

УДК 351.862-047.44(575.2)  
DOI: 10.36979/1694-500X-2024-24-4-207-216

## ПРИМЕНЕНИЕ ПРОСТРАНСТВЕННОГО АНАЛИЗА ДЛЯ ОЦЕНКИ ЧРЕЗВЫЧАЙНЫХ СИТУАЦИЙ НА ТЕРРИТОРИИ КЫРГЫЗСКОЙ РЕСПУБЛИКИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ QUANTUM GIS

Г.А. Шабикова, А.Ж. Батыкова, Н.А. Айткторов, Руслан уулу Айдар

*Аннотация.* Геоинформационные системы и технологии широко применяются в различных областях деятельности, включая мониторинг чрезвычайных ситуаций и проблемы безопасности. С использованием программы Quantum GIS и статистических данных о чрезвычайных ситуациях на территории Кыргызской Республики, были разработаны цифровые карты пространственного анализа чрезвычайных ситуаций с гистограммой. На основе статистических данных проведены расчеты для описания кривой распределения вероятностей чрезвычайных ситуаций в Кыргызской Республике, а также выполнен корреляционный анализ. Было использовано эмпирическое уравнение, соответствующее показательному закону распределения.

*Ключевые слова:* геоинформационные системы; чрезвычайные ситуации; мониторинг земель; землепользование; пространственный анализ; Quantum GIS; статистические данные; распределение вероятностей; эмпирическое уравнение.

## КЫРГЫЗ РЕСПУБЛИКАСЫНЫН АЙМАГЫНДАГЫ QUANTUM GIS КОЛДОНУУ МЕНЕН ӨЗГӨЧӨ КЫРДААЛДАРГА БАА БЕРҮҮ ҮЧҮН МЕЙКИНДИК ТАЛДООСУН ПАЙДАЛАНУУ

Г.А. Шабикова, А.Ж. Батыкова, Н.А. Айткторов, Руслан уулу Айдар

*Аннотация.* Геомаалыматтык системалар жана технологиялар иштин ар кандай тармактарында, анын ичинде өзгөчө кырдаалдарга мониторинг жүргүзүүдө жана коопсуздук маселелеринде кеңири колдонулат. Quantum GIS программасын жана Кыргыз Республикасынын аймагындагы өзгөчө кырдаалдар жөнүндө статистикалык маалыматтарды колдонуу менен гистограммасы менен өзгөчө кырдаалдардын мейкиндик талдоосунун санариптик карталары иштелип чыккан. Статистикалык маалыматтардын негизинде Кыргыз Республикасындагы өзгөчө кырдаалдардын ыктымалдуулугун бөлүштүрүү ийри сызыгын сүрөттөө үчүн эсептөөлөр жүргүзүлгөн, ошондой эле корреляциялык талдоо жүргүзүлгөн. Бөлүштүрүүнүн көрсөтмөлүү мыйзамына туура келген эмпирикалык теңдеме колдонулган.

*Түйүндүү сөздөр:* геомаалыматтык системалар; өзгөчө кырдаалдар; жердин мониторинги; жерди пайдалануу; мейкиндик талдоо; Quantum GIS; статистикалык маалыматтар; ыктымалдуулукту бөлүштүрүү; эмпирикалык теңдеме.

## APPLICATION OF SPATIAL ANALYSIS FOR ASSESSING EMERGENCY SITUATIONS IN THE TERRITORY OF THE KYRGYZ REPUBLIC USING QUANTUM GIS

Г.А. Shabikova, A.Zh. Batykova, N.A. Aytktorov, Ruslan Uulu Aidar

*Abstract.* Geographic information systems and technologies are widely used in various fields of activity, including monitoring of emergency situations. Using the Quantum GIS program and statistical data on emergency situations in the territory of the Kyrgyz Republic, digital maps of spatial analysis of emergency situations with a histogram were developed. Based on statistical data, calculations were carried out to describe the probability distribution curve

of emergencies in the Kyrgyz Republic, as well as a correlation analysis was performed. An empirical equation corresponding to the exponential distribution law was used.

**Keywords:** Geographic Information Systems; emergency situations; land monitoring; land use; spatial analysis; Quantum GIS; statistical data; probability distribution; empirical equation.

**Введение.** В современном обществе географическая информация играет важную роль в анализе и визуализации данных. Термин «геоинформационная система» (ГИС) является дословным переводом с английского «Geographic information system». ГИС определяется как информационная система, обеспечивающая сбор, хранение, обработку, отображение и распространение пространственно определенных данных [1].

