

**INFORMATION ABOUT THE AUTHORS**

*KARPENKO Irina Igorevna* – Student of the Department of Chemistry and Technology, Tver State Technical University, 22, embankment of Af. Nikitin, Tver, 170026, Russia. E-mail: science@science.tver.ru

*MANAENKOV Oleg Viktorovich* – Candidate of Chemical Sciences, Associate Professor of the Department of Biotechnology, Chemistry and Standardization, Tver State Technical University, 22, embankment of Af. Nikitin, Tver, 170026, Russia.

*IL'INA Ksenia Olegovna* – Student of the Faculty of Chemistry and Technology, Tver State Technical University, 22, embankment of Af. Nikitin, Tver, 170026, Russia.

*MOLCHANOV Vladimir Petrovich* – doctor of technical sciences, professor of the Department of Biotechnology, Chemistry and Standardization, Tver State Technical University, 22, Afanasiy Nikitin embankment, Tver, 170026, Russia.

**CITATION FOR AN ARTICLE**

Karpenko I.I., Manaenkov O.V., Il'ina K.O., Molchanov V.P. Development of methods for obtaining polysaccharide capsules for dosage forms based on water extracts of seaweed // Vestnik of Tver State Technical University. Series «Building. Electrical engineering and chemical technology». 2021. No. 3 (11), pp. 78–105.

УДК 674.093

**ПОВЕДЕНИЕ КИСЛОТНОСТИ ОСАДКОВ,  
ВЫПАВШИХ В ТВЕРИ В 1990–2020 ГГ.**

*Ф.В. Качановский*

*Тверской государственной технической университет (г. Тверь)*

© Качановский Ф.В., 2021

**Аннотация.** Выполнен статистический анализ динамики кислотности атмосферных осадков, выпавших в Твери в 1990–2020 гг. Установлено, что в последние 4–5 лет наблюдавшееся ранее снижение значений водородного показателя кислотности осадков *pH* практически прекратилось. Подтверждена применимость полиномиальных моделей для анализа тренда ряда *pH*. Подтверждена несущественность изменений внутригодовой динамики кислотности осадков за последние несколько лет.

**Ключевые слова:** кислотность, атмосферные осадки, модель, временной ряд, тренд, циклическая компонента, сезонная компонента, случайная компонента, показатель кислотности *pH*.

**DOI: 10.46573/2658-7459-2021-105-113**

Состояние природной среды существенно определяется кислотностью атмосферных осадков, поэтому ее показатель кислотности *pH* играет роль одной из важных экологических характеристик среды. Наблюдения за кислотностью атмосферных осадков, выпадающих в Твери, с 1990 г. ведет лаборатория мониторинга окружающей среды Тверского центра по гидрометеорологии. Автор настоящей статьи, начиная с 2009 г.,

использует полученные лабораторией результаты для проведения статистического анализа показателя  $pH$  и регулярно публикует результаты анализа [1–9].

Полученные при наблюдении (срочные) значения показателя  $pH$  преобразуются в среднемесячные значения, множество которых образует временной ряд длиной 31 год (1990–2020 гг.) с постоянным шагом. Число членов (месяцев) ряда достигло 372. Члены ряда обозначаются как  $atrH$ , а номера членов ряда – как  $t$ . Ряд значений  $atrH$  подвергается статистическому анализу.

Временная последовательность среднемесячных значений показателя кислотности  $atrH$  за 1990–2020 гг. представлена на рис. 1.

