

Анализ потребления электроэнергии по регионам РФ

Участники команды:

Андаралова Анна

Белокоровий Полина

Малюжанцев Дмитрий

Салчак Дарьяна

Тарасова Арина

Группа Б1122-38.03.01вшэ

Руководитель: Филатов А.Ю.

Введение

Исследовательская проблема:

В условиях динамичного развития экономики и изменений в потребительских предпочтениях, компании, занимающиеся электроэнергетикой, сталкиваются с необходимостью точного прогнозирования спроса на электроэнергию. Сложности в анализе потребления вызваны недостатком актуальных данных и отсутствием моделей, способных адекватно предсказывать цены и объемы спроса, что может потребоваться для оптимизации поставок и эффективного управления запасами.

Цель

Изучить рынок потребления электроэнергии по разным регионам РФ (Московская область, Иркутская область, Челябинская область и Республика Татарстан). Составить модель для предсказания цен и объемов спроса на электроэнергию.



Исследовательский вопрос

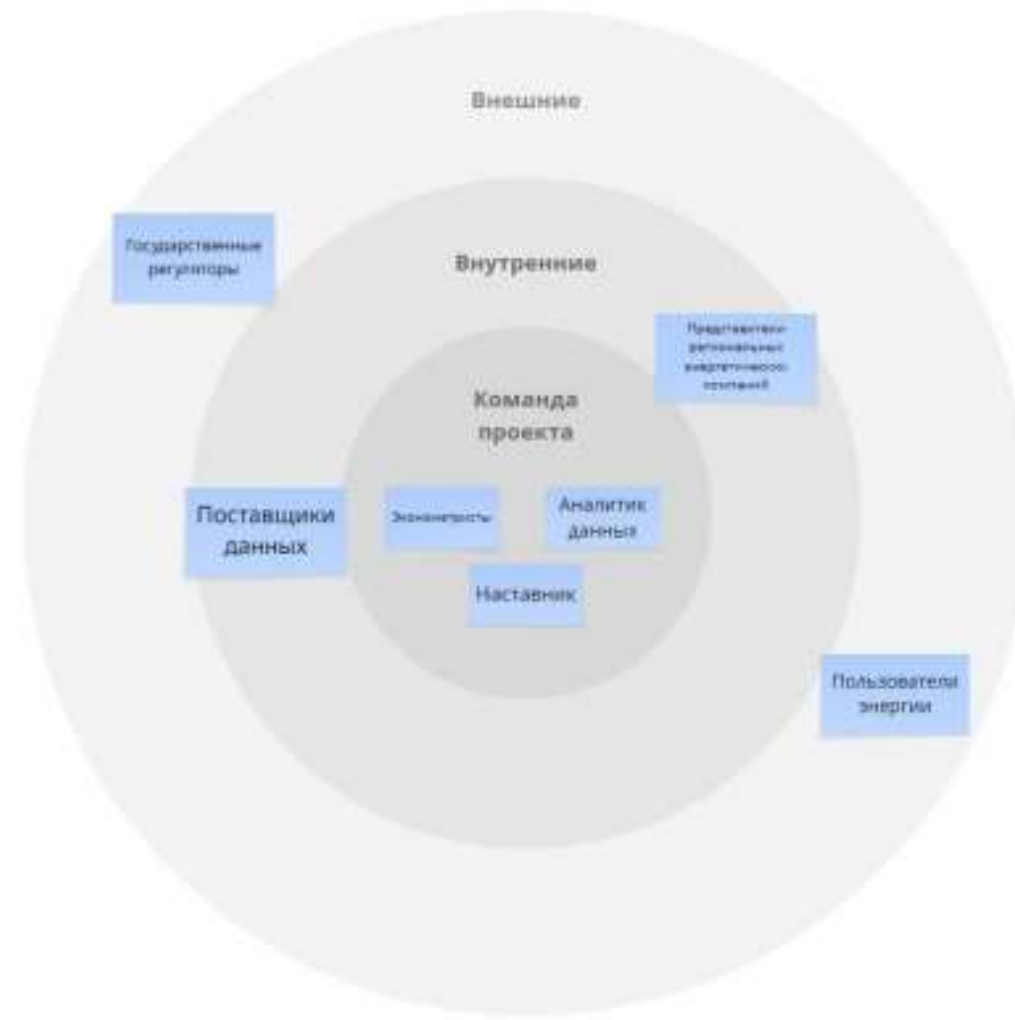
Каковы основные факторы, влияющие на потребление электроэнергии в различных регионах РФ?



