ ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ПО ПОДБОРУ ТУРИСТИЧЕСКИХ МАРШРУТОВ НА ОСНОВЕ ПРЕДПОЧТЕНИЙ ПОЛЬЗОВАТЕЛЯ

Соколова Ю.А. ....68

МЕТОДОЛОГИЯ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ПОРТАТИВНЫХ СИСТЕМ РЕГИСТРАЦИИ И АНАЛИЗА ЭЛЕКТРОМИОГРАФИЧЕСКИХ СИГНАЛОВ

Терлецкий А.С. ....72

## МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ

НЕКОТОРЫЕ ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ТВЁРДЫХ РАСТВОРОВ  $\text{Yb}_{14-x}\text{Dy}_x\text{Sb}_{11}$

Абдусаламова М.Н., Кабгов Х.Б., Махмудов Ф.А., Шаймарданов Э.Н. ....78

СИНТЕЗ ИНВЕРТИРОВАННЫХ ОПАЛОВ БЛАГОРОДНЫХ МЕТАЛЛОВ С ХИМИЧЕСКИ МОДИФИЦИРОВАННОЙ ПОВЕРХНОСТЬЮ

Алиева Д.Р. ....81

СИНТЕЗ ПЛЕНОК СЛОЖНЫХ БРОМИДОВ МЕТОДОМ ТЕРМИЧЕСКОГО РАСПЫЛЕНИЯ

Алиева Д.Р., Носирова Н.Х., Камилов Р.Х., Умедов Ш.Т. ....86

ИК-СПЕКТРОСКОПИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ГОРНЫХ ПОРОД ПАМИРА И ЯГНОБА

Гадоев С.Ш., Шеров К.М., Курбонова Ф.Ш. ....92

О ВЗАИМОДЕЙСТВИИ ЦИНКА С ЭЛЕМЕНТАМИ ІВ-ІVБ ГРУПП ПЕРИОДИЧЕСКОЙ ТАБЛИЦЫ Д.И. МЕНДЕЛЕЕВА

Джураев Т.Д., Назришозода Д.С., Тошев М.Т., Халимова М.И. ....95

СИНТЕЗ И ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА  $\text{Tm}_3\text{Ga}_5\text{O}_{12}$

Калинин А.И., Новоженев В.А., Смагин В.П., Шмаков И.А, Белова О.В. ....100

ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ И СОРБЦИОННЫЕ СВОЙСТВА ПОЛИАКРИЛАМИДНЫХ ГИДРОГЕЛЕЙ

Камилов Х.Ч., Исмаилова М.А......104

МОДИФИКАЦИЯ ЭФЕДРИНА: ИССЛЕДОВАНИЯ IN SILICO

Кобилзода А.М., Рахмонов Р.О., Шаропов Ф.С. ....107

СИНТЕЗ И ИССЛЕДОВАНИЕ ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ФЕРРИТА ЛАНТАНА

Морозова В.А., Новоженев В.А., Смагин В.П., Стручева Н.Е., Калинин А.И. ....113

СИНТЕЗ БОРОГИДРИДА НАТРИЯ КАК ИСТОЧНИК ВОДОРОДА ДЛЯ ТОПЛИВНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ

Назаров Ф.А., Гулова Д.А., Исозода Д.Т., Мирсаидов У.М. ....117

СИНТЕЗ И ИССЛЕДОВАНИЕ ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ФЕРРИТА САМАРИЯ

Нечепоренко К.В., Калинин А.И., Новоженев В.А., Стручева Н.Е. ....119

ПЕРСПЕКТИВЫ КОМПЛЕКСНОЙ ПЕРЕРАБОТКИ ОТХОДОВ КРИОЛИТ-ГЛИНОЗЁМНОГО КОНЦЕНТРАТА СОВМЕСТНО С ФЛЮОРИТОМ И ПОЛУЧЕНИЕ ПЛАВИКОВОЙ КИСЛОТЫ

