Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования
«Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана
(национальный исследовательский университет)»
(МГТУ им. Н.Э. Баумана)

Факультет «Информатика и системы управления»

Кафедра «Системы обработки информации и управления»

Отчет по ЛР6

«Анализ и прогнозирование временного ряда»

по дисциплине «Технологии машинного обучения»

Выполнил:
студент группы ИУ5-63Б
М.В. Дудник

Проверил:
Гапанюк Ю.Е.

2022 г.

Описание задания:

1. Выберите набор данных (датасет) для решения задачи прогнозирования временного ряда.
2. Визуализируйте временной ряд и его основные характеристики.
3. Разделите временной ряд на обучающую и тестовую выборку.
4. Произведите прогнозирование временного ряда с использованием как минимум двух методов.
5. Визуализируйте тестовую выборку и каждый из прогнозов.
6. Оцените качество прогноза в каждом случае с помощью метрик.

Лабораторная работа №6: "Анализ и прогнозирование временного ряда".

In [2]:
```
import numpy as np
import pandas as pd
from matplotlib import pyplot
import matplotlib.pyplot as plt
from statsmodels.tsa.seasonal import seasonal_decompose
from sklearn.metrics import mean_absolute_error, mean_squared_error, r2_score
from statsmodels.tsa.arima.model import ARIMA
from sklearn.model_selection import GridSearchCV
from gplearn.genetic import SymbolicRegressor
from statsmodels.graphics.tsaplots import plot_acf, plot_pacf
```

Использован датасет, содержащий данные об изменении численности населения: https://www.kaggle.com/datasets/census/population-time-series-data?datasetId=51748&sortBy=voteCount

In [4]:
```
data = pd.read_csv('POP.csv')
data.head()
```

Out[4]:

	realtime_start	value	date	realtime_end
0	2019-12-06	156309.0	1952-01-01	2019-12-06
1	2019-12-06	156527.0	1952-02-01	2019-12-06
2	2019-12-06	156731.0	1952-03-01	2019-12-06
3	2019-12-06	156943.0	1952-04-01	2019-12-06
4	2019-12-06	157140.0	1952-05-01	2019-12-06

Проигнорируем данные о реальном времени, поскольку мы концентрируемся только на диапазоне дат, в котором меняется население.

In [5]:
```
data = data.drop(['realtime_start','realtime_end'],axis=1)
```

In [6]:
```
"""Преобразование столбца даты в объект datetime и установка его в качестве индекса"""
data['date'] = pd.to_datetime(data['date'])
data.set_index('date',inplace=True)
data.head()
```

Out[6]:

	value
date	
1952-01-01	156309.0
1952-02-01	156527.0
1952-03-01	156731.0
1952-04-01	156943.0
1952-05-01	157140.0

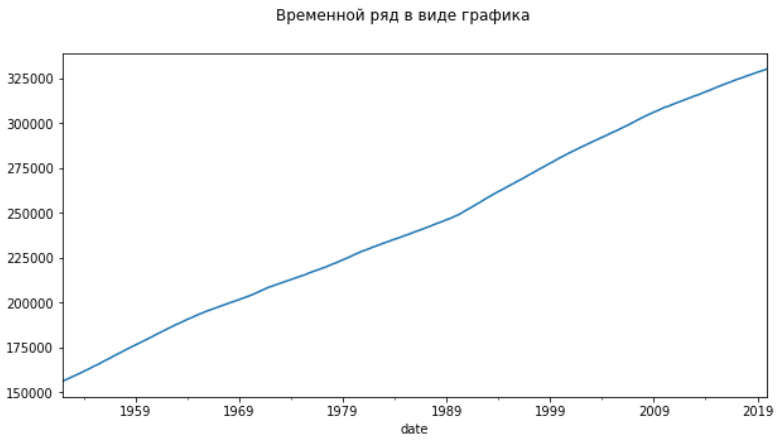
In [7]:
```
data.describe()
```

Out[7]:

	value
count	816.000000
mean	243847.767826
std	50519.140567
min	156309.000000
25%	201725.250000
50%	239557.500000
75%	289364.250000
max	330309.946000

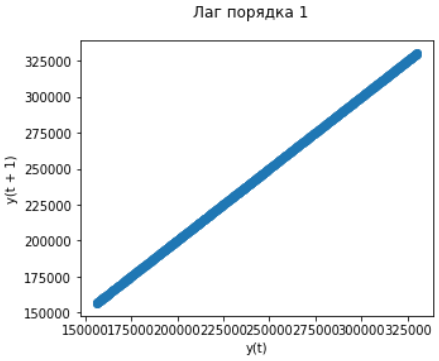
Визуализация временного ряда

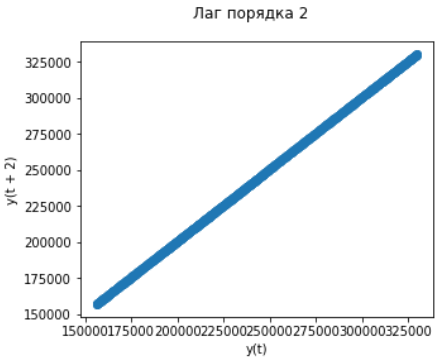
In [8]:
```
fig, ax = pyplot.subplots(1, 1, sharex='col', sharey='row', figsize=(10,5))
fig.suptitle('Временной ряд в виде графика')
data.plot(ax=ax, legend=False)
pyplot.show()
```

