

---

---

## ОБЕСПЕЧЕНИЕ ПОЖАРНОЙ И ПРОМЫШЛЕННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ

---

---

УДК 614.84:519

**И. А. Кайбичев<sup>1</sup>, Е. К. Кайбичева<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>Уральский институт ГПС МЧС России, Екатеринбург, Россия

<sup>2</sup>Уральский экономический университет, Екатеринбург, Россия

### **АВТОКОРРЕЛЯЦИОННЫЕ МОДЕЛИ ДЛЯ МАТЕРИАЛЬНОГО УЩЕРБА ОТ ПОЖАРОВ В АЛТАЙСКОМ КРАЕ**

*Аннотация.* Изучено влияние показателей прошлых лет на размер материального ущерба от пожаров в Алтайском крае. Выполнен расчет коэффициента автокорреляции. В результате расчета установлено влияние значений 14, 15, 16, 17 летней давности на размер материального ущерба в текущем году. Коэффициенты автокорреляционной модели определены с помощью симплекс-метода и метода обобщенного приведенного градиента. Разработана автокорреляционная модель, которая полезна для прогноза будущих значений.

*Ключевые слова:* коэффициент автокорреляции, автокорреляционная модель, материальный ущерб от пожаров, Алтайский край.

#### *Введение*

К данному моменту времени нет ясности в вопросе о возможности влияния значений прошлых лет на размер материального ущерба от пожаров в Алтайском крае. Ответ на этот вопрос можно получить после вычисления коэффициента автокорреляции [1]. Ранее наличие такой зависимости установлено для количества пожаров в Свердловской области [2], Красноярском и Забайкальском краях, Новосибирской и Иркутской областях [3, 4], а также для Российской Федерации [5]. Наличие зависимости количества погибших при пожарах людей установлено для Российской Федерации [6].

#### *Постановка проблемы*

Проблема влияния прошлого на размер материального ущерба от пожаров в Алтайском крае актуальна по двум причинам. Первая состоит в возможности установления временных интервалов (лага), через которые размер материального ущерба от пожаров оказывает влияние на значение этого показателя в текущем году. Вторая – установленные зависимости можно использовать для прогноза размера материального ущерба от пожаров на будущий год [7-9].

#### *Основная часть.*

##### *Коэффициент автокорреляции*

Имеющиеся статистические данные по Алтайскому краю 2001-2019 годов [10] позволяют рассчитать коэффициент автокорреляции (Табл. 1) по формуле [1]:

$$R(\tau) = \frac{1}{n-\tau} \sum_{k=1}^{n-\tau} [Y_k - \bar{Y}][Y_{k+\tau} - \bar{Y}] / \frac{1}{n} \sum_{k=1}^n [Y_k - \bar{Y}]^2 \quad (1)$$

Здесь  $\tau = 1, 2, 3, \dots, n-2$  – так называемый лаг,  $n$  – объем выборки,  $\bar{Y}$  – средний размер материального ущерба от пожаров,  $Y_k$  – фактический размер материального ущерба от пожаров в рассматриваемом году,  $k$  – порядковый номер года в выборке.

Таблица 1 - Коэффициент автокорреляции

$\tau$	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$R(\tau)$	0,27	0,16	0,00	-0,13	-0,31	-0,39	-0,39	-0,35	0,02	0,04

$\tau$	11	12	13	14	15	16	17
$R(\tau)$	0,32	0,36	0,40	0,91	-0,94	-0,84	1,00

Анализ коэффициентов автокорреляции (Табл. 1) показывает наличие зависимости размера материального ущерба от пожаров текущего года от значений 14, 15, 16, 17 летней давности.

	A	B	C	D	E
1	2001	52366	a1		1
2	2002	53385	a2		1
3	2003	51506	a3		1
4	2004	48380	a4		1
5	2005	59993			
6	2006	59037			
7	2007	65224			
8	2008	87050			
9	2009	105526			
10	2010	357422			
11	2011	103006			
12	2012	101383			
13	2013	93567			
14	2014	83081			
15	2015	23914			
16	2016	14825			
17	2017	14094			
18	2018	14523			
19	2019	126080			

Рисунок 1 - Первый этап подбора констант

*Автокорреляционная модель*

Это позволяет применить автокорреляционную модель

$$Y'_i = a_1 Y_{i-14} + a_2 Y_{i-15} + a_3 Y_{i-16} + a_4 Y_{i-17} \quad (2)$$

Здесь  $Y'_i$  – модельное значение,  $Y_{i-14}$  – размер материального ущерба от пожаров 14 летней давности,  $Y_{i-15}$  – 15 летней давности,  $Y_{i-16}$  – 16 летней давности,  $Y_{i-17}$  – 17 летней давности,  $a_1, a_2, a_3, a_4$  – константы.

