

МАТЕМАТИЧЕСКИЕ И ИНСТРУМЕНТАЛЬНЫЕ МЕТОДЫ В ЭКОНОМИКЕ

УДК 338.27

JEL C 53

АДАПТИВНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ И ПРОГНОЗИРОВАНИЕ СЕЗОННЫХ ЯВЛЕНИЙ НА БАЗЕ МУЛЬТИПЛИКАТИВНОЙ МОДЕЛИ

Савинская Дина Николаевна, канд. экон. наук, доц.
Маслакова Полина Ильинишна, маг.

Кубанский государственный аграрный университет им. И.Т. Трубилина, ул. Калинина, 13, Краснодар, Россия, 350044; e-mail: savi_dinki@mail.ru; polinka.maslakova@gmail.com

Предмет: в силу естественных процессов роста мирового населения и температуры на планете возникает проблема нехватки воды. Теперь уже на бирже водный ресурс выступает наравне с нефтью, газом, золотом и прочим. Появление фьючерсов на воду взорвало мировое сообщество, выведя столь актуальную проблему из разряда не только экологических, но и экономических. *Цель:* в связи с этим возникает острая необходимость выбора адекватного инструментария для прогнозирования спроса на воду, который связан с климатом и периодичностью, а вследствие этого в качестве математического инструментария авторами предложены адаптивные модели сезонных явлений, а в качестве объекта исследования – временной ряд ежемесячных продаж питьевой воды. *Дизайн исследования:* регулирование неравномерно распределённого жизненно важного ресурса требует в сложившейся ситуации привлечения экономико-математического аппарата с целью оперативного решения вопросов моделирования и прогнозирования поведения рынка воды в целом и его отдельных составляющих. В связи с обозначенной проблемой авторами рассмотрен прогностический потенциал адаптивной модели как эффективного инструментария краткосрочного прогнозирования объемов потребления воды в ПЭТ-бутылках по Краснодарскому краю. *Результаты:* результатом исследования является построение адаптивной модели, которая демонстрирует минимальные значения максимальной относительной ошибки прогноза и позволяет на своей основе получать близкую к реальной экстраполяцию динамики потребления воды в исследуемом временном ряду.

Ключевые слова: временной ряд, прогнозирование, динамическое прогнозирование, адаптивные методы, мультипликативная модель.

DOI: 10.17308/meps/2078-9017/2022/7/8-16

Введение

В современных экологических реалиях такой жизненно важный ресурс, как вода, присоединился к драгоценным металлам, нефти, газу и прочим товарно-материальным лотам, которые торгуются на сырьевой бирже.

Уже в конце 2020 года, когда природные катаклизмы прошли по западному побережью США, появились первые в своём роде контракты на воду. При этом фьючерсные контракты выступают инструментом страхования для таких потребителей воды, как фермерские хозяйства и электроэнергетические корпорации, то есть в ситуации с резким подорожанием воды владельцы фьючерсов на воду получают сокращающую расходы денежную компенсацию.

В ООН уже давно ведётся предупредительная пропаганда о неблагоприятном антропогенном влиянии на климат, которое обуславливает пиковые показатели по засухам и наводнениям, что в свою очередь накладывает непредсказуемый характер на доступность воды в различных регионах мира. Руководитель отдела индексации акций и альтернативных инвестиционных продуктов СМЕ Тим Маккорт отметил в своём интервью Bloomberg, что на данный момент испытывающих проблемы с нехваткой воды около двух миллиардов человек. Всего же такая проблема охватывает 80 государств мира. В связи с этим прогнозирование и управление рисками, связанными с водой, приобретают актуальное значение.

К тому же фьючерсы на воду – это не так уж цинично и не связано со страхами, что цены на воду будут регулировать биржевые спекулянты, а впереди весь мир ждёт повсеместная засуха и дефицит воды. Нет, контракты на воду – это, скорее, возможность хеджировать риски и нивелировать затраты в засушливые периоды. Совершенно очевидно, что это только начало эры глобальных рыночных отношений по воде.

Методология исследования

В связи с этим возникает проблема выбора подходящего инструментария для прогнозирования такого важного аспекта, как спрос на воду. Так как засушливые периоды связаны с климатом и периодичностью, то в основу данного исследования положены адаптивные модели сезонных явлений. В качестве объекта исследования выступает временной ряд ежемесячных продаж питьевой воды (в девятнадцатилитровых ПЭТ-бутылках) по Краснодарскому краю за период 2015-2020 гг.