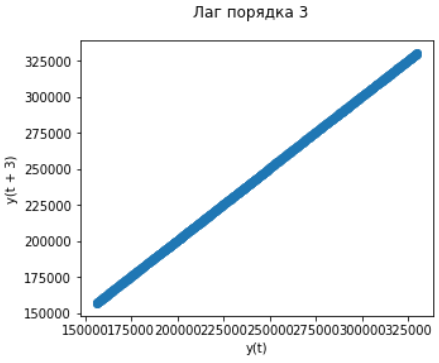


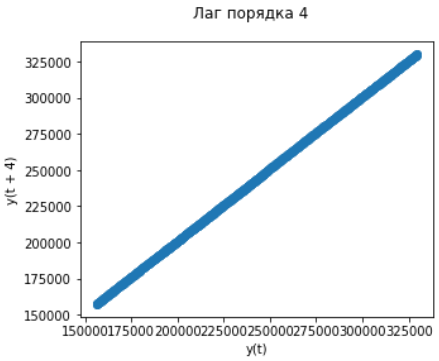
In [9]:

```
for i in range(1, 5):
    fig, ax = pyplot.subplots(1, 1, sharex='col', sharey='row', figsize=(5,4))
    fig.suptitle(f'Лаг порядка {i}')
    pd.plotting.lag_plot(data, lag=i, ax=ax)
    pyplot.show()
```

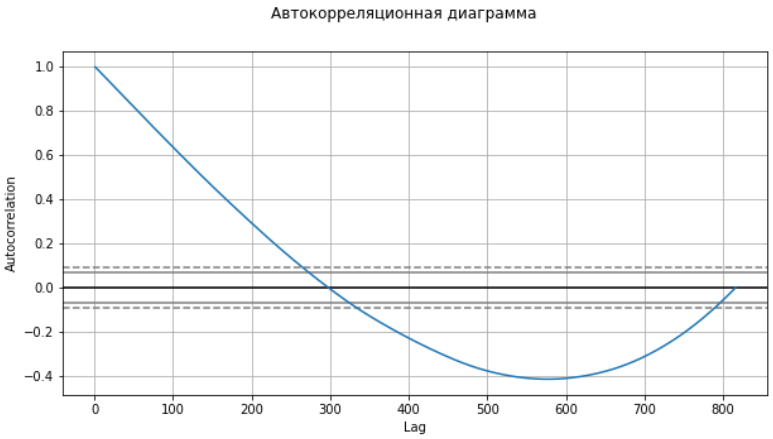






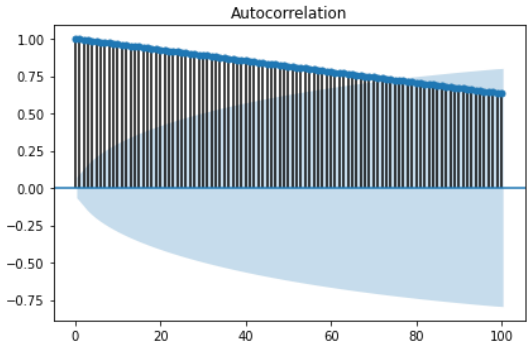


In [10]:
```
fig, ax = pyplot.subplots(1, 1, sharex='col', sharey='row', figsize=(10,5))
fig.suptitle('Автокорреляционная диаграмма')
pd.plotting.autocorrelation_plot(data, ax=ax)
pyplot.show()
```