Значения констант  $a_1, a_2, a_3, a_4$  нам не известны. Для начального этапа предположим все их равными 1 (Рисунок 1). На размер материального ущерба от пожаров в 2019 году оказывают влияние результаты 2005, 2004, 2003, 2002 годов (выделены курсивом). Полученное по автокорреляционной модели (2) значение  $Y'_{2019} = 213264$  тысяч рублей не совпадает с фактическим  $Y_{2019} = 126080$  тысяч рублей.

Для определения значения констант  $a_1, a_2, a_3, a_4$  используем средство Поиск решения программы Microsoft Excel. Константы определим из условия совпадения модельного и фактического размера материального ущерба от пожаров для 2019 года. При этом используем симплекс-метод и метод обобщенного приведенного градиента (ОПГ).

*Симплекс-метод*

Поиск решения с помощью симплекс-метода [11-13] приводит (Рисунок 2) к упрощению автокорреляционной модели (2) до 14 порядка

$$Y'_i = a_1 Y_{i-14} \tag{3}$$

	A	B	C	D	E
1	2001	52366	a1	2,101579	126080
2	2002	53385	a2	0	
3	2003	51506	a3	0	
4	2004	48380	a4	0	
5	2005	59993			
6	2006	59037			
7	2007	65224			
8	2008	87050			
9	2009	105526			
10	2010	357422			
11	2011	103006			
12	2012	101383			
13	2013	93567			
14	2014	83081			
15	2015	23914			
16	2016	14825			
17	2017	14094			
18	2018	14523			
19	2019	126080			

Рисунок 2 - Результат подбора констант симплекс-методом

Коэффициенты  $a_2, a_3, a_4$  при этом равны 0.

*Метод обобщенного приведенного градиента (ОПГ)*

Поиск решения методом ОПГ [14-17] дает значения констант  $a_1$ ,  $a_2$ ,  $a_3$ ,  $a_4$  (Рисунок 3) при которых модельное и фактическое количество пожаров для 2019 года совпадают.

	A	B	C	D	E
1	2001	52366	a1	0,542899	126080
2	2002	53385	a2	0,631381	
3	2003	51506	a3	0,607563	
4	2004	48380	a4	0,593247	
5	2005	59993			
6	2006	59037			
7	2007	65224			
8	2008	87050			
9	2009	105526			
10	2010	357422			
11	2011	103006			
12	2012	101383			
13	2013	93567			
14	2014	83081			
15	2015	23914			
16	2016	14825			
17	2017	14094			
18	2018	14523			
19	2019	126080			

Рисунок 3 - Результат подбора констант методом ОПГ

Заметим, что в этом случае упрощение автокорреляционной модели (2) не происходит.

#### *Обсуждение результатов*

Автокорреляционную модель (3) с константами, определенными с помощью симплекс-метода, можно использовать для прогноза. Для 2020 года получаем прогнозное значение материального ущерба от пожаров 124071 тысяч рублей, для 2021 года – 137073 тысяч рублей.

Для 2020 года автокорреляционная модель (2) с константами, определенными по методу ОПГ, дает прогнозное значение размера материального ущерба от пожаров 129879 тысяч рублей. Для 2021 года прогнозное значение составило 137836 тысяч рублей.

Отметим, что симплекс-метод и метод обобщенного приведенного градиента дают достаточные близкие прогнозные значения.

Для расчетов использованы апробированные методы анализа временных рядов [7-9] и методы оптимизации [11-17]. Предложенные автокорреляционные модели дополняют возможности статистических методов прогноза [18, 19], а также использования нейронных сетей [20].

*Выводы:* В итоге исследования установлено, что размер материального ущерба от пожаров в Алтайском крае можно описать авторегрессионной моделью. Выполнен прогноз размера материального ущерба от пожаров в Алтайском крае на 2020 и 2021 года.