Основной метод ГИС – цифровое моделирование для получения новых знаний о структуре, взаимных связях, динамике, эволюции объектов и явлений.

ГИС технологии используются для создания цифровой карты, которая содержит вводимую и нужную информацию для исследования, результат которого используется для принятия необходимых решений [2]. Принятые решения играют ключевую роль в области экологии, землеустройства, сельском хозяйстве, чрезвычайных ситуациях и других отраслях.

ГИС технологии позволяют проводить анализ объектов на основании различных используемых данных, что позволяет осуществлять правильное планирование и использование пространственных объектов.

Основная задача геоинформационной системы чрезвычайных ситуаций – обеспечение информационно-аналитической поддержки процедур и процессов для принятия эффективных решений, формированию стратегии их развития, а также предотвращению или устранению кризисных и чрезвычайных ситуаций.

На сегодняшний день использование ГИС программ в изучении результатов анализа и мониторинга чрезвычайных ситуаций, в землепользовании, экологии, сельском хозяйстве, промышленности и др., является необходимым и актуальным.

Применение ГИС в ЧС обеспечивает возможность прогнозирования и моделирования развития ЧС с привязкой к местности. А анализ последствий позволяет предотвратить или свести к минимуму последствия ЧС, что влияет на все сферы деятельности человека.

ГИС играет важную роль в интеграции данных и информационном взаимодействии в управлении ЧС, дает возможность использовать различные источники данных (сенсоры, спутниковые изображения, социальные медиа) для создания полной и актуальной информационной картины.

**Цель исследования.** Проведение пространственного анализа чрезвычайных ситуаций на территории КР, создание цифровой карты с использованием программы Quantum GIS и корреляционный анализ по статистическим данным ЧС.

**Материалы, методика исследования и результаты.** В процессе исследования применялись различные методы, такие как теоретический, общий анализ методологических основ, статистический анализ, моделирование и обработка данных с применением программы Quantum GIS. ГИС технологии используются для пространственного анализа и принятия решений по чрезвычайным ситуациям, землепользованию, водопользованию, экологической безопасности и др.

Объектами исследования были чрезвычайные ситуации на территории КР. Для создания пространственного анализа чрезвычайных ситуаций и создания карты с гистограммой использовали программу QGIS – это информационная система с открытым кодом поддерживает множество векторных и растровых форматов [3].

Была использована информация по статистике ЧС, пожарам, прогнозированию и мониторингу ЧС и т. д., размещенная на официальном сайте МЧС КР (<https://mchs.gov.kg/ru/>) [4].

На основе данных, размещенных на сайте Национального статистического комитета КР, а также из других источников, были подготовлены статистические данные по интересующим нас объектам [5].

Данные должны были быть подготовлены для импортирования в программу QGIS для составления пространственного анализа чрезвычайных ситуаций на территории КР [6].

По выбранным данным был выполнен пространственный анализ за исследуемый период с 2000 по 2023 год. Распределение зарегистрированных ЧС, связанных с основными видами природных и техногенных процессов за период 2000-2023 гг., приведены в таблице 1.

Распределение зарегистрированных чрезвычайных ситуаций, связанных с основными видами природных и техногенных процессов за период 2000–2023 гг. внутри административных областей, приведено в таблице 2.

С использованием программы QGIS [7] была создана цифровая карта пространственного анализа ЧС. На карте наглядно видно по цвету (красная), что наибольшее количество чрезвычайных ситуаций приходится на Джалал-Абадскую область, а наименьшее количество – на Таласскую область. Однако каждая область имеет свои природные (рельеф) и климатические особенности, которые необходимо учитывать при работах по землеустройству, водопользованию, в сельском хозяйстве и в другой хозяйственной деятельности.

Затем на основе программы QGIS была сделана гистограмма основных природных и техногенных процессов ЧС по областям за период 2000–2023 гг. и составлена цифровая карта пространственного анализа ЧС с гистограммой (рисунок 1).

На рисунке 1 приведена гистограмма с основными видами ЧС: сели и паводки, оползни, лавины, землетрясения, подтопления и техногенные аварии. На карте видно, что большая часть природных ЧС приходится на Джалал-Абадскую, Ошскую и Баткенскую области, а техногенные аварии – на Чуйскую и Джалал-Абадскую области. Создана цифровая карта 2 с подложкой Esri World Imagery (рисунок 2). Затем были созданы гистограммы ЧС по областям за период 2000–2023 гг. (рисунок 3).