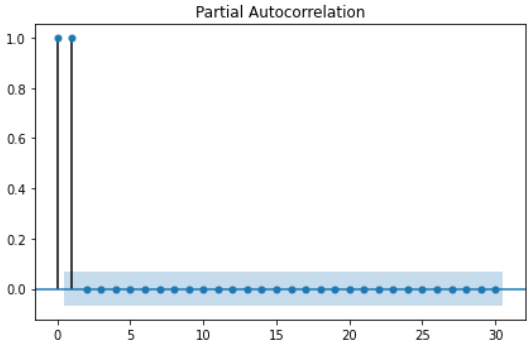
Автокорреляционная функция

In [42]:
```
plot_acf(data, lags=100)
plt.tight_layout()
```



Частичная автокорреляционная функция

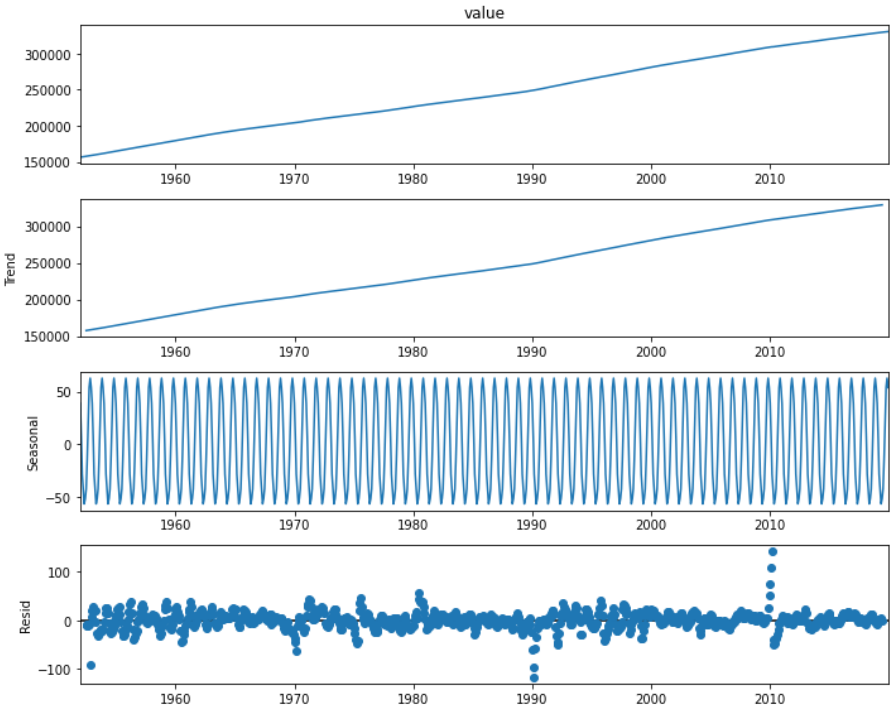
In [40]:
```
plot_pacf(data, lags=30)
plt.tight_layout()
```



Декомпозиция временного ряда

In [14]:
```
decomposed = seasonal_decompose(data['value'], model = 'add')
fig = decomposed.plot()
```

```
fig.set_size_inches((10, 8))
fig.tight_layout()
plt.show()
```



Наблюдается положительная динамика с 1952 по 2019 год.

Разделение временного ряда на обучающую и тестовую выборку

In [15]:
```
data_2 = data.copy()
```

In [16]:
```
# Целочисленная метка шкалы времени
xnum = list(range(data_2.shape[0]))
# Разделение выборки на обучающую и тестовую
Y = data_2['value'].values
train_size = int(len(Y) * 0.7)
xnum_train, xnum_test = xnum[0:train_size], xnum[train_size:]
train, test = Y[0:train_size], Y[train_size:]
history_arima = [x for x in train]
```

Прогнозирование временного ряда авторегрессионным методом (ARIMA)

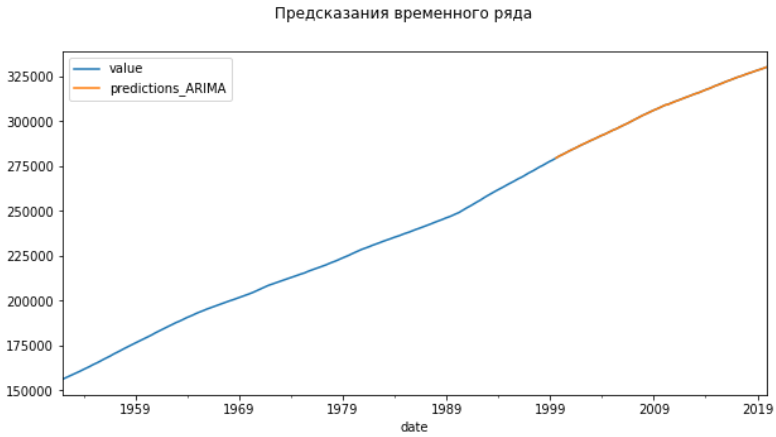
In [17]:
```
# Параметры модели (p,d,q)
arima_order = (2,1,0)
# Формирование предсказаний
predictions_arima = list()
for t in range(len(test)):
    model_arima = ARIMA(history_arima, order=arima_order)
    model_arima_fit = model_arima.fit()
    yhat_arima = model_arima_fit.forecast()[0]
    predictions_arima.append(yhat_arima)
    history_arima.append(test[t])
# Вычисление метрики RMSE
error_arima = mean_squared_error(test, predictions_arima, squared=False)
```

In [18]:
```
# Ошибка прогноза
np.mean(Y), error_arima
```

Out[18]: (243847.7678259804, 24.173499535797916)

In [19]:
```
# Записываем предсказания в DataFrame
data_2['predictions_ARIMA'] = (train_size * [np.NAN]) + list(predictions_arima)
```

In [20]:
```
fig, ax = pyplot.subplots(1, 1, sharex='col', sharey='row', figsize=(10,5))
fig.suptitle('Предсказания временного ряда')
data_2.plot(ax=ax, legend=True)
pyplot.show()
```



In [21]:
```
fig, ax = pyplot.subplots(1, 1, sharex='col', sharey='row', figsize=(10,5))
fig.suptitle('Предсказания временного ряда (тестовая выборка)')
data_2[train_size:].plot(ax=ax, legend=True)
pyplot.show()
```