Список литературы

1. Бирюкова Л. Г., Бобрик Г. И., Матвеев В.И. Теория вероятностей и математическая статистика: учебное пособие / Бирюкова Л. Г., Бобрик Г. И., Матвеев В. И. - 2-е изд. – М.: НИЦ ИНФРА-М, 2017. - 289 с.
2. Миронов М. П., Кайбичев И. А. Авторегрессионные модели при прогнозировании деятельности подразделений МЧС России // Пожаровзрывобезопасность. – 2010. – Т. 19, № 5. – С. 4-10.
3. Батуро А.Н. Прогнозирование количества пожаров в регионе на основе теории временных рядов // Технологии гражданской безопасности. – 2013.– Т. 10, № 3 (37). – С. 84-88.
4. Батуро А.Н. Среднесрочное прогнозирование количества пожаров с использованием автокорреляционных функций // Природные и техногенные риски (физико-математические и прикладные аспекты). – 2014 – № 3 (11). – С. 28-36.
5. Кайбичев И. А. Авторегрессионная модель количества пожаров первого порядка в Российской Федерации // Актуальные проблемы пожарной безопасности, предупреждения и ликвидации чрезвычайных ситуаций. Сборник тезисов и докладов XI-ой Международной научно-практической конференции. 15 октября 2020 г. – Кокшетау: КТИ МЧС РК, 2020. – С. 211-216.
6. Кайбичев И. А. О влиянии прошлого на количество погибших при пожарах в России // Актуальные проблемы обеспечения пожарной безопасности и защиты от чрезвычайных ситуаций: сборник материалов Всероссийской научно-практической конференции, 23 апреля 2021 г. – Железногорск: Изд-во ФГБОУ ВО Сибирская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России, 2021. – С. 413-416.
7. Лукашин Ю. Адаптивные методы краткосрочного прогнозирования временных рядов. - М.: Мир, 2003. – 411 с.
8. Mills T. C. Times series techniques for economists. – Cambridge: Cambridge University Press, 1990. – 377 p.
9. Кильдишев Г. С., Френкель А. А. Анализ временных рядов и прогнозирование. – М.: Статистика, 1973. – 105 с.
10. Пожары и пожарная безопасность в 2005-2019 году: статистический сборник. – М.: ВНИИПО, 2006-2020.
11. Шевченко В.Н., Золотых Н.Ю. Линейное и целочисленное линейное программирование. – Нижний Новгород: Изд-во Нижегородского госуниверситета им. Н.И. Лобачевского, 2004. – 154 с.
12. Шамрай Н. Б. Практическое линейное программирование для экономистов. – Владивосток: Изд-во дальневосточного университета, 2009. – 118 с.
13. Муртаф Б. Современное линейное программирование. – М.: «Мир», 1984 – 224 с.
14. Акулич И. Л. Математическое программирование в примерах и задачах: учеб. пособие для студентов эконом. спец. вузов. — М.: Высшая школа, 1986. – 318 с.
15. Гилл Ф., Мюррей У., Райт М. Практическая оптимизация. Пер. с англ. – М.: Мир, 1985. – 509 с.
16. Максимов Ю. А., Филлиповская Е. А. Алгоритмы решения задач нелинейного программирования. – М.: МИФИ, 1982. – 52 с.
17. Максимов Ю. А. Алгоритмы линейного и дискретного программирования. – М.: МИФИ, 1980. – 72 с.
18. Раимбеков К. Ж., Нарбаев К. А., Кусаинов А. Б., Осипов Р. Д. Анализ пожарной обстановки в Республике Казахстан // Вестник Кокшетауского технического института – 2019. – № 2 (34). – С. 30-39.

19. Берденова Д. К. Статистические методы прогнозирования лесных пожаров в Республике Казахстан // Вестник Кокшетауского технического института. – 2018. – № 4 (34). – С. 76-82.

20. Бутузов С. Ю., Ражников С. В., Рыженко А. А., Аманкешұлы Д. Применение искусственных нейронных сетей для оценки эффективности функционирования системы оповещения и информирования населения Российской Федерации при чрезвычайных ситуациях и пожарах // Вестник Кокшетауского технического института. – 2019. – № 4 (36). – С. 4-12.

#### References

1. Biryukova L. G., Bobrik G. I., Matveev V. I. Teoriya veroyatnostej i matematicheskaya statistika: uchebnoe posobie / Biryukova L.G., Bobrik G.I., Matveev V.I., - 2-e izd. – M.: NIC INFRA-M, 2017. - 289 s.