Раджабов Ш.Х. ....123

|                                                                                                                                                         |     |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| ОПРЕДЕЛЕНИЕ ГОРИЗОНТАЛЬНОЙ СОСТАВЛЯЮЩЕЙ ВЕКТОРОВ<br>НАПРЯЖЕННОСТИ И ИНДУКЦИИ МАГНИТНОГО ПОЛЯ ЗЕМЛИ                                                      |     |
| Рахмонов Р.К., Олимов А.М. ....                                                                                                                         | 128 |
| ФЛОТАЦИОННЫЙ МЕТОД ОБОГАЩЕНИЯ РУДЫ МЕСТОРОЖДЕНИЯ «ПАХНДАРА»                                                                                             |     |
| Рузиматова Д.З., Холов Х.И., Самихзода Ш.Р. ....                                                                                                        | 134 |
| СИНТЕЗ ВА ТАҲҚИҚИ ПАЙВАСТҲОИ КООРДИНАТСИОНИИ МИС (II)<br>БО МЕТАМИЗОЛАТИ НАТРИЙ                                                                         |     |
| Холиқова Л.Р., Бобоева Б.Т., Муминова С.Х., Мухаррамаи Зафар .....                                                                                      | 138 |
| СИНТЕЗ 2-ГЕТЕРИЛПРОИЗВОДНЫХ 5-БРОМ-6-МЕТИЛИМИДАЗО[2,1-b][1,3,4]-<br>ТИАДИАЗОЛА                                                                          |     |
| Ходжибоев Ю., Шарипова К.С., Рахмонов О.Р. ....                                                                                                         | 142 |
| ЗОЛЬ-ГЕЛЬ СИНТЕЗ НАНОЧАСТИЦ $\text{TiO}_2$ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ РАЗЛИЧНЫХ<br>РАСТВОРИТЕЛЕЙ                                                                  |     |
| Шарипов Х.Б., Ботуров К., Валиев Д. ....                                                                                                                | 147 |
| ХЛОРИДНО-БРОМИДНОЕ ВЫЩЕЛАЧИВАНИЕ УПОРНЫХ ЗОЛОСОДЕРЖАЩИХ<br>КОНЦЕНТРАТОВ И КОНЦЕНТРАТОВ ДВОЙНОЙ УПОРНОСТИ                                                |     |
| Шарипова Н.Х., Ашунова Т.Х., Бобоев И.Р. ....                                                                                                           | 152 |
| ГХ-МС АНАЛИЗ АЛКАЛОИДНОГО ЭКСТРАКТА EPHEDRA EQUISETINA И СКРИНИНГ<br>ПРОТИВОВОСПАЛИТЕЛЬНОЙ АКТИВНОСТИ IN SILICO ЕГО АЛКАЛОИДОВ                          |     |
| Шаропов Ф.С., Кобилзода А.М., Рахмонов Р.О. ....                                                                                                        | 155 |
| О БИОЛОГИЧЕСКИХ СВОЙСТВАХ ПРОИЗВОДНЫХ 6-(ПАРА-ТОЛИЛ)ИМИДАЗО<br>[2,1-b][1,3,4]-ТИАДИАЗОЛА                                                                |     |
| Шарипов Ш.С., Рахмонов Р.О., Акбарова М.М. ....                                                                                                         | 166 |
| ОКИСЛИТЕЛЬНЫЙ ОБЖИГ ЗОЛОТОСОДЕРЖАЩЕЙ РУДЫ В СМЕСИ ЛИМОННОЙ<br>КИСЛОТЫ И СУЛЬФИДОМ – ТИОСУЛЬФАТНОЕ ВЫЩЕЛАЧИВАНИЕ ОГАРКА                                  |     |
| Шокиров А.А., Хотами Ш.Х., Бобоев И.Р. ....                                                                                                             | 171 |
| <b>Г Е О Л О Г И Я</b>                                                                                                                                  |     |
| ВРЕМЕННЫЕ ВАРИАЦИИ СТРАТОСФЕРНОГО ОЗОНА В АТМОСФЕРЕ<br>ГОРОДА ДУШАНБЕ                                                                                   |     |
| Абдуллозода С.Ф., Бобоев А., Файзуллозода А. ....                                                                                                       | 176 |
| СОСТАВ, СТРОЕНИЕ И СВОЙСТВА ЛЁССОВЫХ ГРУНТОВ ВЕРХНЕЧЕТВЕРТИЧНОГО<br>КОМПЛЕКСА ВЕРХНЕЙ ЧАСТИ РАЗРЕЗА В РАЙОНЕ СЕЛА ШУРОБИ ИСКАНДАР<br>(ГИССАРСКИЙ РАЙОН) |     |
| Алиев А.Ш., Магдиев М.М. ....                                                                                                                           | 180 |
| К ГЕОЛОГИЧЕСКОМУ СТРОЕНИЮ БАЙСУНСКОГО ПРОГИБА                                                                                                           |     |
| Алимов М., Джалилов Г.Г., Тогаев И.С., Ахмедова Д.А., Жуммаева Л.Х. ....                                                                                | 187 |
| ИССЛЕДОВАНИЕ ДЕФОРМАЦИОННОГО ПОВЕДЕНИЯ ПЕСКА В УСЛОВИЯХ<br>МНОГОПЛОСКОСТНОГО СРЕЗА                                                                      |     |
| Артамонова Н.Б., Шешенин С.В., Ильяш З.Э. ....                                                                                                          | 190 |