Прогнозирование временного ряда методом символьной регресии

In [22]:
```
function_set = ['add', 'sub', 'mul', 'div', 'sin']
SR = SymbolicRegressor(population_size=500, metric='mse',
                               generations=70, stopping_criteria=0.01,
                               init_depth=(4, 10), verbose=1, function_set=function_set,
                               const_range=(-100, 100), random_state=0)
```

In [23]:
```
SR.fit(np.array(xnum_train).reshape(-1, 1), train.reshape(-1, 1))
```

```
/usr/local/lib/python3.7/dist-packages/sklearn/utils/validation.py:993: DataConversionWarning: A column-vector y was passed when a 1d array was
expected. Please change the shape of y to (n_samples, ), for example using ravel().
  y = column_or_1d(y, warn=True)
    |   Population Average    |             Best Individual              |
---- ------------------------- ------------------------------------------ ----------
 Gen   Length          Fitness   Length          Fitness      OOB Fitness  Time Left
   0   263.65       2.43463e+63       23       7.14077e+09              N/A      2.77m
   1   130.98       5.77055e+16       43       6.06688e+09              N/A      1.13m
   2    53.10       4.58992e+15       34       3.54847e+09              N/A     39.70s
   3    34.28       1.99853e+19       13       1.42699e+09              N/A     32.05s
   4    35.05       2.10424e+16       38       1.04052e+09              N/A     31.71s
   5    30.47       2.56729e+16       36       4.29436e+08              N/A     29.49s
   6    31.30       3.00498e+16       50       6.39791e+07              N/A     30.52s
   7    38.37       8.59782e+15       35       1.51165e+07              N/A     30.47s
   8    43.37       5.29474e+15       47       4.76034e+06              N/A     30.80s
   9    37.70       8.42452e+15       35       4.14545e+06              N/A     27.96s
  10    40.68       5.69103e+15       32       3.65059e+06              N/A     30.63s
  11    45.38       5.71108e+15       29       3.65015e+06              N/A     29.93s
  12    41.36       5.72894e+15       29       3.65015e+06              N/A     29.92s
  13    35.07       3.58233e+15       29       3.65015e+06              N/A     25.72s
  14    33.33       8.46569e+15       35       3.53261e+06              N/A     25.03s
  15    31.43       3.14997e+19       35       3.53261e+06              N/A     24.63s
  16    30.19       1.42657e+16       35       3.53261e+06              N/A     22.80s
  17    30.81       2.81228e+15       35       3.53261e+06              N/A     24.42s
  18    33.31       5.72757e+15       35       3.53261e+06              N/A     23.06s
  19    33.71       1.26632e+16       35       3.50395e+06              N/A     22.17s
  20    34.95       1.70198e+16       35       3.50395e+06              N/A     22.53s
  21    42.21       6.70957e+15       35       3.50395e+06              N/A     24.04s
  22    54.68       6.78469e+15       35       3.50395e+06              N/A     24.09s
  23    50.99       6.47928e+18      102       3.50387e+06              N/A     23.79s
  24    42.69       8.57551e+15       71       3.50376e+06              N/A     20.67s
  25    59.07       6.73374e+21       85       3.49756e+06              N/A     23.04s
  26    89.07       1.51918e+25       85       3.49756e+06              N/A     26.59s
  27   100.70       2.98833e+18       91       3.48956e+06              N/A     28.13s
  28   120.58       7.92131e+23       91       3.48956e+06              N/A     31.64s
  29   142.26       1.91023e+18      127       3.48498e+06              N/A     33.27s
  30   116.37        6.9315e+21       54       3.46676e+06              N/A     35.69s
```