Корреляционный анализ – это статистический метод для установления оценки силы связи между случайными величинами (признаками), который характеризует некоторый реальный процесс, в нашем случае – это чрезвычайные ситуации в Кыргызской Республике по статистическим данным за период 2000–2023 гг. Для проведения такого анализа необходимо создать вероятностный ряд зарегистрированных ЧС за период 2000–2023 гг. внутри административных областей и городов Бишкек и Ош (таблица 3).

Расчет статистических показателей:

1. Математическое ожидание:

$$\bar{m} = \sum_1^n n_{cp} \cdot P_i = 150 \cdot 0,855 + 450,5 \cdot 0,116 + 750,5 \cdot 0,015 + 1050,5 \cdot 0,015 + 1350,5 \cdot 0,015 = 231,4 \text{ шт.}$$

Дисперсия:

$$D_{cp} = \sum_1^5 (n_i - \bar{m})^2 \cdot P_i = (150 - 231,4)^2 \cdot 0,855 + (450,5 - 231,4)^2 \cdot 0,116 + 0 + (1050,5 - 231,4)^2 \cdot 0,015 + (1350,5 - 231,4)^2 \cdot 0,015 = 40083,38 \text{ шт.}$$

Среднеквадратическое отклонение:

$$\pm \delta = \sqrt{D_i} = \sqrt{\sum_1^5 (n_{cp} - \bar{m})^2 \cdot P_i} = \sqrt{40083,38} = 200,2 \text{ шт.}$$

На основе объективного статистического ряда необходимо построить гистограмму и кривую распределения вероятностей частоты чрезвычайных ситуаций (рисунок 4).

Таблица 1 – Распределение зарегистрированных ЧС, связанных с основными видами природных и техногенных процессов за период 2000–2023 гг.

| Область                   | К-во ЧС в области за период наблюдений |     | Сели и паводки |      | Оползни и камнепады |      | Лавины |      | Землетрясения |      | Подтопление |     | Метеорологические (дождь, снег, град и др.) |      | Техногенные аварии (пожары) |      | Инфекции |      | Прочие |      |
|---------------------------|--|-----|----------------|------|---------------------|------|--------|------|---------------|------|-------------|-----|---|------|-----------------------------|------|----------|------|--------|------|
|                           | К-во                                   | %   | К-во           | %    | К-во                | %    | К-во   | %    | К-во          | %    | К-во        | %   | К-во  | %    | К-во                        | %    | К-во     | %    | К-во   | %    |
| Баткенская                | 551                                    | 100 | 344            | 62,4 | 22                  | 3,9  | 2      | 0,3  | 18            | 3,2  | 4           | 0,7 | 49  | 8,9  | 58                          | 10,5 | 25       | 4,6  | 30     | 5,5  |
| Джалал-Абадская           | 1399                                   | 100 | 478            | 34,2 | 159                 | 11,4 | 340    | 24,4 | 52            | 3,7  | 9           | 0,6 | 126   | 9,1  | 141                         | 9,9  | 74       | 5,4  | 19     | 1,3  |
| Иссык-Кульская            | 446                                    | 100 | 83             | 18,7 | 7                   | 1,6  | 70     | 16   | 31            | 7    | 8           | 1,8 | 130   | 28,6 | 83                          | 23,9 | 22       | 4    | 12     | 2,4  |
| Нарынская                 | 316                                    | 100 | 68             | 21,5 | 24                  | 7,7  | 58     | 18,3 | 18            | 5,8  | 10          | 3,2 | 55  | 17   | 33                          | 10,6 | 41       | 13,1 | 9      | 2,8  |
| Ошская (г. Ош до 2004 г.) | 962                                    | 100 | 309            | 32,1 | 180                 | 18,7 | 160    | 16,7 | 109           | 11,4 | 11          | 1,1 | 84  | 8,8  | 70                          | 7,2  | 26       | 2,5  | 13     | 1,4  |
| Таласская                 | 243                                    | 100 | 84             | 34,4 |                     |      | 5      | 2,1  | 8             | 3,3  | 22          | 9,1 | 67  | 27,4 | 31                          | 12,9 | 23       | 9,5  | 3      | 1,2  |
| Чуйская                   | 560                                    | 100 | 78             | 14,1 | 30                  | 5,4  | 55     | 9,9  | 24            | 4,3  | 44          | 7,9 | 96  | 17   | 200                         | 35,1 | 27       | 5    | 6      | 1,1  |
| г. Бишкек                 | 189                                    | 100 | 4              | 2,1  | 3                   | 1,6  |        |      | 1             | 0,5  | 16          | 8,5 | 8   | 4,2  | 127                         | 67,2 | 7        | 3,7  | 23     | 12,2 |
| г. Ош с 2005 г.           | 59                                     | 100 | 15             | 25,9 | 2                   | 3,4  |        |      | 5             | 8,6  | 1           | 1,7 | 5   | 8,6  | 22                          | 37,9 | 9        | 13,9 |        |      |