Технологический стек проекта

- **Python:** Для парсинга дополнительных данных, их очистки и проектирования модели машинного обучения.
- **Yandex Datalense:** Для визуализации данных при генерации описательной статистики;
- **R:** Для построения эконометрических моделей

Стейхолдеры



Челябинская область

Coefficients:

```
##
##              Estimate Std. Error t value Pr(>|t|)
## (Intercept)    2.621e+01  8.552e+00   3.065 0.002179 **
## time1         -4.873e+00  1.708e+00  -2.853 0.004336 **
## time10         7.040e+01  1.906e+00  36.938 < 2e-16 ***
## time11         7.258e+01  1.906e+00  38.088 < 2e-16 ***
## time12         6.493e+01  1.905e+00  34.083 < 2e-16 ***
## time13         7.339e+01  1.901e+00  38.602 < 2e-16 ***
## time14         7.613e+01  1.905e+00  39.975 < 2e-16 ***
## time15         7.401e+01  1.912e+00  38.710 < 2e-16 ***
## time16         7.638e+01  1.915e+00  39.885 < 2e-16 ***
## time17         6.378e+01  1.917e+00  33.269 < 2e-16 ***
## time18         5.706e+01  1.909e+00  29.887 < 2e-16 ***
## time19         5.430e+01  1.898e+00  28.613 < 2e-16 ***
## time2         1.419e+01  1.729e+00   8.203 2.45e-16 ***
## time20         2.474e+01  1.887e+00  13.112 < 2e-16 ***
## time21         7.607e+00  1.846e+00   4.122 3.77e-05 ***
## time22        -4.165e+01  1.791e+00 -23.262 < 2e-16 ***
## time23        -5.404e+01  1.711e+00 -31.575 < 2e-16 ***
## time3         3.353e+01  1.737e+00  19.301 < 2e-16 ***
## time4         6.612e+01  1.734e+00  38.119 < 2e-16 ***
## time5         1.066e+02  1.721e+00  61.911 < 2e-16 ***
## time6         1.697e+02  1.726e+00  98.284 < 2e-16 ***
## time7         1.569e+02  1.756e+00  89.313 < 2e-16 ***
## time8         1.394e+02  1.820e+00  76.620 < 2e-16 ***
## time9         9.868e+01  1.883e+00  52.414 < 2e-16 ***
```

```
## net_plan_effect    3.464e-02  8.969e-03   3.862 0.000113 ***
## tech_avg_tps       -5.195e-03  1.088e-03  -4.774 1.81e-06 ***
## infl              1.289e+01  4.199e+00   3.069 0.002149 **
## real_usd_rub       -5.970e-01  5.830e+00  -0.102 0.918437
## oil_rub_real       -1.722e-04  5.767e-04  -0.299 0.765226
## coal_rub_real      -2.702e-05  8.047e-06  -3.358 0.000785 ***
## al_rub_real        2.455e-03  1.520e-03   1.615 0.106412
## steel_rub_real     3.465e-05  1.730e-05   2.003 0.045168 *
## weather_t         -8.009e-02  6.335e-02  -1.264 0.206131
## weather_u         1.604e-01  3.609e-02   4.445 8.82e-06 ***
## day_of_the_week2   -2.241e+00  9.249e-01  -2.422 0.015423 *
## day_of_the_week3   -1.450e+00  9.261e-01  -1.566 0.117378
## day_of_the_week4    4.996e-02  9.260e-01   0.054 0.956974
## day_of_the_week5    3.391e+00  9.280e-01   3.654 0.000259 ***
## day_of_the_week6    1.571e+00  9.315e-01   1.686 0.091733 .
## day_of_the_week7   -5.999e+00  9.471e-01  -6.334 2.43e-10 ***
## price_demand_real_lag1  8.758e-01  2.855e-03 306.750 < 2e-16 ***
## price_demand_real_lag24 4.715e-02  2.386e-03 19.761 < 2e-16 ***
## ---
## Signif. codes:  0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1
##
## Residual standard error: 40.56 on 27060 degrees of freedom
## Multiple R-squared:  0.9615, Adjusted R-squared:  0.9614
## F-statistic: 1.648e+04 on 41 and 27060 DF, p-value: < 2.2e-16
```