31	103.96	2.33782e+22	54	3.46676e+06	N/A	34.64s
32	107.16	2.82439e+18	54	3.46676e+06	N/A	26.50s
33	110.56	4.95099e+26	112	3.45858e+06	N/A	25.78s
34	94.20	1.96986e+18	114	3.45249e+06	N/A	22.81s
35	77.71	6.0703e+15	133	3.43034e+06	N/A	19.76s
36	111.25	5.62717e+15	79	3.42948e+06	N/A	23.33s
37	142.44	1.4552e+18	246	3.41658e+06	N/A	24.40s
38	171.28	3.11029e+19	187	3.36822e+06	N/A	26.25s
39	197.58	2.8446e+16	187	3.36419e+06	N/A	27.93s
40	213.08	1.12226e+16	212	3.35931e+06	N/A	28.03s
41	193.33	7.07447e+17	181	3.35563e+06	N/A	25.74s
42	200.58	9.48793e+19	308	3.25166e+06	N/A	25.51s
43	203.16	6.9535e+17	308	3.24914e+06	N/A	24.90s
44	271.65	2.48275e+15	434	3.17665e+06	N/A	28.32s
45	340.95	1.45248e+18	434	3.17665e+06	N/A	31.87s
46	407.23	2.9286e+14	874	3.13466e+06	N/A	34.04s
47	475.59	8.20919e+13	857	3.13086e+06	N/A	36.51s
48	698.39	6.58531e+17	1124	3.1245e+06	N/A	47.91s
49	871.75	5.67064e+14	1140	3.1232e+06	N/A	54.96s
50	1008.67	1.44739e+18	1126	3.11533e+06	N/A	59.47s
51	1040.20	8.00984e+13	1337	3.1087e+06	N/A	57.75s
52	1087.90	4.8939e+10	1352	3.10262e+06	N/A	56.91s
53	1212.74	6.88053e+18	1338	3.09244e+06	N/A	58.22s
54	1332.59	9.76027e+14	1324	3.09015e+06	N/A	59.02s
55	1375.70	4.2908e+14	1361	3.08045e+06	N/A	57.03s
56	1400.24	4.21109e+14	1622	3.07579e+06	N/A	53.43s
57	1485.49	3.56926e+14	1361	3.0712e+06	N/A	56.32s
58	1565.07	5.99454e+17	1379	3.06568e+06	N/A	58.10s
59	1519.96	1.18494e+10	1452	3.05779e+06	N/A	44.29s
60	1441.96	3.61367e+14	1452	3.05779e+06	N/A	37.90s
61	1484.91	3.60553e+14	1441	3.04915e+06	N/A	36.40s
62	1502.33	8.71965e+13	1441	3.04637e+06	N/A	32.50s
63	1499.87	5.11657e+12	1470	3.04262e+06	N/A	27.78s
64	1457.59	3.97956e+14	1453	3.03789e+06	N/A	21.46s
65	1514.59	3.44098e+14	1735	3.03427e+06	N/A	20.76s
66	1597.79	6.70466e+14	1728	3.02874e+06	N/A	14.12s
67	1652.89	3.52673e+14	1753	3.02842e+06	N/A	9.83s
68	1696.85	3.44312e+14	1728	3.02504e+06	N/A	4.99s
69	1756.59	5.96419e+17	1817	3.01702e+06	N/A	0.00s

Out[23]:
```
SymbolicRegressor(const_range=(-100, 100),
                  function_set=['add', 'sub', 'mul', 'div', 'sin'],
                  generations=70, init_depth=(4, 10), metric='mse',
                  population_size=500, random_state=0, stopping_criteria=0.01,
                  verbose=1)
```