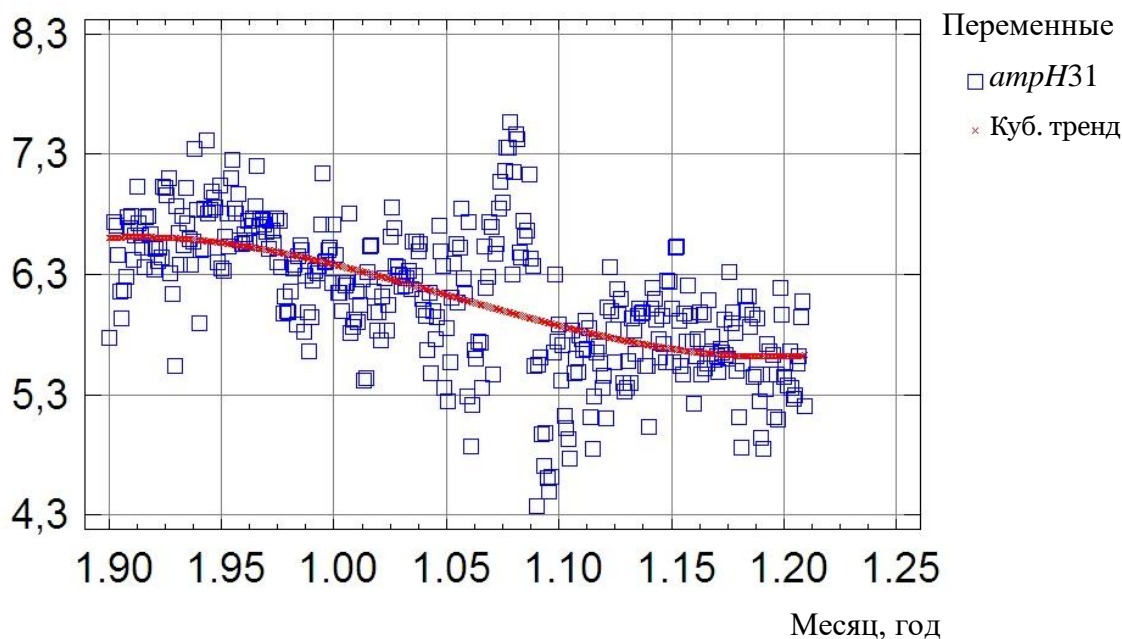


Рис. 1. Временная последовательность  $atrH31$  и ее тренд

Разброс значений  $atrH$  за весь период наблюдений вписывается в диапазон 4,3–7,5 единиц. Можно заметить, что при сравнительно равномерных колебаниях значений  $atrH$  с течением времени происходит их постепенное снижение. В интервале с октября 2005 г. до февраля 2009 г. равномерные колебания  $atrH$  нарушаются вмешательством (интервенцией) некоторого фактора неизвестного происхождения. Интервенция приводит к резкому увеличению амплитуды колебаний  $atrH$ , удваивает ее по сравнению со средними амплитудами временного процесса. Продолжительность интервенции сравнительно велика – более 3 лет.

Последовательность значений  $atrH$  рассматривается при анализе как нестационарный временной ряд. Статистическая модель ряда включает четыре аддитивных компоненты: три детерминированных – циклическую, сезонную и тренд – и одну случайную [10]. В качестве моделей тренда в разные годы работы с рядами  $atrH$  в ходе их удлинения принимались полиномиальные кривые регрессии (в последние несколько лет кубические полиномы).

Тренды разной длины показывают, что в течение почти 30 лет среднемесячные значения  $atrH$  снижаются, т. е. кислотность атмосферных осадков, выпадающих в Твери,

растет. При этом скорость снижения  $ampH$  с 2002 г. начинает уменьшаться, что проявляется в возникновении точек перегиба на линиях трендов.

Срединная часть линии кубического тренда (1995–2010 гг.) сравнительно устойчива и свидетельствует о равномерном уменьшении значений  $ampH$ .

Тренды рядов длиной 29, 30 и 31 год (начинающихся с 1990 г.) описываются уравнениями:

$$tr_{29} = 6,55405 + 0,00289275 \cdot t - 0,000045411 \cdot t^2 + 0,881136 \cdot 10^{-7} \cdot t^3; \quad (1)$$

$$tr_{30} = 6,58896 + 0,00147541 \cdot t - 0,0000334987 \cdot t^2 + 0,61926 \cdot 10^{-7} \cdot t^3; \quad (2)$$

$$tr_{31} = 6,60384 + 0,00089164 \cdot t - 0,000028762 \cdot t^2 + 0,518763 \cdot 10^{-7} \cdot t^3, \quad (3)$$

где  $t$  – порядковый номер месяца в ряду.

Уравнения (1)–(3) показывают, что при удлинении ряда  $ampH$  все коэффициенты кубической модели тренда закономерно изменяются: свободный член монотонно растет, а остальные коэффициенты монотонно убывают. Тренды, описываемые уравнениями (1)–(3), показаны на рис. 2.