Динамическое прогнозирование

В ранних исследованиях [1] проведён предпрогнозный анализ иссле-

двумя временными рядами и выявлено наличие тренда и сезонной компоненты. В связи с этим рассмотрим прогностические возможности адаптивной модели, а именно адаптивной модели с линейным трендом и аддитивной сезонной компонентой на базе временного ряда объёмов продаж воды.

Механизм расчётов обозначим следующим формульным набором [2]:

Модель с аддитивным коэффициентом сезонности:

$$x_{t+\tau} = a_{1t} + \tau a_{2t} + g_{t-l+\tau} + \varepsilon_{t+\tau}, \quad (1)$$

где a_{1t} – коэффициент, изменения которого описывают динамику исследуемого процесса; g_t – адаптивные коэффициенты сезонности; ε_t – случайная составляющая; l – фазы цикла.

Текущие оценки коэффициентов

$$\widehat{a}_{1t} = \alpha_1 \frac{x_t}{\widehat{f}_{t-1}} + (1 - \alpha_1)(\widehat{a}_{1t-1} + \widehat{a}_{2t-1}), 0 < \alpha_1 < 1, \quad (2)$$

$$\widehat{f}_{t-l+\tau} = \alpha_2 \frac{x_t}{\widehat{a}_{1t}} + (1 - \alpha_2)\widehat{f}_{t-1}, 0 < \alpha_2 < 1, \quad (3)$$

$$\widehat{a}_{2t} = \alpha_3(\widehat{a}_{1t} - \widehat{a}_{1t-1}) + (1 - \alpha_3)\widehat{a}_{2t-1}, 0 < \alpha_3 < 1, \quad (4)$$

$$\widehat{x}_\tau(t) = (\widehat{a}_{1t} + \tau \widehat{a}_{2t})\widehat{f}_{t-l+\tau}, \quad (5)$$

где во всех расчетах реализована процедура экспоненциального сглаживания, при этом $\widehat{f}_{t-l+\tau}$ – коэффициенты сезонности.

Динамика исследуемого временного ряда представлена на рисунке 1.

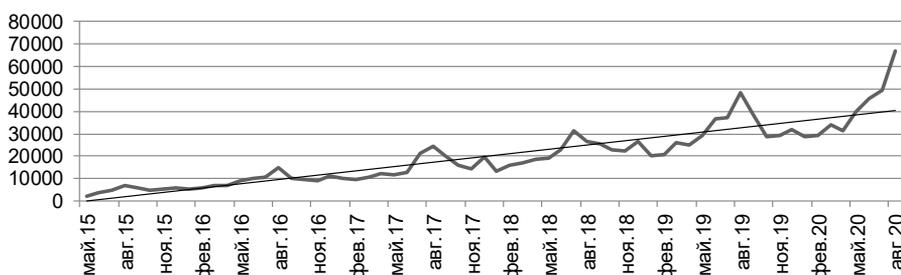


Рис. 1. Потребление минеральной питьевой воды по Краснодарскому краю за период с мая 2015 по август 2020 г., (ПЭТ-бутыли)

Разделим представленный ряд наблюдений на три части, где первая часть выступит основой для построения тренда и определения сезонной компоненты, вторая послужит для настройки параметров адаптации, третья выступит контрольной группой.

Далее с помощью метода наименьших квадратов составим уравнение тренда $x_t = 568,95t + 1684,01$ и вычислим расчетные значения:

$$\widehat{x}_1 = 568,95 * 1 + 1684,01 = 2252,96,$$

... ..

$$\widehat{x}_{52} = 568,95 * 52 + 1684,01 = 31269,4.$$

С помощью деления исходных значений на расчетные выделяем сезонную компоненту:

$$\widetilde{x}_1 = \frac{2095}{2252,96} = 0,93,$$

... ..

$$\widetilde{x}_{52} = \frac{48117}{31269,4} = 1,539,$$

а также усреднённые значения сезонности

$$f_{11} = \frac{(0,93 + 1,37)}{2} = 1,150,$$

$$f_{42} = \frac{(1,539 + 1,196)}{2} = 1,367.$$

На основании второй части исследуемого ряда (показания потребления воды с января 2017 по август 2019 года) проведём адаптивную настройку прогнозной модели по формулам 2-4. При этом параметры адаптации подобраны с учётом минимизации максимальной относительной ошибки, которая составила $\delta = -12,66$, что было достигнуто при $\alpha_1 = 0,2, \alpha_2 = 0,85, \alpha_3 = 0,09$. Результаты расчётов приведены в таблице 1.