Иркутская область

Coefficients:

```
##              Estimate Std. Error t value Pr(>|t|)
## (Intercept)  7.463e+02 1.977e+01 37.753 < 2e-16 ***
## time1       1.260e+01 5.252e+00  2.400 0.016419 *
## time10      1.337e+02 5.328e+00 25.090 < 2e-16 ***
## time11      1.401e+02 5.321e+00 26.338 < 2e-16 ***
## time12      1.522e+02 5.326e+00 28.577 < 2e-16 ***
## time13      1.715e+02 5.327e+00 32.196 < 2e-16 ***
## time14      1.834e+02 5.332e+00 34.393 < 2e-16 ***
## time15      1.797e+02 5.334e+00 33.698 < 2e-16 ***
## time16      1.760e+02 5.337e+00 32.985 < 2e-16 ***
## time17      1.657e+02 5.339e+00 31.041 < 2e-16 ***
## time18      1.287e+02 5.332e+00 24.141 < 2e-16 ***
## time19      9.195e+01 5.318e+00 17.290 < 2e-16 ***
## time2       4.449e+01 5.257e+00  8.463 < 2e-16 ***
## time20      6.730e+01 5.309e+00 12.676 < 2e-16 ***
## time21      4.769e+01 5.300e+00  8.998 < 2e-16 ***
## time22      2.582e+01 5.289e+00  4.881 1.06e-06 ***
## time23      1.834e+00 5.278e+00  0.347 0.728230
## time3       6.620e+01 5.287e+00 12.521 < 2e-16 ***
## time4       9.568e+01 5.304e+00 18.040 < 2e-16 ***
## time5       1.215e+02 5.323e+00 22.828 < 2e-16 ***
## time6       1.404e+02 5.330e+00 26.338 < 2e-16 ***
## time7       1.397e+02 5.337e+00 26.185 < 2e-16 ***
## time8       1.429e+02 5.340e+00 26.769 < 2e-16 ***
## time9       1.387e+02 5.338e+00 25.972 < 2e-16 ***
```

```
## net_plan_effect -1.026e-01 1.146e-03 -89.533 < 2e-16 ***
## infl           7.444e+02 1.013e+01 73.509 < 2e-16 ***
## tech_avg       2.739e-02 2.808e-03  9.754 < 2e-16 ***
## real_usd_rub   -4.721e+02 9.757e+00 -48.383 < 2e-16 ***
## coal_rub_real  -5.581e-04 2.060e-05 -27.092 < 2e-16 ***
## al_rub_real    -1.841e-02 3.311e-03 -5.560 2.72e-08 ***
## steel_rub_real  1.224e-03 5.223e-05 23.441 < 2e-16 ***
## weather_t      -8.116e+00 2.274e-01 -35.687 < 2e-16 ***
## weather_u      -1.316e+00 1.203e-01 -10.944 < 2e-16 ***
## day_of_the_week2 -2.525e+01 2.835e+00 -8.906 < 2e-16 ***
## day_of_the_week3 -3.290e+01 2.836e+00 -11.601 < 2e-16 ***
## day_of_the_week4 -1.336e+01 2.835e+00 -4.712 2.47e-06 ***
## day_of_the_week5 -2.494e+01 2.832e+00 -8.807 < 2e-16 ***
## day_of_the_week6  8.023e+00 2.835e+00  2.830 0.004652 **
## day_of_the_week7 -9.449e+00 2.832e+00 -3.337 0.000849 ***
## ---
## Signif. codes:  0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1
##
## Residual standard error: 130.6 on 29638 degrees of freedom
## Multiple R-squared:  0.511, Adjusted R-squared:  0.5104
## F-statistic: 815.1 on 38 and 29638 DF, p-value: < 2.2e-16
```