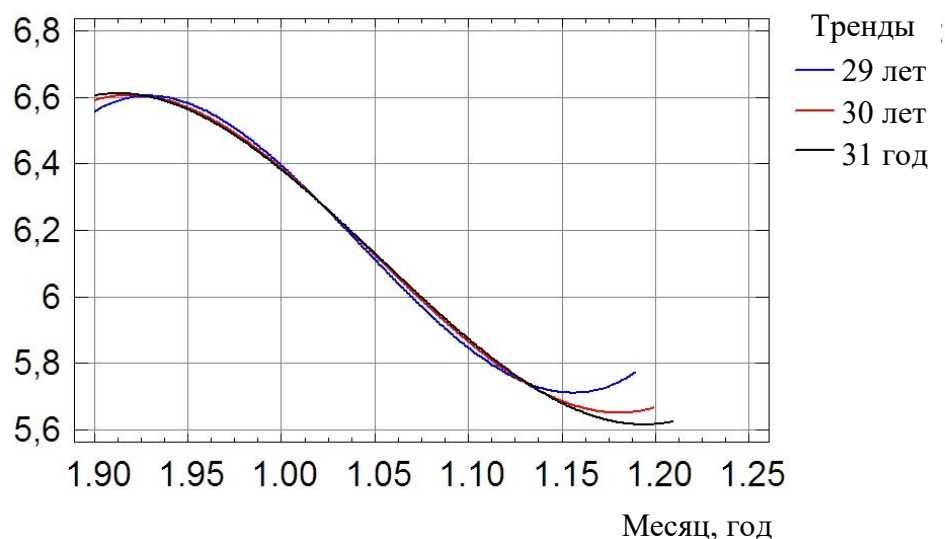


Рис. 2. Кубические тренды  $ampH$   
(1990–2018, 1990–2019, 1990–2020 гг.)

На большей (срединной) части своей длины тренды практически совпадают, т. е. единообразно описывают моделируемую временную последовательность. Только на конечном участке модель тренда заметно реагирует на удлинение ряда.

Перегиб линий тренда, с которых начинает уменьшаться скорость снижения значений  $ampH$ , т. е. момент времени, когда скорость снижения  $ampH$  перестает расти, по мере удлинения ряда наступает все позже.

Минимум тренда 29-летнего ряда ( $ampH = 5,71166$ ) наступает при  $t = 308$  (август 2015 г.), т. е. достигается за 40 месяцев до конца ряда. Затем начинается ускоренный рост значений  $ampH$ , продолжающийся до конца расчетного периода. Заметим, что минимум модельного (кубического) тренда вовсе не означает, что реальный процесс снижения значений показателя  $ampH$  остановился. Это очевидно из дальнейшего рассмотрения трендов более длинных рядов. Так, тренд 30-летнего ряда достигает своего минимума

( $amrH = 5,65183$ ) в январе 2018 г., т. е. за 23 месяца до конца ряда. Наконец, минимум 31-летнего ряда ( $amrH = 5,61646$ ) наступает в мае 2019 г., т. е. достигается за 19 месяцев до конца ряда. Это может означать, что минимум среднемесячных значений показателя кислотности  $amrH$  в 2020 г. если еще и не достигнут, то близок.

Сезонная декомпозиция 31-летнего ряда  $amrH$  (1990–2020 гг.) позволила выделить из него случайную компоненту, а также сумму тренда и циклической компоненты. Эта сумма показана на рис. 3 вместе с кубическим трендом  $amrH31$ .