2. Mironov M. P., Kajbichev I. A. Avtoregressionnyye modeli pri prognozirovanii deyatel'nosti podrazdelenij MCHS Rossii // Pozharovzryvobezопасnost'. – 2010. – Т. 19, № 5. – S. 4-10.

3. Baturо A.N. Prognozirovanie kolichestva pozharov v regione na osnove teorii vremennyh ryadov // Tekhnologii grazhdanskoj bezопасnosti. – 2013. – Т. 10, № 3 (37). – S. 84-88.

4. Baturо A. N. Srednesrochnoe prognozirovanie kolichestva pozharov s ispol'zovaniem avtokorrelyacionnyh funkcionij // Prirodnye i tekhnogennyye riski (fiziko-matematicheskie i prikladnye aspekty). – 2014. – № 3 (11). – S. 28-36.

5. Kajbichev I.A. Avtoregressionnaya model' kolichestva pozharov pervogo poryadka v Rossijskoj Federacii // Aktual'nye problemy pozharnoj bezопасnosti, preduprezhdeniya i likvidacii chrezvychajnyh situacij. Sbornik tezisov i dokladov HI-oj Mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoy konferencii. 15 oktyabrya 2020 g. – Kokshetau: KTI MCHS RK, 2020. – S. 211-216.

6. Kajbichev I. A. O vliyanii proshlogo na kolichestvo pogibshih pri pozharah v Rossii // Aktual'nye problemy obespecheniya pozharnoj bezопасnosti i zashchity ot chrezvychajnyh situacij: sbornik materialov Vserossijskoj nauchno-prakticheskoy konferencii, 23 aprelya 2021 g. – ZHeleznogorsk: Izd-vo FGBOU VO Sibirskaya pozharно-spatatel'naya akademiya GPS MCHS Rossii, 2021. – S. 413-416.

7. Lukashin Yu. Adaptivnyye metody kratkosrochnogo prognozirovaniya vremennyh ryadov. - M.: Mir, 2003. – 411 s.

8. Mills T. C. Times series techniques for economists. – Cambridge: Cambridge University Press, 1990. – 377 p.

9. Kil'dishev G. S., Frenkel' A. A. Analiz vremennyh ryadov i prognozirovanie. – M.: Statistika, 1973. – 105 s.

10. Pozhary i pozharная bezопасnost' v 2005-2019 godu: statisticheskij sbornik. – M.: VNIPO, 2006-2020.

11. Shevchenko V.N., Zolotyh N.Yu. Linejnoe i celochislennoe linejnoe programmirovaniye. – Nizhnij Novgorod: Izdatel'stvo Nizhegorodskogo gosuniversiteta im. N.I. Lobachevskogo, 2004. – 154 s.

12. Shamraj N. B. Prakticheskoe linejnoe programmirovaniye dlya ekonomistov. – Vladivostok: Izd-vo dal'nevostochnogo universiteta, 2009. – 118 s.

13. Murtaf B. Sovremennoe linejnoe programmirovaniye. – M.: «Mir», 1984. – 224 s.

14. Akulich I. L. Matematicheskoe programmirovaniye v primerah i zadachah: Ucheb. posobie dlya studentov ekonom. spec. vuzov. — M.: Vysshaya shkola, 1986. – 318 s.

15. Gill F., Myurrej U., Rajt M. Prakticheskaya optimizaciya. Per. s angl. – M.: Mir, 1985. – 509 s.

16. Maksimov Yu.A., Fillipovskaya E.A. Algoritmy resheniya zadach nelinejnogo programmirovaniya. – M.: MIFI, 1982. – 52 s.
17. Maksimov Yu. A. Algoritmy linejnogo i diskretnogo programmirovaniya. – M.: MIFI, 1980. – 72 s.
18. Raimbekov K. Zh., Narbaev K. A., Kusainov A. B., Osipov R. D. Analiz pozharnoj obstanovki v Respublike Kazahstan // Vestnik Kokshetauskogo tekhnicheskogo institute. – 2019. – № 2 (34). – S. 30-39.
19. Berdenova D.K. Statisticheskie metody prognozirovaniya lesnyh pozharov v Respublike Kazahstan // Vestnik Kokshetauskogo tekhnicheskogo institute. – 2018. – № 4 (34). – S. 76-82.
20. Butuzov S. Yu., Razhnikov S. V., Ryzhenko A. A., Amankeshly D. Primenenie iskusstvennyh nejronnyh setej dlya ocenki effektivnosti funkcionirovaniya sistemy opoveshcheniya i informirovaniya naseleniya Rossijskoj Federacii pri chrezvychajnyh situacijah i pozharah // Vestnik Kokshetauskogo tekhnicheskogo institute. – 2019. – № 4 (36). – S. 4-12.