Республика Татарстан

Coefficients:

```
##
##              Estimate Std. Error t value Pr(>|t|)
## (Intercept)  1.111e+03 1.280e+01 86.778 < 2e-16 ***
## time1        -6.721e+01 4.701e+00 -14.297 < 2e-16 ***
## time10       4.416e+02 4.930e+00 89.574 < 2e-16 ***
## time11       4.401e+02 4.901e+00 89.796 < 2e-16 ***
## time12       4.401e+02 4.887e+00 90.054 < 2e-16 ***
## time13       4.441e+02 4.878e+00 91.033 < 2e-16 ***
## time14       4.411e+02 4.874e+00 90.490 < 2e-16 ***
## time15       4.330e+02 4.897e+00 88.414 < 2e-16 ***
## time16       4.284e+02 4.977e+00 86.074 < 2e-16 ***
## time17       4.188e+02 5.020e+00 83.429 < 2e-16 ***
## time18       4.101e+02 5.004e+00 81.958 < 2e-16 ***
## time19       4.060e+02 4.916e+00 82.586 < 2e-16 ***
## time2        -1.045e+02 4.701e+00 -22.224 < 2e-16 ***
## time20       3.874e+02 4.840e+00 80.055 < 2e-16 ***
## time21       3.495e+02 4.742e+00 73.712 < 2e-16 ***
## time22       2.181e+02 4.709e+00 46.325 < 2e-16 ***
## time23       6.455e+01 4.702e+00 13.728 < 2e-16 ***
## time3        -1.048e+02 4.703e+00 -22.289 < 2e-16 ***
## time4        -6.841e+01 4.704e+00 -14.544 < 2e-16 ***
## time5        9.953e+00 4.704e+00  2.116 0.034364 *
## time6        1.483e+02 4.704e+00 31.535 < 2e-16 ***
## time7        2.906e+02 4.754e+00 61.122 < 2e-16 ***
## time8        3.953e+02 4.865e+00 81.245 < 2e-16 ***
```

```
## time9        4.384e+02 4.915e+00 89.204 < 2e-16 ***
## net_plan_effect -6.115e-03 6.022e-03 -1.015 0.309965
## tech_avg      5.635e-02 2.011e-03 28.020 < 2e-16 ***
## infl          -2.662e+02 9.847e+00 -27.035 < 2e-16 ***
## oil_rub_real  -2.463e-03 7.737e-04 -3.183 0.001459 **
## coal_rub_real -2.657e-04 1.228e-05 -21.631 < 2e-16 ***
## steel_rub_real 1.002e-03 4.072e-05 24.597 < 2e-16 ***
## weather_t     7.438e+00 1.292e-01 57.575 < 2e-16 ***
## day_of_the_week2 -1.436e+01 2.539e+00 -5.657 1.55e-08 ***
## day_of_the_week3 -1.485e+01 2.539e+00 -5.850 4.97e-09 ***
## day_of_the_week4 -6.889e+00 2.538e+00 -2.714 0.006651 **
## day_of_the_week5 1.408e+01 2.534e+00 5.556 2.79e-08 ***
## day_of_the_week6 1.011e+01 2.607e+00 3.876 0.000106 ***
## day_of_the_week7 -5.237e+01 2.614e+00 -20.038 < 2e-16 ***
## ---
## Signif. codes:  0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1
##
## Residual standard error: 116.9 on 29640 degrees of freedom
## Multiple R-squared:  0.7819, Adjusted R-squared:  0.7816
## F-statistic: 2952 on 36 and 29640 DF, p-value: < 2.2e-16
```