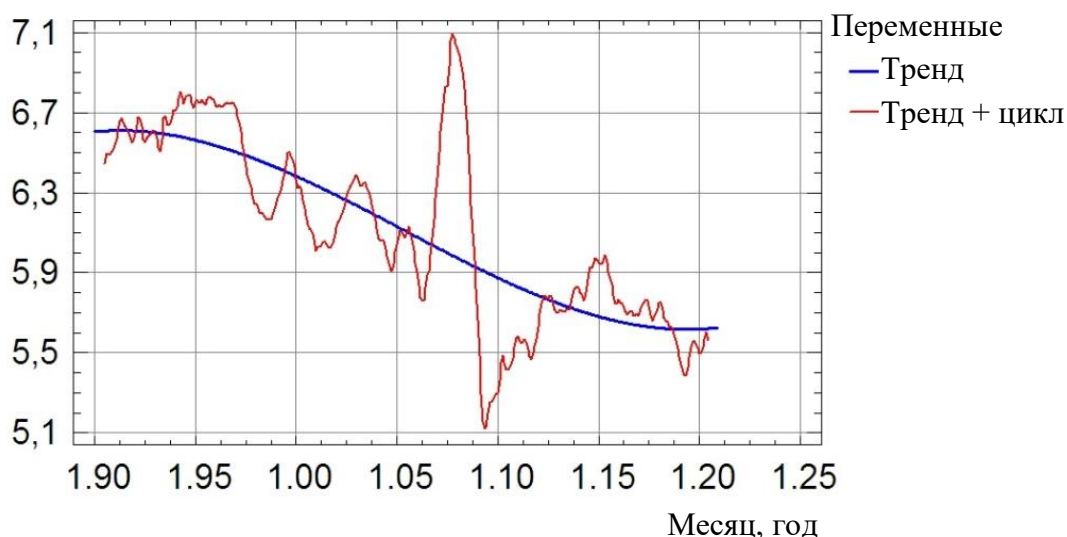


Рис. 3. Тренд + циклическая компонента ряда  $amrH$  (1990–2020 гг.) и кубический тренд  $amrH31$

Из суммы был вычтен кубический тренд и получена циклическая компонента, показанная на рис. 4 в виде отклонений от нулевых значений. При удлинении ряда наблюдений  $pH$  за 2020 г. [9] характерные черты циклической компоненты остались прежними.

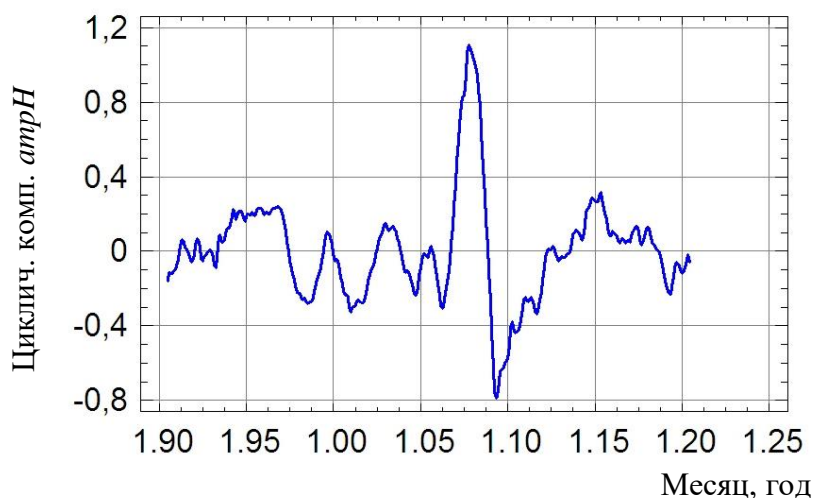


Рис. 4. Циклическая компонента ряда  $amrH31$  (1990–2020 гг.)

Видна не только интервенция 2005–2009 гг., но и так называемая мини-интервенция, приходящаяся на 2015 г. и обсужденная в [9]. Можно отнести к мини-интервенциям и распластаный в интервале от февраля 1994 г. до апреля 1998 г. отрезок ряда  $ampH_{31}$ . Отметим также, что разброс значений  $ampH$  у циклической компоненты значительно меньше, чем у исходного ряда и составляет  $\sim 1,1$  единиц по сравнению с разбросом значений  $ampH_{31}$  в диапазоне  $\sim 1,8$ . Само название этой компоненты «циклическая» представляется достаточно условным в применении к такой характеристике, как показатель кислотности  $pH$ . Она изменчива как по амплитуде колебаний, так и по протяженности циклов. Ее амплитуда (здесь не берутся во внимание параметры интервенций) изменяется в пределах 0,1–0,53, а протяженность циклов составляет от 1 года до 3 лет (см. рис. 4). Для полного определения необходимо привлечение дополнительной информации в виде других временных рядов [10].

Внутригодовую динамику показателя  $ampH$  характеризуют месячные индексы, определяемые как простое среднее  $\hat{s}_i$  отклонений значений  $ampH$  от тренда [8, 10]:

$$\hat{s}_i = \frac{1}{m+1} \cdot \sum_{l=0}^m (ampH_{i+lp} - \hat{tr}_{i+lp}) \text{ для } i = 1, \dots, p;$$

где  $m + 1 = 31$  – число периодов (лет) в ряду наблюдений.