In [24]:
```
print(SR._program)
```

```
sub(mul(sub(-36.019, -77.644), add(add(add(X0, 51.302), add(add(add(X0, 55.353), mul(55.353, 65.255)), X0)), sub(sub(sub(sub(sub(sub(sub(su
b(sub(sub(sub(sub(sub(sub(sub(sub(sub(sub(sub(sub(sub(sub(sub(sub(sub(sub(sub(sub(sub(sub(sub(add(X0, X0), sin(mul(sub(-36.019, -77.644), a
dd(add(add(add(X0, 51.302), add(add(X0, X0), X0)), add(X0, X0)), add(X0, X0))))), sin(mul(sub(sub(sub(add(X0, X0), sin(mul(sub(-36.019, -77.64
4), add(add(add(add(X0, 51.302), add(add(X0, X0), X0)), add(X0, X0)), add(X0, X0))))), sin(mul(sub(-36.019, -77.644), add(add(add(add(X0, 51.30
2), add(add(X0, X0), X0)), add(X0, X0)), add(X0, X0))))), sin(mul(sub(-36.019, -77.644), add(add(add(X0, sub(mul(sub(-36.019, -77.644), add(X0,
X0)), sub(add(X0, X0), add(add(add(X0, X0), X0), sin(X0))))), 51.302), add(X0, X0))))), add(add(add(add(X0, 51.302), add(add(X0, X0), X0)), sin
(mul(sub(-36.019, -77.644), add(add(add(add(X0, 51.302), add(add(X0, X0), X0)), add(X0, X0)), add(X0, X0))))), add(X0, X0))))), sin(mul(sub(-3
6.019, -77.644), add(add(add(add(add(X0, 51.302), 51.302), add(add(X0, X0), X0)), add(X0, X0)), add(X0, X0))))), sin(mul(sub(-36.019, -77.644),
add(add(add(X0, sub(mul(sub(-36.019, -77.644), add(X0, X0)), sub(add(X0, X0), mul(55.353, mul(sub(-36.019, -77.644), add(sub(sub(sub(sub(sub(su
b(sub(sub(sub(sub(add(X0, X0), sin(mul(sub(-36.019, -77.644), add(add(add(add(X0, 51.302), add(add(X0, X0), X0)), add(X0, X0)), add(X0, X
0))))), sin(mul(sub(-36.019, -77.644), add(add(add(add(X0, 51.302), add(add(X0, X0), X0)), add(X0, X0)), add(X0, X0))))), sin(mul(sub(-36.019,
-77.644), add(add(add(X0, sub(mul(sub(-36.019, -77.644), add(X0, X0)), sub(add(X0, X0), add(add(add(X0, X0), X0), sin(X0))))), 51.302), add(X0,
X0))))), sin(mul(sub(-36.019, -77.644), add(add(add(add(X0, 51.302), add(add(X0, X0), X0)), add(X0, X0)), add(X0, X0))))), sin(mul(sub(-36.019,
-77.644), add(add(add(add(X0, 51.302), add(add(X0, X0), X0)), add(X0, X0)), add(X0, X0))))), sin(mul(sub(-36.019, -77.644), add(add(add(add(X0,
51.302), add(add(X0, X0), X0)), add(X0, X0)), add(X0, X0))))), sin(mul(sub(-36.019, -77.644), mul(sub(-36.019, -77.644), add(add(add(add(X0, 5
1.302), add(add(X0, X0), X0)), add(X0, X0)), add(X0, X0)))))), sin(mul(sub(-36.019, -77.644), add(add(add(X0, sub(mul(sub(-36.019, -77.644), ad
d(X0, X0)), sub(add(X0, X0), add(add(add(X0, X0), X0), sin(X0))))), 51.302), add(X0, X0))))), sin(mul(sub(-36.019, -77.644), add(add(add(add(X
0, 51.302), add(add(X0, X0), X0)), add(X0, X0)), add(X0, X0))))), sin(mul(sub(-36.019, -77.644), add(add(add(add(X0, X0), add(add(X0, X0), X
0)), add(X0, X0)), add(X0, X0))))), sin(X0))))))), 51.302), add(X0, X0))))), sin(mul(sub(-36.019, -77.644), add(add(add(X0, sub(mul(sub(-36.01
9, -77.644), add(X0, X0)), sub(add(X0, X0), mul(55.353, mul(sub(-36.019, -77.644), add(sub(sub(sub(sub(sub(sub(sub(sub(sub(add(X0, X0), sin
(mul(sub(-36.019, -77.644), add(add(add(add(X0, 51.302), add(add(X0, X0), X0)), add(X0, X0)), add(X0, X0))))), sin(mul(sub(-36.019, -77.644), a
dd(add(add(add(X0, 51.302), add(add(X0, X0), X0)), add(X0, X0)), add(X0, X0))))), sin(mul(sub(-36.019, -77.644), add(add(add(X0, sub(mul(sub(-3
6.019, -77.644), add(X0, X0)), sub(add(X0, X0), add(add(add(X0, X0), X0), sin(X0))))), 51.302), add(X0, X0))))), sin(mul(sub(-36.019, -77.644),
add(add(add(add(X0, 51.302), add(add(X0, X0), X0)), add(X0, X0)), add(X0, X0))))), sin(mul(sub(-36.019, -77.644), add(add(add(add(X0, 51.302),
add(add(X0, X0), X0)), add(X0, X0)), add(X0, X0))))), sin(mul(sub(-36.019, -77.644), add(add(add(add(X0, 51.302), add(add(X0, X0), X0)), add(X
0, X0)), add(X0, X0))))), sin(mul(sub(-36.019, -77.644), mul(sub(-36.019, -77.644), add(add(add(add(X0, 51.302), add(add(X0, X0), X0)), add(X0,
X0)), add(X0, X0)))))), sin(mul(sub(-36.019, -77.644), add(add(add(X0, sub(mul(sub(-36.019, -77.644), add(X0, X0)), sub(add(X0, X0), add(add(ad
d(X0, X0), X0), sin(X0))))), 51.302), add(X0, X0))))), sin(mul(sub(-36.019, -77.644), add(add(add(add(X0, 51.302), add(add(X0, X0), X0)), add(X
0, X0)), add(X0, X0))))), sin(mul(sub(-36.019, -77.644), add(add(add(add(X0, X0), add(add(X0, X0), X0)), add(X0, X0)), add(X0, X0))))), sin(X
0))))))), 51.302), add(X0, X0))))), sin(mul(sub(-36.019, -77.644), add(add(add(add(X0, 51.302), add(add(X0, X0), X0)), add(X0, X0)), add(X0, X
0))))), sin(mul(sub(-36.019, -77.644), add(add(sin(X0), add(X0, X0)), add(X0, X0))))), sin(mul(sub(-36.019, -77.644), add(add(add(add(X0, 51.30
2), add(add(X0, X0), X0)), add(X0, X0)), add(X0, X0))))), sin(mul(sub(-36.019, -77.644), add(add(add(X0, sub(mul(sub(-36.019, -77.644), sub(-3
6.019, -77.644)), sub(add(X0, X0), mul(55.353, mul(sub(-36.019, -77.644), add(add(add(X0, add(add(add(X0, X0), X0), X0)), add(add(add(add(X0, 5
1.302), add(add(X0, X0), X0)), add(X0, X0)), add(X0, X0))), sin(X0))))))), 51.302), add(X0, X0))))), sin(mul(sub(-36.019, -77.644), add(add(add
(add(X0, 51.302), add(add(X0, X0), X0)), add(X0, X0)), add(X0, X0))))), sin(mul(sub(-36.019, -77.644), add(add(add(X0, sub(mul(add(add(add(X0,
51.302), add(add(X0, X0), X0)), add(X0, X0)), add(X0, X0)), sub(add(X0, X0), add(add(add(X0, X0), X0), sin(X0))))), 51.302), add(X0, X0))))), s
in(mul(sub(-36.019, -77.644), add(add(add(add(X0, 51.302), add(add(X0, X0), X0)), add(X0, X0)), add(X0, X0))))), sin(mul(sub(-36.019, -77.644),
add(add(add(add(X0, 51.302), add(add(X0, X0), X0)), add(X0, X0)), add(X0, X0))))), sin(mul(sub(-36.019, -77.644), add(add(sin(X0), add(X0, X
0)), add(X0, X0))))), sin(mul(sub(-36.019, -77.644), add(add(add(add(X0, X0), add(X0, sub(mul(add(add(add(X0, 51.302), add(add(X0, X0), X0)), a
dd(X0, X0)), add(X0, X0)), sub(add(X0, X0), add(add(add(X0, X0), X0), sin(X0)))))), add(X0, X0)), add(X0, X0))))), sin(mul(sub(-36.019, -77.64
4), add(add(add(X0, sub(mul(sub(-36.019, -77.644), add(X0, X0)), sub(add(X0, X0), add(add(add(X0, X0), X0), sin(X0))))), 51.302), add(X0, X
0))))), sin(mul(sub(-36.019, -77.644), add(add(add(add(X0, 51.302), add(add(X0, X0), X0)), add(X0, X0)), add(X0, X0))))), sin(mul(sub(-36.019,
-77.644), add(add(add(add(X0, 51.302), add(add(X0, X0), X0)), add(X0, X0)), add(X0, X0))))), sin(mul(sub(-36.019, -77.644), add(add(add(add(X0,
51.302), add(add(X0, X0), X0)), add(X0, X0)), add(X0, X0))))), sin(mul(sub(-36.019, -77.644), add(add(add(add(X0, 51.302), add(add(X0, X0), X
0)), add(X0, X0)), add(X0, X0))))), sin(mul(sub(-36.019, -77.644), add(add(add(X0, sub(mul(sub(-36.019, -77.644), add(X0, X0)), sub(add(X0, X
0), mul(55.353, mul(sub(-36.019, -77.644), add(add(add(X0, add(add(add(X0, X0), X0), X0)), X0), sin(X0))))))), 51.302), add(X0, X0))))), sin(mu
l(sub(-36.019, -77.644), add(add(add(add(X0, 51.302), add(add(X0, X0), X0)), add(add(X0, 51.302), X0)), add(X0, X0))))), sin(mul(sub(-36.019, -
77.644), add(add(add(X0, sub(mul(sub(-36.019, -77.644), add(X0, X0)), sub(add(X0, X0), mul(55.353, mul(sub(-36.019, -77.644), add(add(add(X0, a
dd(add(add(X0, X0), X0), X0)), X0), sin(X0))))))), 51.302), add(X0, X0))))), sin(mul(sub(-36.019, -77.644), add(add(add(add(X0, 51.302), add(ad
d(X0, X0), X0)), add(add(X0, 51.302), X0)), add(X0, X0))))), sin(mul(sub(-36.019, -77.644), add(add(sin(X0), add(X0, X0)), add(X0, X0))))), sin
(mul(sub(-36.019, -77.644), add(add(X0, X0), X0)))), sin(mul(sub(-36.019, -77.644), add(add(add(add(X0, 51.302), add(add(X0, X0), X0)), add(X0,
X0)), add(X0, X0))))), sin(mul(sub(-36.019, -77.644), add(add(add(add(X0, 51.302), add(add(X0, X0), X0)), add(X0, X0)), add(X0, X0))))), sin(mu
l(sub(-36.019, -77.644), add(add(add(add(X0, 51.302), add(add(X0, X0), X0)), add(X0, X0)), add(X0, X0))))), sin(mul(sub(-36.019, -77.644), add
(add(add(X0, sub(mul(sub(-36.019, -77.644), add(X0, X0)), sub(sub(sub(sub(sub(sub(sub(sub(sub(sub(sub(add(X0, X0), sin(mul(sub(-36.019, -77.64
```