I. A. Kaibichev<sup>1</sup>, E. И. Кайбичева<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Ресей ТЖМ МӨҚ Орал институты, Екатеринбург, Ресей

<sup>2</sup>Орал экономикалық университеті, Екатеринбург, Ресей

#### АЛТАЙ ӨЛКЕСІНДЕГІ ӨРТТЕН МАТЕРИАЛДЫҚ ЗАЛАЛ ҮШІН АВТОКОРРЕЛЯЦИЯЛЫҚ МОДЕЛЬДЕР

*Аңдатпа.* Өткен жылдардағы көрсеткіштердің Алтай өлкесіндегі өрттен келтірілген материалдық шығын мөлшеріне әсері зерттелді. Автокорреляция коэффициентін есептеу жүргізілді. Есептеу нәтижесінде 14, 15, 16, 17 жыл бұрынғы мәндердің ағымдағы жылдағы материалдық шығын мөлшеріне әсері анықталды. Автокорреляциялық модельдің коэффициенттері симплекс әдісі және жалпыланған қысқартылған градиент әдісі арқылы анықталады. Болашақ мәндерді болжау үшін пайдалы автокорреляциялық модель жасалды.

*Түйінді сөздер:* автокорреляция коэффициенті, автокорреляциялық модель, өрттен материалдық залал, Алтай өлкесі.

I. A. Kaibichev<sup>1</sup>, E. И. Кайбичева<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Ural Institute of GPS of the Ministry of Emergency Situations of Russia, Ural, Russia

<sup>2</sup>Ural State University of Economics, Yekaterinburg, Russia

#### AUTOCORRELATION MODELS FOR MATERIAL DAMAGE FROM FIRES IN THE ALTAI TERRITORY

*Abstract.* The influence of indicators of previous years on the amount of material damage from fires in the Altai Territory is studied. The autocorrelation coefficient is calculated. As a result of the calculation, the influence of the values of 14, 15, 16, 17 years ago on the amount of material damage in the current year is established. The coefficients of the autocorrelation model are determined using the simplex method and the generalized reduced gradient method. An autocorrelation model has been developed that is useful for predicting future values.

*Keywords:* autocorrelation coefficient, autocorrelation model, material damage from fires, Altai Territory.

**Авторлар туралы мәлімет / Сведения об авторах / Information about the authors**

*Игорь Аннолинарьевич Кайбичев* – физика-математика ғылымдарының докторы, Ресей ТЖМ МӨҚ Орал институтының математика және информатика кафедрасының доценті, профессоры. Ресей, Екатеринбург, Бейбітшілік көшесі, 22. E-mail: kaibitchev@mail.ru

*Екатерина Игоревна Кайбичева* – экономика ғылымдарының кандидаты, Орал Экономикалық Университетінің аймақтық, муниципалды экономика және менеджмент кафедрасының доценті. Ресей, Екатеринбург, ул. 8 Марта, д. 62. E-mail: catherine.kai@mail.ru

*Кайбичев Игорь Аннолинарьевич* – доктор физико-математических наук, доцент, профессор кафедры математики и информатики Уральского института ГПС МЧС России. Россия, Екатеринбург, ул. Мира, 22. E-mail: kaibitchev@mail.ru

*Кайбичева Екатерина Игоревна* – кандидат экономических наук, доцент кафедры региональной, муниципальной экономики и управления Уральского экономического университета. Россия, Екатеринбург, ул. 8 Марта, д. 62. E-mail: catherine.kai@mail.ru

*Igor Kaibichev* – Doctor of Physical and Mathematical Sciences, Associate Professor, Professor of the Department of Mathematics and Computer Science of the Ural Institute of GPS of the Ministry of Emergency Situations of Russia. 22 Mira str., Yekaterinburg, Russia. E-mail: kaibitchev@mail.ru

*Ekaterina Kaibicheva* – Candidate of Economic Sciences, Associate Professor of the Department of Regional, Municipal Economics and Management of the Ural University of Economics. 62, 8 Marta str., Yekaterinburg, Russia. E-mail: catherine.kai@mail.ru