Московская область

Coefficients:

```
##              Estimate Std. Error t value Pr(>|t|)
## (Intercept)   1.335e+03  1.570e+01  85.060 < 2e-16 ***
## time1        -8.855e+01  5.222e+00 -16.955 < 2e-16 ***
## time10       5.311e+02  5.397e+00  98.400 < 2e-16 ***
## time11       5.378e+02  5.261e+00 102.227 < 2e-16 ***
## time12       5.289e+02  5.241e+00 100.931 < 2e-16 ***
## time13       5.371e+02  5.240e+00 102.506 < 2e-16 ***
## time14       5.321e+02  5.231e+00 101.729 < 2e-16 ***
## time15       5.176e+02  5.275e+00  98.116 < 2e-16 ***
## time16       5.152e+02  5.336e+00  96.557 < 2e-16 ***
## time17       5.120e+02  5.415e+00  94.548 < 2e-16 ***
## time18       5.113e+02  5.465e+00  93.570 < 2e-16 ***
## time19       5.036e+02  5.321e+00  94.635 < 2e-16 ***
## time2        -1.430e+02  5.222e+00 -27.378 < 2e-16 ***
## time20       4.836e+02  5.237e+00  92.342 < 2e-16 ***
## time21       4.391e+02  5.228e+00  83.991 < 2e-16 ***
## time22       2.717e+02  5.229e+00  51.955 < 2e-16 ***
## time23       7.483e+01  5.228e+00  14.314 < 2e-16 ***
## time3        -1.560e+02  5.228e+00 -29.836 < 2e-16 ***
## time4        -1.339e+02  5.229e+00 -25.613 < 2e-16 ***
## time5        -5.762e+01  5.230e+00 -11.016 < 2e-16 ***
## time6        8.634e+01  5.228e+00  16.514 < 2e-16 ***
## time7        2.445e+02  5.229e+00  46.760 < 2e-16 ***
## time8        4.037e+02  5.243e+00  76.993 < 2e-16 ***
## time9        4.956e+02  5.389e+00  91.971 < 2e-16 ***
```

```
## net_plan_effect 5.622e-03 2.594e-03 2.167 0.030224 *
## tech_avg       3.407e-02 1.111e-03 30.657 < 2e-16 ***
## infl          -4.781e+02  8.602e+00 -55.576 < 2e-16 ***
## coal_rub_real  -2.536e-04  1.498e-05 -16.929 < 2e-16 ***
## al_rub_real    -5.460e-02  3.201e-03 -17.057 < 2e-16 ***
## steel_rub_real  1.157e-03  5.076e-05  22.784 < 2e-16 ***
## weather_t      6.170e+00  1.406e-01  43.875 < 2e-16 ***
## day_of_the_week2 -1.688e+01  2.821e+00 -5.984 2.21e-09 ***
## day_of_the_week3 -9.566e+00  2.820e+00 -3.392 0.000694 ***
## day_of_the_week4 -2.858e+00  2.820e+00 -1.013 0.310860
## day_of_the_week5  1.279e+01  2.816e+00  4.542 5.59e-06 ***
## day_of_the_week6 -5.346e+00  2.825e+00 -1.892 0.058464 .
## day_of_the_week7 -7.538e+01  2.828e+00 -26.650 < 2e-16 ***
## ---
## Signif. codes:  0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1
##
## Residual standard error: 129.8 on 29640 degrees of freedom
## Multiple R-squared:  0.8233, Adjusted R-squared:  0.8231
## F-statistic: 3836 on 36 and 29640 DF, p-value: < 2.2e-16
```

Сравнение по регионам



Во всех регионах:

- 1.Цена на электроэнергию зависит от объёма незначительно, чаще всего попадает в диапазон 500-2000 руб./МВт. ч.
- 2.Потребление с 22 часов вечера до 6 часов утра значительно ниже, чем в остальное время. Минимальное потребление наблюдается примерно в 3 часа ночи.
- 3.Зимой потребление электроэнергии в 1,2-1,5 раза выше, чем летом
- 4.Чем ниже температура, тем выше энергопотребление.