На рис. 5 представлены месячные индексы трех рядов разной длины: 6 лет (короткий ряд начального периода наблюдений за показателем  $pH$ ), 27 лет и 31 год (длинные ряды последних лет наблюдений). Общий характер колебаний значений индексов у всех трех рядов схож, пики и провалы наступают синхронно, однако глобальный максимум у короткого ряда (1990–1995 гг.) наступает на три месяца раньше, чем у длинных (1990–2016 гг. и 1990–2020 гг.). У длинных рядов значения индексов мало отличаются друг от друга, что свидетельствует о стабильном состоянии (в последние 5 лет наблюдений) внутригодового процесса формирования величины  $ampH$  (и следовательно, исходного показателя кислотности  $pH$ ). Индексы короткого, шестилетнего, ряда (1990–1995 гг.) ведут себя иначе. В первом полугодии они заметно выше, а во втором, наоборот, существенно ниже, чем у длинных рядов. Это говорит о том, что условия формирования кислотности атмосферных осадков в начале 1990-х гг. были иными, чем в последние годы. Закономерен вопрос, какие причины изменения условий, формирующих кислотность атмосферных осадков, оказались более существенными – природные или антропогенные? При отсутствии конкретной информации об антропогенных факторах и их влиянии на кислотность осадков ограничимся оценкой поведения природных, т. е. климатических, факторов.

Установлено [3, 9], что одним из самых влиятельных (если не самым влиятельным) факторов является температура воздуха. Между месячными индексами 31-летних временных рядов  $ampH$  и температуры воздуха  $amt$  существует умеренно сильная положительная связь. Коэффициент корреляции связи составляет 0,552. Поэтому сравним месячные индексы температур воздуха в длинном и коротком рядах, показанные на рис. 6. Видно, что индексы этих рядов практически совпадают, т. е. за четверть века климатические условия сколько-нибудь существенно не изменились. Это означает, что причины изменений внутригодовой динамики показателя  $pH$  имеют, вероятнее всего, не климатическое, а антропогенное происхождение.