|                                                                                                                                                                                                                                |     |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| ИЗМЕНЧИВОСТЬ ОСАДКОВ В УЗБЕКИСТАНЕ ВО ВРЕМЯ ЯВЛЕНИЯ ЭНЮК<br>Бобохонова М.Н., Кадыров Б.Ш. ....                                                                                                                                 | 196 |
| ВЛИЯНИЕ КЛИМАТИЧЕСКИХ ИЗМЕНЕНИЙ НА РАЗВИТИЕ ОПАСНЫХ СКЛОНОВЫХ<br>ПРОЦЕССОВ В ГОРНЫХ РАЙОНАХ КАБАРДИНО-БАЛКАРИИ<br>Гергокова З.Ж. ....                                                                                          | 200 |
| ВЫСОКОТОЧНАЯ МАГНИТОМЕТРИЯ В АРХЕОЛОГИИ: НОВЫЕ ВОЗМОЖНОСТИ<br>ПОИСКА И ИССЛЕДОВАНИЯ ДРЕВНОСТЕЙ<br>Закиров А.Ш., Янбухтин И.Р., Мусаев У.Т. ....                                                                                | 203 |
| ДЕФЛЯЦИОННЫЕ ПРОЦЕССЫ КАК ФАКТОР ДЕГРАДАЦИИ ПОЧВ АЛТАЙСКОГО<br>КРАЯ<br>Кузнецова А.В., Стребкова А.С. ....                                                                                                                     | 208 |
| МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ СТОКА РЕКИ СОХ<br>Мягков С.В., Махмудов Б.Б., Хабибуллаев Ш.Х. ....                                                                                                                               | 213 |
| ХАРАКТЕРИСТИКА ТРЕЩИНОВАТОСТИ МАССИВА ОСНОВАНИЯ КАМЕННО-<br>НАБРОСНОЙ ПЛОТИНЫ В РЕСПУБЛИКЕ ТАДЖИКИСТАН<br>Низомзода Х.К., Барыкина О.С. ....                                                                                   | 217 |
| АНАЛИЗ СОДЕРЖАНИЯ ТЯЖЁЛЫХ МЕТАЛЛОВ И МЫШЬЯКА В ВЕРТИКАЛЬНОМ<br>ПРОФИЛЕ ПОЧВ ЮГО-ВОСТОЧНОЙ ЧАСТИ СОГДИЙСКОЙ ОБЛАСТИ С УЧЁТОМ<br>ЭМПИРИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ЗАГРЯЗНЕНИЯ<br>Нурматзода Д.Х., Рахматзода М.Н., Абдуллозода С.Ф. .... | 221 |
| ИССЛЕДОВАНИЯ ЛЕДНИКА ФЕДЧЕНКО И СТРОИТЕЛЬСТВО ЛЕДНИКОВОЙ<br>ОБСЕРВАТОРИИ (ИЗ ОТЧЁТА ТАДЖИКСКО-ПАМИРСКОЙ ЭКСПЕДИЦИИ 1933 ГОДА)<br>Разыков Б.Х. ....                                                                             | 224 |
| СПЕКТРОЗОНАЛЬНЫЕ СНИМКИ И ЦИФРОВЫЕ МОДЕЛИ РЕЛЬЕФА В<br>ИССЛЕДОВАНИЯХ ОЗЕР МОРЕННО-ЛЕДНИКОВОГО КОМПЛЕКСА АДЫГЕНЕ<br>Спиридонов А.В., Гусев А.В. ....                                                                            | 229 |
| ИННОВАЦИОННЫЕ ЦИФРОВЫЕ МЕТОДЫ ПРИ ИССЛЕДОВАНИЯХ ЛЕДНИКОВЫХ И<br>КАРСТОВЫХ ПРОЦЕССОВ<br>Спиридонов А.В., Нагорная М.А. ....                                                                                                     | 233 |
| ОСОБЕННОСТИ ГЕОЛОГО-ТЕКТОНИЧЕСКОГО СТРОЕНИЯ ПЛОЩАДИ МИРШАДИ<br>(СУРХАНДАРЬИНСКОГО НЕФТЕГАЗОНОСНОГО РЕГИОНА)<br>Тогаев И.С., Джалилов Г.Г., Алимов М.М., Жуммаева Л.Х. ....                                                     | 237 |
| ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ГЕОЭКОЛОГИИ КАК МЕЖДИСЦИПЛИНАРНОЙ НАУКИ<br>Трофимов В.Т., Харькина М.А. ....                                                                                                                              | 242 |
| ТЕРМОДИНАМИЧЕСКИЕ И ЦИРКУЛЯЦИОННЫЕ УСЛОВИЯ ФОРМИРОВАНИЯ<br>АТМОСФЕРНОЙ ЗАСУХИ В КАРШИНСКОМ ОАЗИСЕ<br>Холматжанов Б.М., Махмудов И.М., Холматова Ш.И., Мухиддинов У.Ф.,<br>Сафаров Ф.Б. ....                                    | 247 |
| СТАТИСТИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ СИЛЬНЫХ ОСАДКОВ В ТАШКЕНТЕ<br>Холматжанов Б.М., Усаров З.Ш., Бегматов С.У. ....                                                                                                                  | 252 |