Таблица 1

Промежуточные расчёты параметров адаптивной прогнозной модели потребления воды

№	Период	Фактическое потребление	\widehat{a}_{1t}	$\widehat{f}_{t-l+\tau}$	\widehat{a}_{2t}
21	янв. 17	10083	3556,02105	2,583	686,226
22	фев. 17	9625	4577,850	0,820	716,430
23	мар. 17	10683	6166,880	0,781	794,964
24	апр. 17	12400	8298,778	0,823	915,288
25	май 17	11629	10271,633	0,742	1010,469
26	июнь 17	12820	12111,829	0,786	1085,144
27	июль 17	21159	14663,104	1,210	1217,096
28	авг. 17	24265	17337,864	1,328	1348,286
29	сен. 17	20425	18494,151	1,128	1331,006
30	окт. 17	15956	20024,957	0,838	1348,988
31	ноя. 17	14162	20650,641	0,743	1283,891
32	дек. 17	19935	22641,667	0,969	1347,533
33	янв. 18	13206	22296,291	0,676	1195,171

Окончание табл. 1

№	Период	Фактическое потребление	\widehat{a}_{1t}	$\widehat{f}_{t-l+\tau}$	\widehat{a}_{2t}
34	фев. 18	16205	21612,818	0,827	1026,093
35	мар. 18	17164	21389,294	0,833	913,628
36	апр. 18	18825	22181,587	0,852	902,707
37	май 18	19371	22949,625	0,854	890,587
38	июнь 18	22897	24610,260	0,959	959,891
39	июль 18	31425	27263,866	1,257	1112,326
40	авг. 18	26485	27059,365	1,103	993,811
41	сен. 18	25280	26139,944	1,064	821,620
42	окт. 18	22782	27099,815	0,881	834,063
43	ноя. 18	22088	27991,305	0,835	839,231
44	дек. 18	26479	29290,044	0,970	880,587
45	январ. 19	20128	27638,750	0,799	652,718
46	фев. 19	20574	26562,619	0,785	497,121
47	мар. 19	26014	27644,140	0,908	549,717
48	апр. 19	24822	28298,563	0,857	559,141
49	май 19	29276	30167,140	0,966	676,990
50	июнь 19	36790	32645,294	1,176	839,095
51	июль 19	37139	32899,161	1,211	786,424
52	авг. 19	48117	33985,966	1,513	813,459

Таким образом, итоговая прогнозная модель (5) выглядит следующим образом:

$$x_{t+\tau} = (33986 + 813\tau)f_{t-l+\tau}.$$

На её основании рассчитаем прогнозные значения потребления воды и сравним с фактическими из третьей части исходного ряда. Расчёты представлены в таблице 2:

Таблица 2

Результаты расчётов прогнозных оценок потребления воды

№	Период	Фактическое потребление	\widehat{f}_t	Прогнозные значения	$\delta_t, \%$
53	сен. 19	38082	1,196	37035,65	2,75
54	окт. 19	28743	0,887	31360,93	-9,11
55	ноя. 19	29141	0,884	30430,52	-4,43
56	дек. 19	32063	0,956	36122,59	-12,66
57	январ. 20	28748	0,843	30420,35	-5,82
58	фев. 20	29289	0,844	30505,66	-4,15
59	мар. 20	34038	0,966	36032,05	-5,86
60	апр. 20	31557	0,881	34717,42	-10,01
61	май 20	39737	1,092	39894,16	-0,40
62	июнь 20	45611	1,234	49547,07	-8,63
63	июль 20	49524	1,320	51974,44	-4,95
64	авг. 20	66817	1,754	66193,72	0,93

Результаты наглядно демонстрируют достаточно высокую точность полученных расчетных оценок потребления воды, то есть построенная прогнозная модель адекватна и отражает сезонный характер исследуемого ряда.

Заключение

Таким образом подытожим, что современные тенденции развития ресурсного рынка добавили актуальности вопросам не только долгосрочного планирования и прогнозирования, но и краткосрочного на базе адаптированных моделей. Новые экономические активы расширили область практического применения моделей этого типа, достигших за последнее десятилетие довольно высокого совершенства.

При достаточно минимальных значениях максимальной относительной ошибки прогноза, полученных в исследовании, можно сделать вывод о том, что на основе построенной адаптивной модели получается близкая к реальной экстраполяция динамики потребления воды в исследуемом временном ряду.