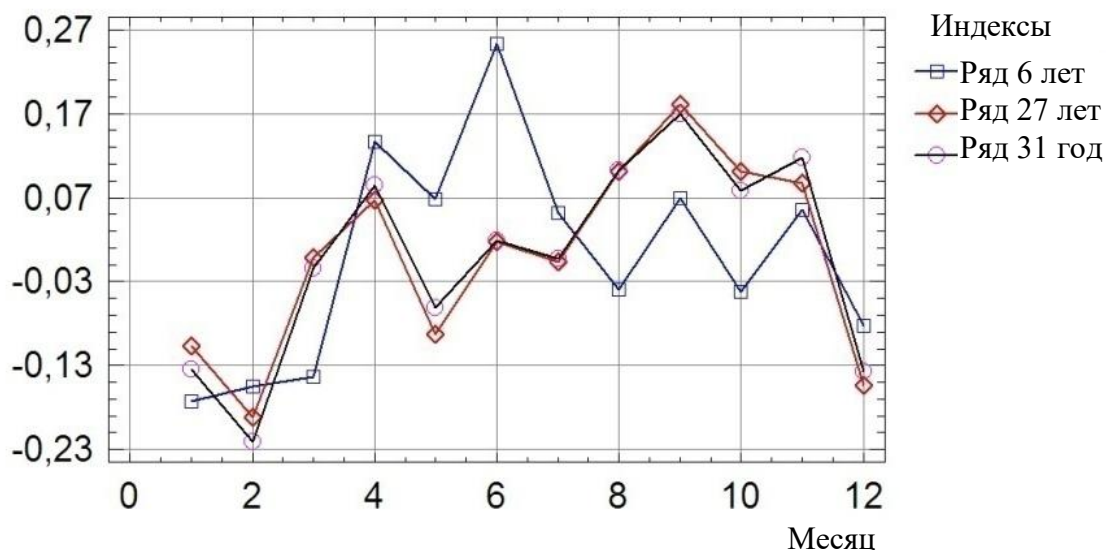
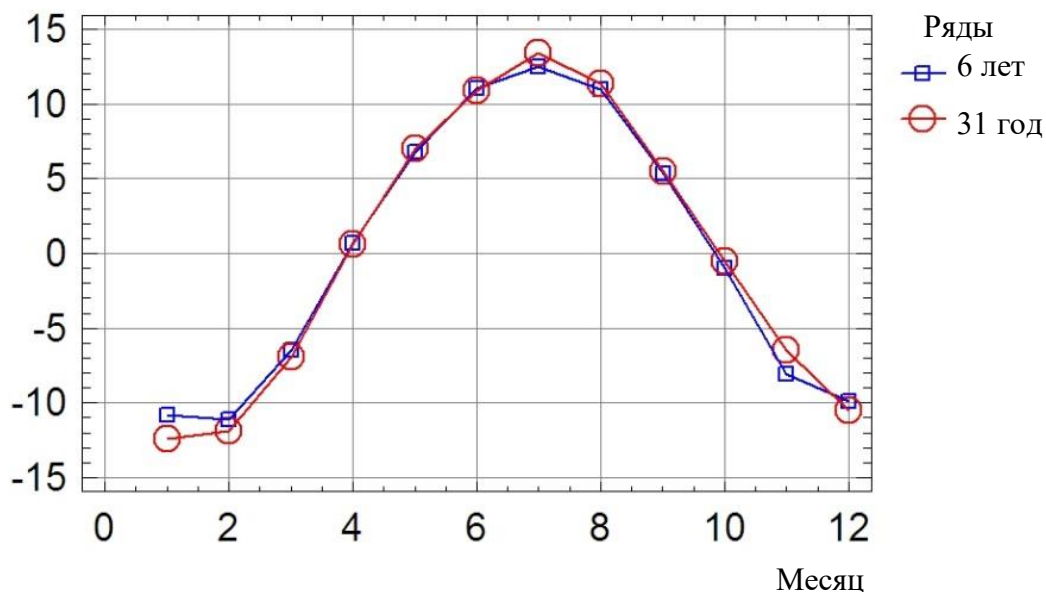
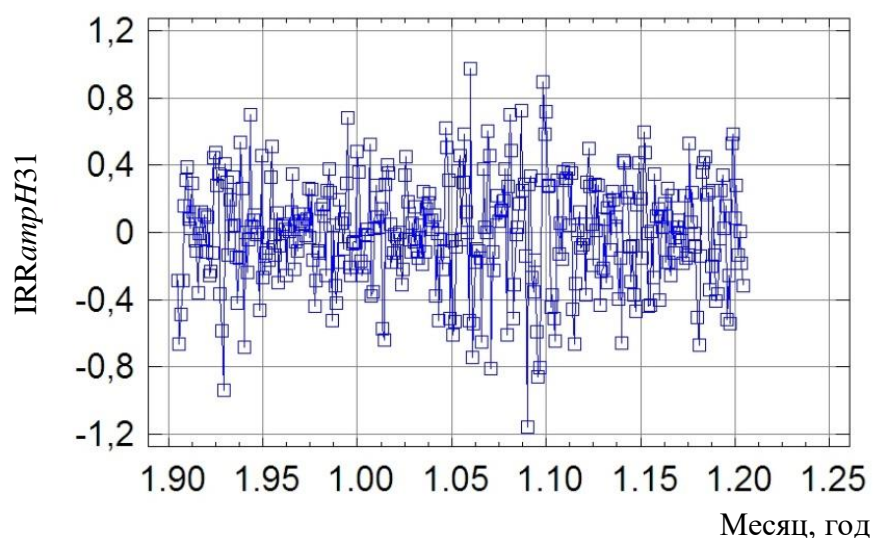
Рис. 5. Месячные индексы для рядов  $atrH$  разной длины

Рис. 6. Месячные индексы короткого (1990–1995 гг.) и длинного (1990–2020 гг.) рядов среднемесячных температур воздуха

Значения случайной компоненты ряда  $atrH$  колеблются в основном в диапазоне  $\pm 0,8$  (рис. 7). Моделью случайной компоненты 31-летнего ряда  $atrH$  служит уже неоднократно применявшийся нами ранее для более коротких рядов [1–9] комбинированный случайный процесс авторегрессии – скользящего среднего  $ARMA(p,q)$  [10], параметры  $p$  и  $q$  в котором означают порядок процессов авторегрессии и скользящего среднего.