Таблица 2 – Распределение зарегистрированных чрезвычайных ситуаций, связанных с основными видами природных и техногенных процессов за период 2000–2023 гг. внутри административных областей

| Область         | К-во ЧС в период набл. | Сели и паводки | Оползни и камнепады | Лавины | Землетрясения | Подтопления | Техногенные аварии | Прочие |
|-----------------|------------------------|----------------|---------------------|--------|---------------|-------------|--------------------|--------|
| Баткенская      | 551                    | 344            | 22                  | 2      | 18            | 4           | 58                 | 30     |
| Джалал-Абадская | 1399                   | 478            | 159                 | 340    | 52            | 9           | 141                | 19     |
| Иссык-Кульская  | 446                    | 83             | 7                   | 70     | 31            | 8           | 83                 | 12     |
| Нарынская       | 316                    | 68             | 24                  | 58     | 18            | 10          | 33                 | 9      |
| Ошская          | 962                    | 309            | 180                 | 160    | 109           | 11          | 70                 | 13     |
| Таласская       | 243                    | 84             |                     | 5      | 8             | 22          | 31                 | 3      |
| Чуйская         | 560                    | 78             | 30                  | 55     | 24            | 44          | 200                | 6      |

Пространственный анализ чрезвычайных ситуаций на период 2000-2023гг

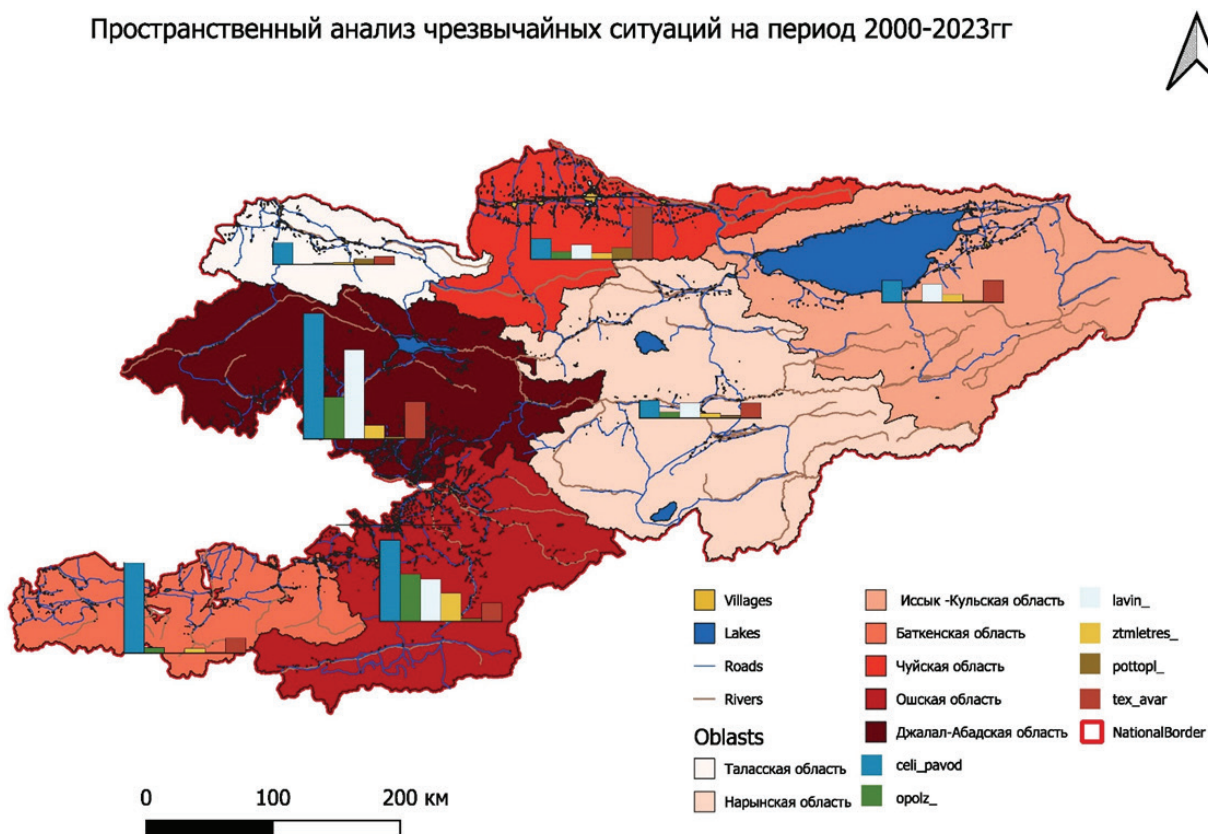


Рисунок 1 – Пространственный анализ чрезвычайных ситуаций на период 2000–2023 гг.

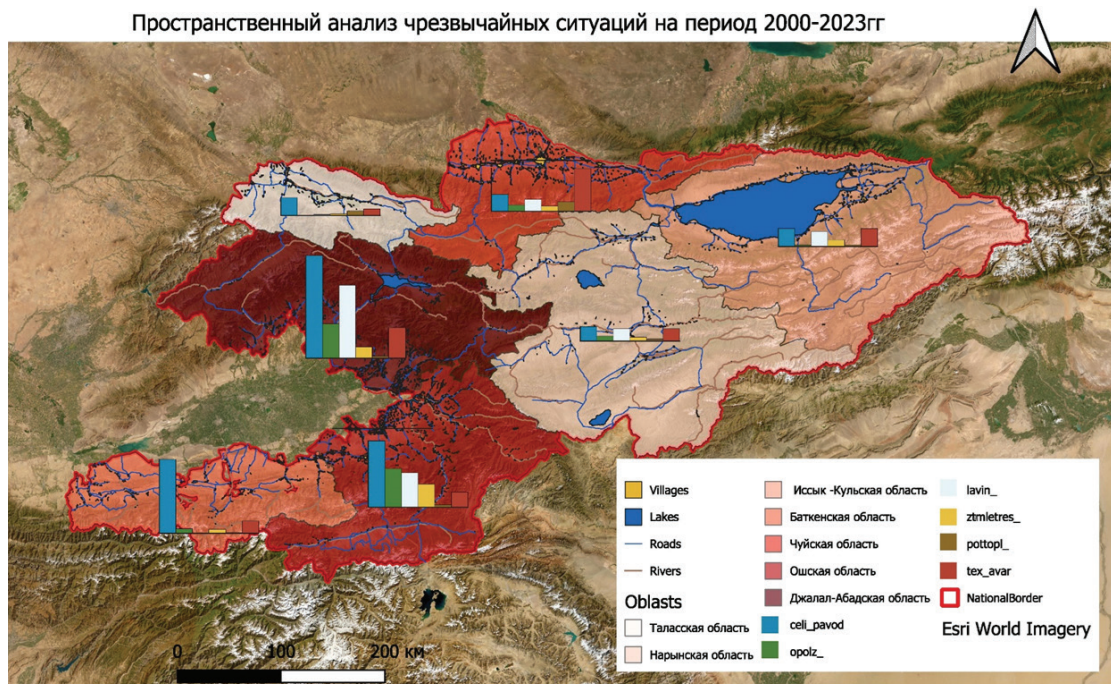


Рисунок 2 – Пространственный анализ чрезвычайных ситуаций на период 2000–2023 гг. с подложкой