Заключение

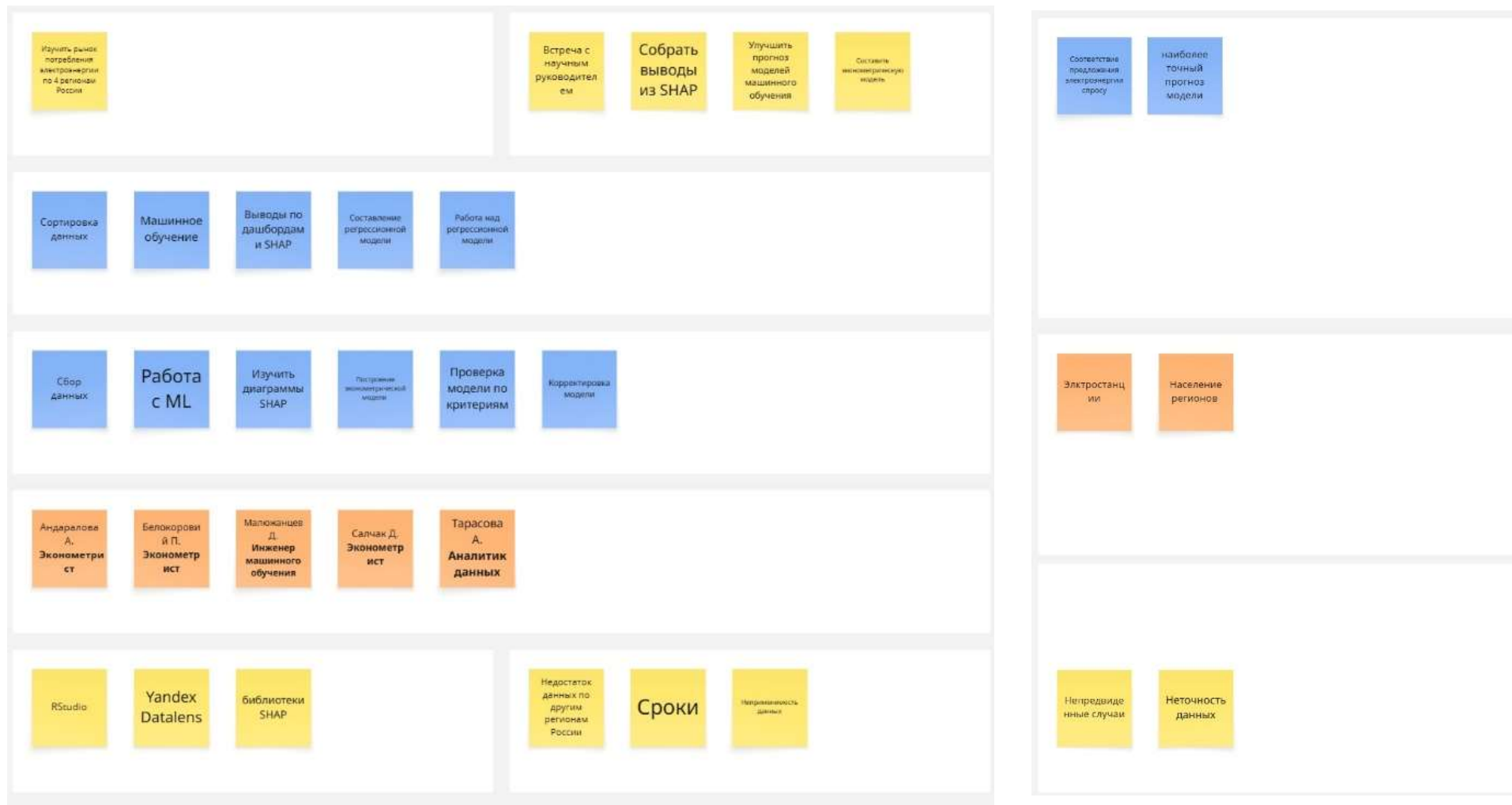
Для всех регионов критически важны исторические значения (лаги lag1, lag24) для краткосрочного прогнозирования, температура воздуха (weather_t) как основной погодный фактор, а также технические ограничения генерации и сетей (tech_avg). Однако структура ключевых драйверов существенно различается. В промышленно ориентированных регионах, таких как Челябинская область, доминируют цены на сырье (уголь, сталь) и технические ограничения, тогда как в Иркутской области, характеризующейся крупными ГЭС и госрегулированием, определяющими становятся регуляторные меры (net_plan_effect) и макроэкономика. Татарстан демонстрирует смешанную модель с влиянием цен на сталь и выраженной температурной сезонностью спроса. В Московской области, как финансовом центре, на первый план выходят макроэкономические показатели (инфляция, курс рубля) и ярко выраженные пиковые часы потребления.

Исследование подтверждает отсутствие единой модели российского энергорынка: эффективное прогнозирование и управление требуют обязательного учета уникальной региональной специфики, определяемой структурой экономики, типом генерации, степенью госрегулирования и характером спроса.

Ваши вопросы:

- 1) Титульный слайд
- 2) Введение: Постановка исследовательской проблемы
- 3) Исследовательский вопрос.
- 4) Технологический стек
- 5) Стейкхолдеры
- 6) Эконометрика: Челябинская область
- 7) Эконометрика: Иркутская область
- 8) Эконометрика: Республика Татарстан
- 9) Эконометрика: Челябинская область
- 10) Сравнение по регионам: Общие закономерности
- 11) Заключение
- 12) Ваши вопросы? <- Мы сейчас тут
- 13) Канва Проекта (Роли, цели, организация работы)
- 14) MVP
- 15) ML: Челябинская область
- 16) Временные закономерности (Час)
- 17) Временные закономерности (Месяц)
- 18) Временные закономерности (Неделя)
- 19) ML: Иркутская область
- 20) Технические Показатели
- 21) Влажность
- 22) ML: Республика Татарстан
- 23) Цены на металлы
- 24) Инфляция
- 25) ML : Московская область