Рис. 7. Случайная компонента ряда *амрН31* (1990–2020 гг.)

Общий вид модели:

$$X(t) = \sum_{i=1}^p \varphi_i \cdot X(t-i) + \varepsilon_t + \sum_{j=1}^q \theta_j \cdot \varepsilon_{t-j},$$

где  $\varepsilon_t$  – процесс белого шума (среднее  $M\varepsilon_t = 0$ , дисперсия  $D\varepsilon_t = 0$ );  $\varphi$  – авторегрессионные коэффициенты;  $\theta$  – коэффициенты скользящего среднего.

Адекватность описания случайного остатка 31-летнего ряда *амрН* достигается (при доверительной вероятности 90 %) при  $p = 2$  и  $q = 1$ , что соответствует короткой – около двух месяцев – «памяти» у исследуемой величины. Значения параметров  $p$  и  $q$  остались такими же, как для ряда длиной 30 лет (2010–2019 гг.), т. е.  $p = 2$  и  $q = 1$ , хотя для ряда длиной 29 лет (2010–2018 гг.) они были более значительными:  $p = 3$  и  $q = 2$ .

### ВЫВОДЫ

1. Поведение 31-летнего ряда наблюдений за показателем *pH* кислотности атмосферных осадков, выпадающих в Твери, показывает, что существенное снижение среднемесячных значений показателя практически прекратилось. В течение 4–5 последних лет (2015–2020 гг.) средние значения показателя кислотности *pH* колеблются в пределах 5,6–5,8, т. е. временной ряд стабилизировался.

2. Принятая с 26-летнего ряда кубическая модель тренда оказалась пригодной и для удлинившегося – 31-летнего – ряда.

3. Характер поведения циклической и случайной компонент 31-летнего ряда *pH* остался прежним, хотя значения параметров компонент незначительно изменились.

4. Внутригодовая динамика показателя *pH* стабилизировалась, однако за период наблюдений заметно изменились значения месячных индексов показателя *амрН*.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Качановский Ф.В. Динамика кислотности атмосферных осадков, выпадающих в Твери (статистический анализ) // *Вестник Тверского государственного технического университета*. 2009. Вып. 15. С. 199–203.

2. Качановский Ф.В. Кислотность атмосферных осадков, выпадающих в Твери (статистический анализ динамики) // *Вестник Тверского государственного технического университета*. 2012. Вып. 22. С. 82–87.
3. Качановский Ф.В. Связь кислотности атмосферных осадков, выпадающих в Твери, с температурой воздуха // *Вестник Тверского государственного технического университета*. 2013. Вып. 2 (24). С. 28–31.
4. Качановский Ф.В. Связь кислотности атмосферных осадков, выпадающих в Твери, с их количеством // *Вестник Тверского государственного технического университета*. 2015. Вып. 1 (27). С. 34–39.
5. Качановский Ф.В. Эволюция тренда и внутригодовой динамики кислотности осадков, выпадающих в Твери // *Вестник Тверского государственного технического университета*. 2016. Вып. 2 (30). С. 83–87.
6. Качановский Ф.В. Изменение оценок кислотности осадков, выпадающих в Твери, в результате удлинения ряда // *Вестник Тверского государственного технического университета*. 2017. Вып. 2 (32). С. 93–96.
7. Качановский Ф.В. Что происходит с кислотностью осадков, выпадающих в Твери? // *Вестник Тверского государственного технического университета*. 2018. Вып. 2 (34). С. 90–94.
8. Качановский Ф.В. Характер динамики кислотности осадков, выпадающих в Твери // *Строительство и землеустройство: проблемы и перспективы развития: материалы Всероссийской научно-практической конференции, 15 мая 2019 г.* Тверь: ТвГТУ, 2019. С. 59–65.
9. Качановский Ф.В. О кислотности осадков, выпадающих в Твери // *Вестник Тверского государственного технического университета. Серия «Строительство. Электротехника и химические технологии»*. 2020. № 2 (6). С. 66–75.
10. Тюрин Ю.Н., Макаров А.А. Статистический анализ данных на компьютере. М.: ИНФРА-М, 1998. 528 с.

#### СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРЕ

*КАЧАНОВСКИЙ* Феликс Вячеславович – доцент кафедры гидравлики, теплотехники и гидропривода, ФГБОУ ВО «Тверской государственный технический университет», 170026, г. Тверь, наб. Аф. Никитина, д. 22. E-mail: felix.kachanovscky@yandex.ru

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКАЯ ССЫЛКА

Качановский Ф.В. Поведение кислотности осадков, выпавших в Твери в 1990–2020 гг. // *Вестник Тверского государственного технического университета. Серия «Строительство. Электротехника и химические технологии»*. 2021. № 3 (11). С. 105–113.

---

### BEHAVIOUR OF THE PRECIPITATIONS ACIDITY IN TVER, 1990–2020

*F.V. Kachanovsky*  
*Tver State Technical University (Tver)*

**Abstract.** Analysis had made of dynamics of the precipitation acidity (atmospheric precipitation had fallen in Tver in 1990–2020 years). Time series models of the indicator *pH* were examined. Cubic and quadratic models have considered as adequate. Seasonal indices of the indicator *pH* preserved his character in spite of time series lengthening.



**Keywords:** acidity, acid rain, precipitation, model, time series, trend, cycle component, seasonal component, residuals, indicator  $pH$ .

### REFERENCES

1. Kachanovsky F.V. The dynamics of the acidity of precipitation in Tver (statistical analysis). *Vestnik Tverskogo gosudarstvennogo tehničeskogo universiteta*. 2009. Iss. 15, pp. 199–203. (In Russian).
2. Kachanovsky F.V. Acidity of atmospheric precipitation in Tver (statistical analysis of dynamics). *Vestnik Tverskogo gosudarstvennogo tehničeskogo universiteta*. 2012. Iss. 22, pp. 82–87. (In Russian).
3. Kachanovsky F.V. Relationship between the acidity of precipitation in Tver and air temperature. *Vestnik Tverskogo gosudarstvennogo tehničeskogo universiteta*. 2013. Iss. 2 (24), pp. 28–31. (In Russian).
4. Kachanovsky F.V. Relationship between the acidity of precipitation in Tver and their amount. *Vestnik Tverskogo gosudarstvennogo tehničeskogo universiteta*. 2015. Iss. 1 (27), pp. 34–39. (In Russian).
5. Kachanovsky F.V. Evolution of the trend and intra-annual dynamics of the acidity of precipitation in Tver. *Vestnik Tverskogo gosudarstvennogo tehničeskogo universiteta*. 2016. Iss. 2 (30), pp. 83–87. (In Russian).
6. Kachanovsky F.V. Changes in the estimates of the acidity of precipitation in Tver as a result of lengthening the series. *Vestnik Tverskogo gosudarstvennogo tehničeskogo universiteta*. 2017. Iss. 2 (32), pp. 93–96. (In Russian).
7. Kachanovsky F.V. What happens to the acidity of precipitation in Tver? *Vestnik Tverskogo gosudarstvennogo tehničeskogo universiteta*. 2018. Iss. 2 (34), pp. 90–94. (In Russian).
8. Kachanovsky F.V. The nature of the dynamics of the acidity of precipitation falling in Tver. *Construction and Land Management: Problems and Development Prospects: Materials of the All-Russian Scientific and Practical Conference*. Tver: TvGTU, 2019, pp. 59–65. (In Russian).
9. Kachanovsky F.V. On the acidity of precipitation in Tver. *Vestnik Tverskogo gosudarstvennogo tehničeskogo universiteta. Seriya «Stroitel'stvo. Elektrotehnika i himičeskie tehnologii»*. 2020. No. 2 (6), pp. 66–75. (In Russian).
10. Tyurin Yu.N., Makarov A.A. Statistical analysis of data on a computer. M.: INFRA-M, 1998. 528 p. (In Russian).

### INFORMATION ABOUT THE AUTHOR

*KACHANOVSKY Felix Vjacheslavovich* – Associate Professor of the Department of Hydraulics, Heat Engineering and Hydraulic Drive, Tver State Technical University, 22, embankment of Af. Nikitin, Tver, 170026, Russia. E-mail: felix.kachanovscky@yandex.ru

### CITATION FOR AN ARTICLE

Kachanovsky F.V. Behaviour of the precipitations acidity in Tver, 1990–2020 // *Vestnik of Tver State Technical University. Series «Building. Electrical engineering and chemical technology»*. 2021. No. 3 (11), pp. 105–113.