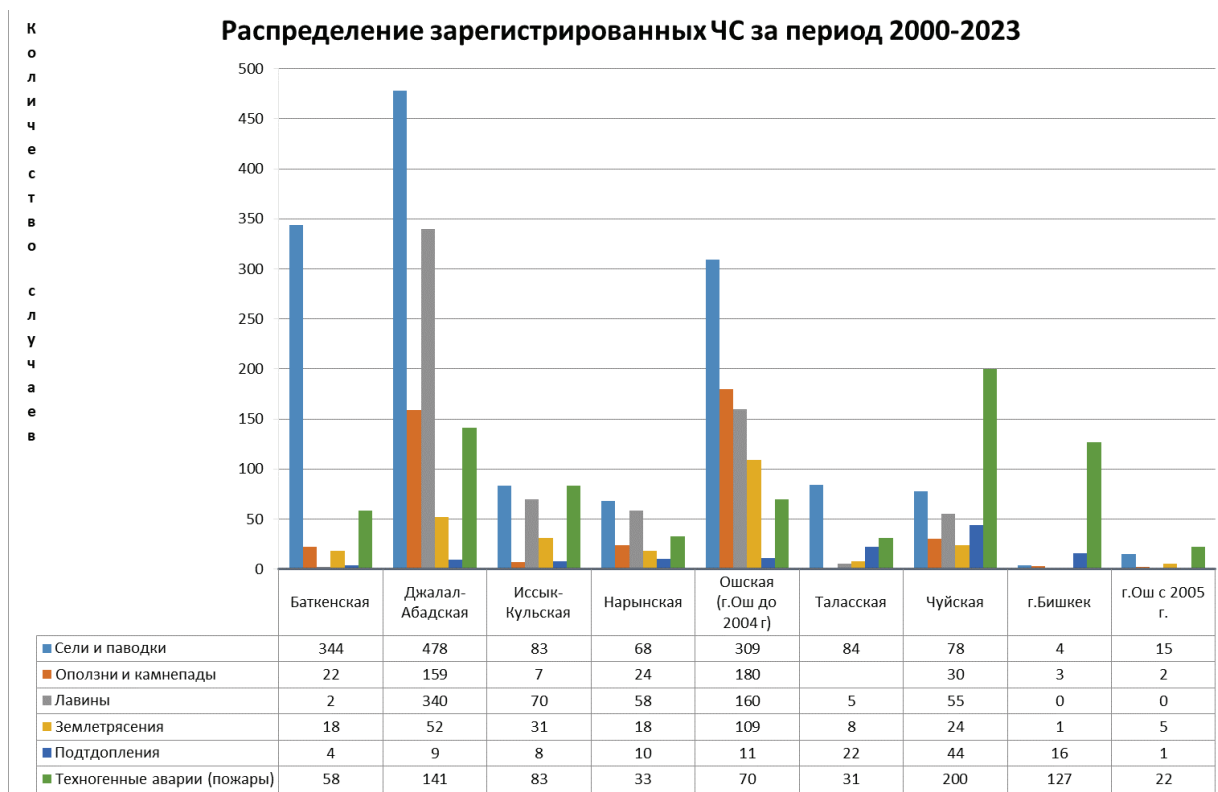


Рисунок 3 – Гистограмма ЧС по областям за период 2000–2023 гг.

Таблица 3 – Вероятностный ряд зарегистрированных ЧС за период 2000–2023 гг. по областям и городам Бишкек и Ош

| № разряда                              | 1     | 2       | 3       | 4        | 5         |
|--|-------|---------|---------|----------|-----------|
| Границы разряда, $n_{i-1} - n_i$ , шт. | 0–300 | 301–600 | 601–900 | 901–1200 | 1201–1500 |
| Среднее значение, $n_{ср}$ , шт.       | 150   | 450,5   | 750,5   | 1050,5   | 1350,5    |
| Численность, $m$ , шт.                 | 59    | 8       | -       | 1        | 1         |
| Частота: $P_i = m / \sum m$            | 8,855 | 0,116   | 0       | 0,015    | 0,015     |