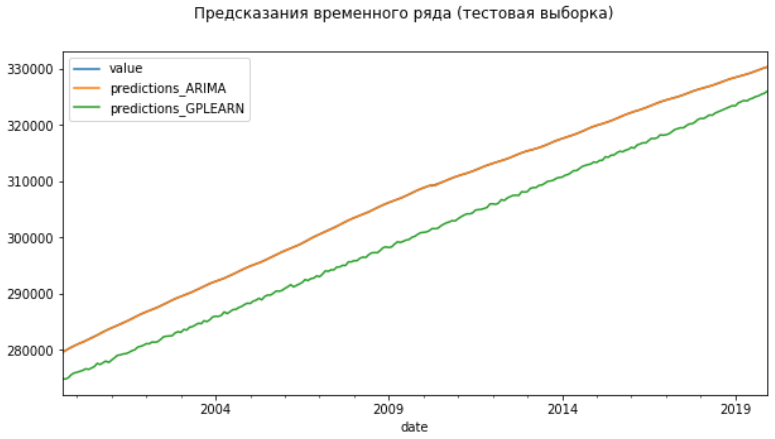
```
4), add(add(add(add(X0, 51.302), add(add(X0, X0), X0)), add(X0, X0)), add(X0, X0))))), add(add(X0, X0), X0)), sin(mul(sub(-36.019, -77.644), ad
d(add(add(X0, sub(mul(sub(-36.019, -77.644), add(X0, X0)), sub(add(X0, X0), add(add(add(X0, X0), X0), sin(X0))))), 51.302), add(X0, X0))))), si
n(mul(sub(-36.019, -77.644), add(sub(-36.019, -77.644), add(X0, X0))))), sin(mul(sub(-36.019, -77.644), add(add(add(add(X0, 51.302), add(add(X
0, X0), X0)), add(X0, X0)), add(X0, X0))))), sin(mul(sub(-36.019, -77.644), add(add(add(add(X0, 51.302), add(add(X0, X0), X0)), add(X0, X0)), a
dd(X0, X0))))), sin(mul(sub(-36.019, -77.644), add(add(add(add(X0, 51.302), add(add(X0, X0), X0)), add(X0, X0)), add(X0, X0))))), sin(mul(sub(-
36.019, -77.644), add(add(add(X0, sub(mul(sub(-36.019, -77.644), add(X0, X0)), sub(add(X0, X0), mul(55.353, mul(sub(-36.019, -77.644), add(add
(add(X0, add(add(add(X0, X0), X0)), X0)), add(add(add(add(X0, 51.302), add(add(X0, X0), X0)), add(X0, X0)), add(X0, X0))), sin(X0)))))), 51.30
2), add(X0, X0))))), sin(mul(sub(-36.019, -77.644), add(sin(mul(sub(-36.019, -77.644), add(add(add(add(X0, 51.302), add(add(X0, X0), X0)), add
(X0, X0)), add(X0, X0)))), add(X0, X0))))), sin(mul(sub(-36.019, -77.644), add(add(add(add(X0, 51.302), add(add(X0, X0), X0)), add(X0, X0)), ad
d(X0, X0))))), sin(mul(sub(-36.019, -77.644), add(add(55.353, 51.302), add(X0, X0)))))), 51.302), add(X0, X0))))), sin(mul(sub(-36.019, -77.64
4), add(add(add(add(X0, 51.302), add(add(X0, X0), X0)), add(sub(-36.019, -77.644), add(X0, X0))), add(X0, X0))))), sin(mul(sub(-36.019, -77.64
4), add(add(add(add(X0, 51.302), add(add(X0, X0), X0)), add(X0, X0)), add(X0, X0))))), sin(mul(sub(-36.019, -77.644), add(-36.019, add(X0, X
0)))))))), sub(add(add(X0, X0), X0), mul(55.353, 65.255)))
```