Список источников

1. Бакурова Т.М., Тинякова В.И. Адаптивно-рациональный подход к прогнозированию доходности финансовых активов // *Ученые записки Орловского государственного университета. Серия: Гуманитарные и социальные науки*, 2011, no. 4 (42), с. 10-14.
2. Савинская Д.Н., Великанова Л.О., Дунская Л.К., Попова М.И. Предпрогнозный анализ временного ряда с выявлением тренд-сезонных компонент методом Четверикова с использованием средств MS EXCEL // *Современная экономика: проблемы и решения*, 2020, no. 10 (130), с. 18-25.
3. A perspective algorithm of economic and legal management of the modern economic systems' innovative development. Stolyarov Leonid V., Savinskaya Dina N., Weisman Camila I., Saraldaeve Tatiana P., Safronova Ekaterina S. // *The Economic and Legal Foundations of Managing Innovative Development in Modern Economic Systems*, 26 October 2020, pp. 161-168.
4. «Digital trade union» in the personnel motivation system. Dzhulai O.A., Savchenko O.G., Savinskaya D.N. // *Lecture Notes in Networks and Systems*, 2021, T. 161 LNNS, pp. 170-174.
5. Kumratova A. A hybrid approach of fractal and linguistic forecasting of winter wheat yields in southern Russia / Kumratova Alfira, Popova Elena, Costa Luis de Sousa // *Indo American journal of pharmaceutical sciences*, 2019, t. 6, вып. 3, pp. 5299-5303.
6. Kumratova A. Hybrid instrumental means of predictive analysis of the dynamics of natural and economic processes / Popova E., Costa L. de S., Kumratova A. // *Advances in Intelligent Systems and Computing*, 2019, vol. 923, pp. 31-39.
7. Kumratova A.M., Popova E.V., Piterskaya L.Y. Application of nonlinear dynamics methods for predictive testing the economic time series data // *Indo American Journal of Pharmaceutical Sciences*, 2019, t. 6, вып. 3, pp. 5598-5602.
8. Logistic systems with reverse for optimization and decision support Ziroyan, Many. Popova Elena, Savinskaya Dina, Tinyakova Victoria. View Web of Science Researcher ID and ORCID (provided by Clarivate) // *Indo american journal of pharmaceutical sciences*, Vol. 6, Iss. 3, pp. 5579-5583.
9. Pereira J.P., Zamotajlova D., Popova E. 2021 Development of an effective method of tariff formation for rural areas: the case of Russian Federation // *Wireless Networks*, no. 27(5), pp. 3647-3653.
10. Trend-seasonal components identification at the stage of time series pre-forecasting analysis. Savinskaya D.N. От-

править почту на адрес Savinskaya D.N., Popova E.V., Kondratev V.U., Popova M.I. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science Открытый доступ-Том 786, Выпуск 18 June 2021. Номер статьи 0120123rd. International Scientific Conference on Mathematical Modeling of Technical and Economic Systems in Agriculture, MMTES 2020 Volgograd, Virtual10 December 2020 до 11 December 2020. Код 169647.

11. Zamotajlova D.A., Popova E.V.,

Gorkavoj P.G., Popova M.I. Prospects for the development of the experts' competence assessing tools as one of the TOPSIS method stages IOP // *Conf. Ser.: Earth and Environ*, 2021, Sci. 786 (1), 012008.

12. Zamotajlova D., Popova E., Tambieva J., Erkenova M. Compromise between price and tariff setting as the basis to develop the rural housing services // *Indo American Journal of Pharmaceutical Sciences*, 2019, no. 6(3), pp. 5630-5634.

ADAPTIVE MODELING AND FORECASTING OF SEASONAL PHENOMENA BASED ON A MULTIPLICATIVE MODEL

Savinskaya Dina Nikolaevna, Cand. Sci. (Econ.), Assoc. Prof.

Maslakova Polina Ilinichna, M.Sc.

Kuban state agrarian University, named after I. T. Trubilin, Kalinina, 13, Krasnodar, Russia, 350044; e-mail: savi_dinki@mail.ru; polinka.maslakova@gmail.com

Importance: due to the natural processes of growth of the world population and temperature on the planet there is a problem of water shortage. Now on the stock exchange, the water resource is on a par with oil, gas, gold and so on. The emergence of water futures blew up the world community, removing such an urgent problem from the category of not only environmental, but also economic. *Purpose:* in this regard, there is an urgent need to select adequate tools for forecasting water demand, which is associated with climate and periodicity, and as a result of this, as a mathematical toolkit, the authors proposed adaptive models of seasonal phenomena, and as an object of research – time series of monthly sales of drinking water. *Research design:* regulation of an unevenly distributed vital resource requires in the current situation the involvement of the economic and mathematical apparatus in order to promptly solve the issues of modeling and forecasting the behavior of the water market as a whole and its individual components. In connection with the indicated problem, the authors considered the prognostic potential of the adaptive model as an effective toolkit for short-term forecasting the volume of water consumption in PET bottles in the Krasnodar Territory. *Results:* the result of the study is the construction of an adaptive model that demonstrates the minimum values of the maximum relative error of the forecast and allows on its basis to obtain a close to real extrapolation of the dynamics of water consumption in the studied time series.