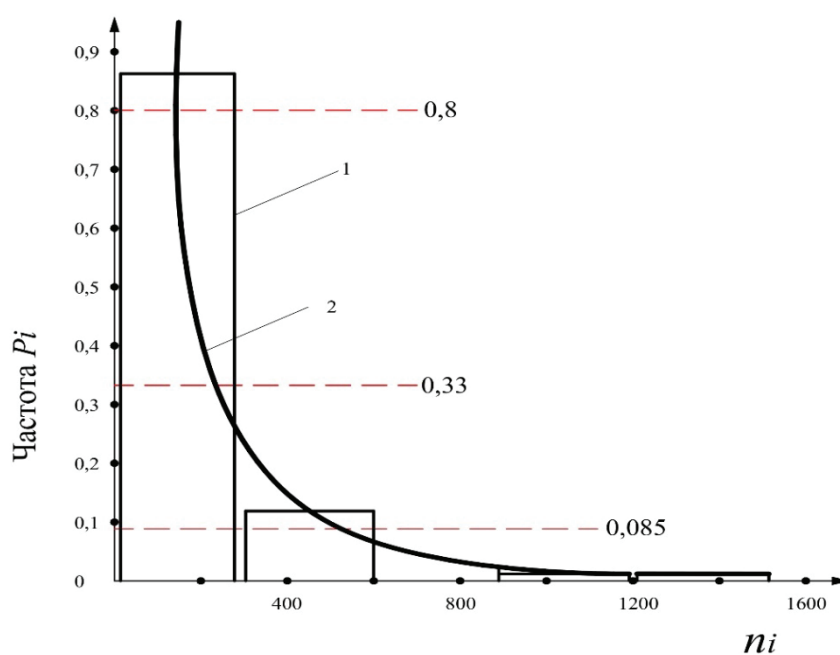


Рисунок 4 – Гистограмма (1) и кривая распределения (2) вероятностей частоты ЧС на территории Кыргызской Республике за период 2000–2023 гг.

Определение коэффициентов уравнения регрессии:

1. Из кривой распределения вероятностей частоты ЧС выводим характерные точки:

|       |     |      |       |
|-------|-----|------|-------|
| i     | 2   | 3    | 4     |
| $x_i$ | 150 | 250  | 600   |
| $y_i$ | 0,8 | 0,33 | 0,085 |

2. Расчет коэффициентов аппроксимации для данных характерных точек с помощью формулы Лагранжа [8, 9]:

$$L_n(x) = \sum_{i=0}^n y_i \frac{(x-x_0)(x-x_1)\dots(x_i-x_{i-1})(x_i-x_{i+1})\dots(x-x_n)}{(x_i-x_0)(x_i-x_1)\dots(x_i-x_{i-1})(x_i-x_{i+1})\dots(x_i-x_n)} \quad (1)$$

Коэффициент Лагранжа:

$$L_i^{(n)}(x) = \frac{(x-x_0)(x-x_1)\dots(x_i-x_{i-1})(x_i-x_{i+1})\dots(x-x_n)}{(x_i-x_0)(x_i-x_1)\dots(x_i-x_{i-1})(x_i-x_{i+1})\dots(x_i-x_n)} \quad (2)$$

$$L_i^{(n)}(x) \cdot y_1 = \frac{(x-250)(x-600)}{(150-250)(150-600)} \cdot 0,8 = \frac{x^2 - 850 \cdot x + 15000}{45000} 0,8 =$$

$$= 0,000018 \cdot x^2 - 0,015 \cdot x + 0,27;$$

$$L_i^{(n)}(x) \cdot y_2 = \frac{(x-150)(x-600)}{(250-150)(250-600)} \cdot 0,33 = \frac{x^2 - 750 \cdot x + 90000}{35000} 0,33 =$$

$$= 0,0000094 \cdot x^2 - 0,00705 \cdot x - 0,846;$$

$$L_i^{(n)}(x) \cdot y_3 = \frac{(x-150)(x-250)}{(600-150)(600-250)} \cdot 0,085 = \frac{x^2 - 400 \cdot x + 37500}{157500} \cdot 0,085 =$$

$$= 0,0000005 \cdot x^2 - 0,0002 \cdot x - 0,0187;$$

Результатирующие уравнение:

$$Y = 0,0000091 \cdot x^2 - 0,00815 \cdot x + 0,5573 = 0,5573 (1 - 0,0146 \cdot x + \dots)$$

$$y^1 = \frac{0,00815}{0,5573} = 0,0416;$$

$$Y = 0,5573 \cdot e^{-0,0146 \cdot n}$$

Для описания кривой распределения вероятностей частоты ЧС в Кыргызской Республике выбрано эмпирическое уравнение, которое подчиняется показательному закону распределения:

$$f(n) = 0,5573 \cdot e^{-0,0146 \cdot n} \quad (3)$$

Эмпирическое уравнение (3) получено в результате математической обработки фактических объективных данных зарегистрированных ЧС за период 2000–2023 гг. по Кыргызской Республике, что позволяет установить закономерность распределения ЧС за исследуемый период. Данная закономерность подчиняется показательному закону распределения.