|                                                                                                              |            |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------|
| К ВОПРОСУ ОБ ОЦЕНКЕ ОПАСНОСТИ ПРОВАЛООБРАЗОВАНИЯ НА ТЕРРИТОРИИ<br>КРУПНЫХ ГОРОДОВ                            |            |
| <b>Чалая Е.А., Барыкина О.С.</b>                                                                             | <b>256</b> |
| ПРИМЕНЕНИЕ ГИС ТЕХНОЛОГИЙ ДЛЯ ОЦЕНКИ СМЕЩЕНИЙ ОПОЛЗНЕВЫХ<br>СКЛОНОВ                                          |            |
| <b>Шварц А.В.</b>                                                                                            | <b>260</b> |
| РАЗРАБОТКА БАЗЫ ДАННЫХ СЕЛЕВЫХ БАССЕЙНОВ КАБАРДИНО - БАЛКАРСКОЙ<br>РЕСПУБЛИКИ В СОВРЕМЕННОМ ЦИФРОВОМ ФОРМАТЕ |            |
| <b>Шерхов А.Х., Гергокова З.Ж.</b>                                                                           | <b>266</b> |
| ПРИМЕНЕНИЕ СОВРЕМЕННЫХ ТЕХНИЧЕСКИХ СРЕДСТВ ДЛЯ МОНИТОРИНГА<br>ГОРНЫХ ЛАНДШАФТОВ                              |            |
| <b>Шерхов А.Х.</b>                                                                                           | <b>271</b> |
| СНИЖЕНИЕ ВОЗДЕЙСТВИЯ НА ОКРУЖАЮЩУЮ СРЕДУ ПРИ ОБРАЩЕНИИ С<br>ОТХОДОМ ПРОИЗВОДСТВА САХАРА                      |            |
| <b>Шибeka Л.А., Доминиковская И.В.</b>                                                                       | <b>275</b> |
| ПЕРЕРАБОТКА ОТХОДОВ ПРОИЗВОДСТВА В ИНТЕРЕСАХ<br>ЭКОЛОГО-ОРИЕНТИРОВАННОГО РАЗВИТИЯ ГОСУДАРСТВА                |            |
| <b>Шибeka Л.А., Костенко Е.А.</b>                                                                            | <b>278</b> |
| ГИДРОГЕОЛОГИЧЕСКИЕ УСЛОВИЯ И ГЕОДИНАМИЧЕСКИЕ ФАКТОРЫ<br>ФОРМИРОВАНИЯ ПОДЗЕМНЫХ ВОД КУРАМИНСКОГО РЕГИОНА      |            |
| <b>Шишкина О.Ю., Мирахмедов Т.Д.</b>                                                                         | <b>281</b> |

Подписано в печать 21 апреля 2025 года  
Заказ 117. Тираж 100 экз.  
Отпечатано в типографии  
филиала Московского государственного университета  
имени М.В. Ломоносова в городе Душанбе  
734003, город Душанбе, улица Бохтар, 35/1