Keywords: time series, forecasting, dynamic forecasting, adaptive methods, multiplicative model.

References

1. Bakurova T.M., Tinyakova V.I. Adaptivno-ratsional'nyy podkhod k prognozirovaniyu dokhodnosti finansovykh aktivov. *Uchenyye zapiski Orlovskogo gosudarstvennogo universiteta* [Adaptive-rational approach to forecasting the profitability of financial assets. Scientific notes of the Orel State University]. *Series: Humanities and Social Sciences*, 2011, no. 4 (42), pp. 10-14. (In Russ.)
2. Savinskaya D.N., Velikanova L.O., Dunskey L.K., Popova M.I. Predprognoznyy analiz vremennogo ryada s vyavleniyem trend-sezonnykh komponent metodom Chetverikova s ispol'zovaniyem sredstv MS EXCEL. *Sovremennaya ekonomika: problemy i resheniya* [Pre-forecast analysis of a time series with identification of trend-seasonal components by the Chetverikov method using MS Excel tools Modern

Economy: problems and solutions], 2020, no. 10 (130), pp. 18-25. (In Russ.)

3. A promising algorithm of economic and legal management of innovative development of modern economic systems. Stolyarov Leonid V., Savinskaya Dina N., Vaisman Kamila I., Saraldaeva Tatiana P., Safronova Ekaterina S. *Economic and legal foundations of innovative development management in modern economic Systems*, 26 October 2020, pp. 161-168.

4. «Digital trade union» in the personnel motivation system. July O.A., Savchenko O.G., Savinskaya D.N. *Lecture notes on networks and systems*, 2021, Vol. 161 LNNS, pp. 170-174.

5. Kumratova A. Hybrid approach of fractal and linguistic forecasting of winter wheat yield in the south of Russia / Kumratova Alfira, Popova Elena, Costa Luis de Souza. *Indo-American Journal of Pharmaceutical Sciences*, 2019, t. 6, vyp. 3, pp. 5299-5303.

6. Kumratova A. Hybrid tools for predictive analysis of the dynamics of natural and economic processes / Popova E., Costa L. de S., Kumratova A. *Achievements in the field of intelligent systems and computing*, 2019, vol. 923, pp. 31-39.

7. Kumratova A.M., Popova E.V., Piterskaya L.Yu. Application of nonlinear dynamics methods for predictive testing of economic time series data. *Indo-American Journal of Pharmaceutical Sciences*, 2019, t. 6, vyp. 3, pp. 5598-5602.

8. Logistics systems with reverse for optimization and decision support Ziroyan, Many; Popova, Elena; Savinskaya, Dina;

Tinyakova, Victoria. View Web of Science Researcher ID and ORCID (provided by Clarivate). *Indo american journal of pharmaceutical sciences*, Vol. 6, Iss. 3, pp. 5579-5583.

9. Pereira J.P., Zamotailova D., Popova E. 2021. Development of an effective method of forming tariffs for rural areas: on the example of the Russian Federation. *Wireless networks*, no. 27(5) pp. 3647-3653

10. Identification of trend-seasonal components at the stage of pre-forecast analysis of time series. Savinskaya D.N. Send mail to the address Savinskaya D.N., Popova E.V., Kondratiev V.U., Popova M.I. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science Open Access No. 786, Issue June 18, 2021 Article number 0120123rd International Scientific Conference on Mathematical Modeling of Technical and Economic Systems in Agriculture, MMTES 2020 Volgograd, Virtual10 December 2020 to 11 December 2020 Code 169647.

11. Zamotailova D.A., Popova E. V., Gorkavoy P.G., Popova M.I. Prospects for the development of expert competence assessment tools until 2021 as one of the stages of the TOPSIS IOP. *Conf. Ser.: Earth and Environment*, Sci. 786 (1), 012008.

12. Zamotailova D., Popova E., Tambieva J., Erkenova M. 2019 Compromise between setting prices and tariffs as a basis for the development of rural housing services. *Indo-American Journal of Pharmaceutical Sciences*, no. 6(3), pp. 5630-5634.