**Обсуждение.** Создание карты с использованием программы QGIS является мощным инструментом для визуализации и анализа пространственных данных. В процесс создания карты с использованием данных о чрезвычайных ситуациях в Кыргызстане использовались: загрузка данных, стилизация слоев, сбор и добавление данных, а также уникализация стилей слоя областей. Эти шаги позволяют создать наглядную карту, отражающую статистику и распределение чрезвычайных ситуаций в различных регионах Кыргызстана.

Кроме того, имеются дополнительные возможности, такие как создание макета карты, добавление других элементов (маркеры, линии времени, диаграммы) и проведение пространственного анализа данных.

Важно отметить, что создание карты требует определенной точности и внимания к деталям. Рекомендуется использовать надежные источники данных, проводить проверку и верификацию информации, а также соблюдать правила использования данных и конфиденциальность информации о чрезвычайных ситуациях.

Этой картой можно поделиться на онлайн-платформах, таких как веб-сайты или социальные сети, или опубликовать ее в формате интерактивной карты, используя специальные сервисы распределения ЧС по регионам, использовать инструменты геообработки для выявления горячих точек или провести временной анализ для изучения изменений в течение периодов.

На основании статистических данных, авторами был сделан корреляционный анализ, проведены расчеты для описания кривой распределения вероятностей частоты ЧС в Кыргызской Республике, выбрано эмпирическое уравнение, которое подчиняется показательному закону распределения.

**Заключение и рекомендации.** Обеспечение безопасности и защита общества от ЧС – важные задачи для любого государства. Опасности, связанные с возникновением чрезвычайных ситуаций, имеют комплексный характер. Для эффективного решения задач по защите населения и территорий от чрезвычайных ситуаций требуется оперативное создание и использование комплексного картографического обеспечения, основанного на современных информационных технологиях и базах картографических данных.

В ходе выполнения данной статьи была использована настольная программа QGIS, с помощью которой была составлена цифровая карта для пространственного анализа чрезвычайных ситуаций в Кыргызской Республике. Также был проведен корреляционный анализ, который позволил выявить взаимосвязи между различными типами чрезвычайных ситуаций и природными, климатическими факторами.

Использование дополнительных данных, таких как кадастровые данные о почве, гидрологии и метеорологические данные, позволит более детально исследовать взаимосвязи между чрезвычайными ситуациями и природными факторами. Эти данные необходимы для дальнейшего совершенствования цифровых карт и их использования в различных отраслях, включая экологию, землепользование и сельское хозяйство.

Необходимо рассмотреть возможность публикации разработанной карты для доступа другим пользователям. Это позволит расширить круг пользователей, заинтересованных в использовании данных и результатов исследования, и будет способствовать обмену информацией в области мониторинга чрезвычайных ситуаций.

Эти рекомендации могут дополнить и усовершенствовать текущую работу, сделав ее более полезной и доступной для применения в практических задачах обеспечения безопасности и управления чрезвычайными ситуациями.

Поступила: 25.03.24; рецензирована: 08.04.24; принята: 10.04.24.

#### **Литература**

1. Лурье И.К. Основы геоинформатики: учеб. пособие / И.К. Лурье, Т.Е. Самсонов. М.: МГУ, 2016. 200 с.
2. Лурье И.К. Геоинформационное картографирование: учебник / И.К. Лурье. М.: КДУ, 2010. 424 с.

3. *Ципилева Т.А.* Геоинформационные системы: учеб. пособие / Т.А. Ципилева. Томск: Томск. межвуз. центр дистанционного образования, 2004. 162 с.
4. Интернет источники: Сайт МЧС КР (<https://mchs.gov.kg/ru/>) (дата обращения: 12.02.2023).
5. Мониторинг, прогнозирование опасных процессов и явлений на территории Кыргызской Республики. Бишкек: МЧС КР, 2023. 848 с.
6. *Чымыров А.У.* Геоинформационные системы: учеб. пособие / А.У. Чымыров, А.К. Бектуров, Акылбек уулу Белек. Бишкек, 2021. 163 с.
7. *Энтин А.Л.* Основы геоинформатики: практикум по QGIS: электронный учебник / А.Л. Энтин, Т.Е. Самсонов, 2020. 151 с.
8. *Саати Т.А.* Математические методы исследования операции / Т.А. Саати. М., 1963. 207 с.
9. *Бахалов Н.С.* Осреднения процессов в периодических средах: Математические задачи механики композиционных материалов / Н.С. Бахалов, Г.П. Панасенко. М.: Наука, 1984. 352 с.