In [25]:
```
# Предсказания
y_sr = SR.predict(np.array(xnum_test).reshape(-1, 1))
y_sr[:10]
```

Out[25]:
```
array([274891.75793852, 274817.36307349, 275068.42349884, 275594.91553188,
       275909.57465535, 276033.9204471 , 276192.3291504 , 276368.95663777,
       276651.56236873, 276542.01774132])
```

In [26]:
```
# Записываем предсказания в DataFrame
data_2['predictions_GPLEARN'] = (train_size * [np.NAN]) + list(y_sr)
```

In [27]:
```
fig, ax = pyplot.subplots(1, 1, sharex='col', sharey='row', figsize=(10,5))
fig.suptitle('Предсказания временного ряда (тестовая выборка)')
data_2[train_size:].plot(ax=ax, legend=True)
pyplot.show()
```



In [28]:
```
error_SR = mean_squared_error(test, y_sr, squared=False)
```

In [29]:
```
# Ошибка прогноза
np.mean(Y), error_SR
```

Out[29]:
```
(243847.7678259804, 6510.330169456957)
```

Качество прогноза моделей

In [30]:
```
def print_metrics(y_test, y_pred):
    print(f"R^2: {r2_score(y_test, y_pred)}")
    print(f"MSE: {mean_squared_error(y_test, y_pred, squared=False)}")
    print(f"MAE: {mean_absolute_error(y_test, y_pred)}")
```

In [31]:
```
print("ARIMA")
print_metrics(test, predictions_arima)

print("\nGPLEARN")
print_metrics(test, y_sr)
```

```
ARIMA
R^2: 0.9999973075905872
MSE: 24.173499535797916
MAE: 16.034435631401305

GPLEARN
R^2: 0.8047153645391025
MSE: 6510.330169456957
MAE: 6443.710113418146
```

Вывод: Обе модели, ARIMA и GPLEARN, показали хороший результат. Лучшей по всем используемым метрикам оказалась модель ARIMA.