Канва Проекта

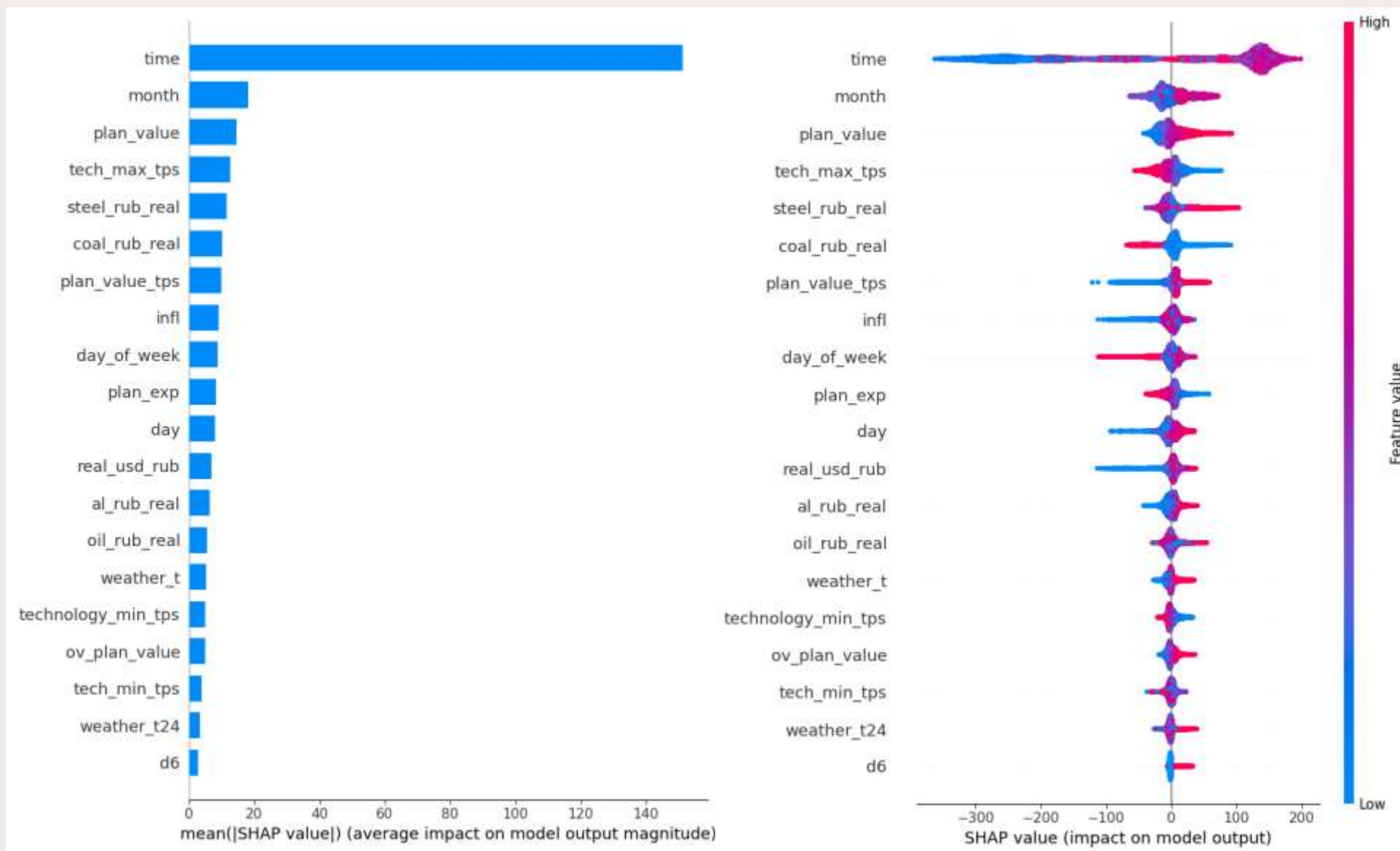


MVP

Целевая аудитория: энергетические компании и поставщики электроэнергии

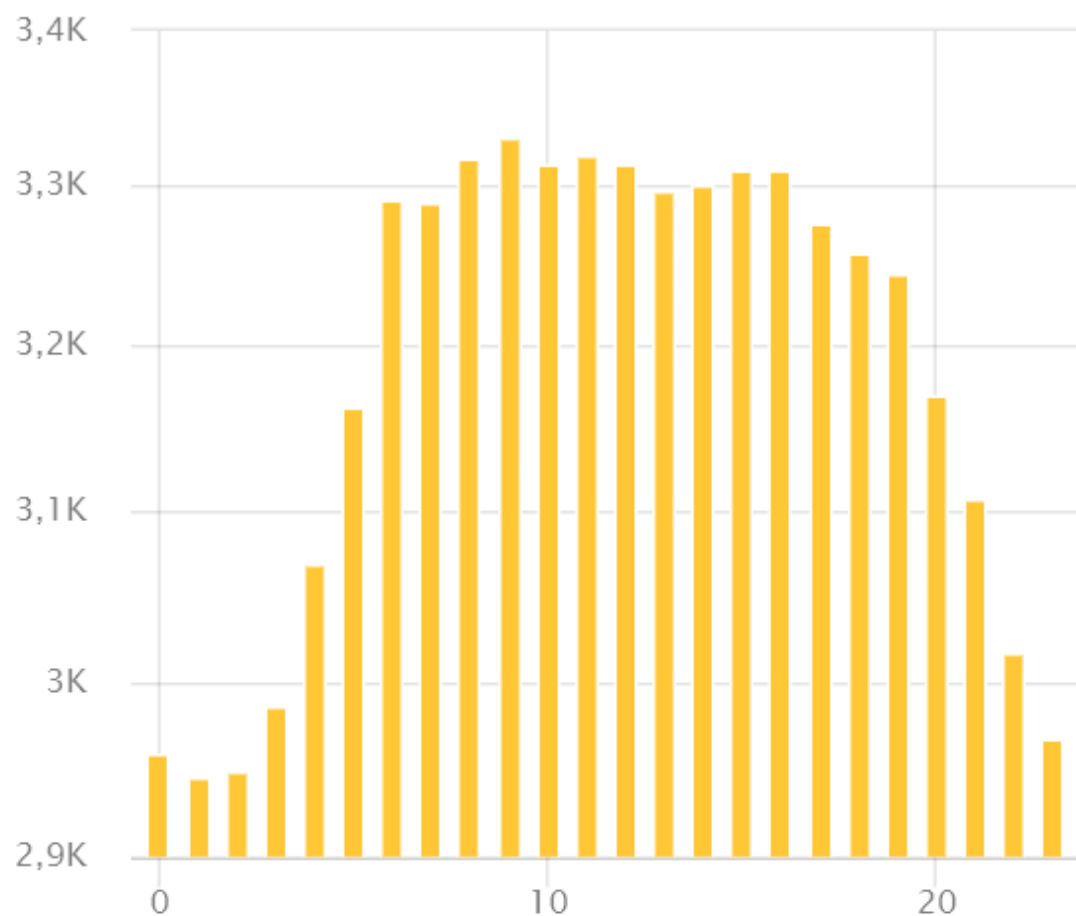
Проблема: Трудность у компаний с прогнозированием спроса и цен на электроэнергию по регионам. Без точных оценок не могут эффективно управлять поставками и планировать мощности.	Ценность для пользователя: <ul style="list-style-type: none">• Экономия времени на анализ данных• Базовый прогноз спроса для планирования закупок и поставок• Визуальное представление динамики потребления
Цель MVP: Проверить, заинтересованы ли энергетические компании в простом инструменте для анализа и прогноза потребления электроэнергии по регионам РФ на основе открытых данных.	MVP-решение Что входит: <ol style="list-style-type: none">1. Один интерактивный дашборд<ul style="list-style-type: none">• По 4 регионам РФ• Отображение объема потребления электроэнергии по месяцам/сезонам• Визуализация (через Yandex DataLens)2. Регрессионная модель в R-Studio3. Отчет с описательной статистикой, графиками, выводами
Основная гипотеза: Если предоставить энергетическим компаниям модель + визуализацию потребления электроэнергии в 4 регионах РФ, они будут готовы использовать этот инструмент как минимум для внутренней аналитики и планирования.	

Челябинская область

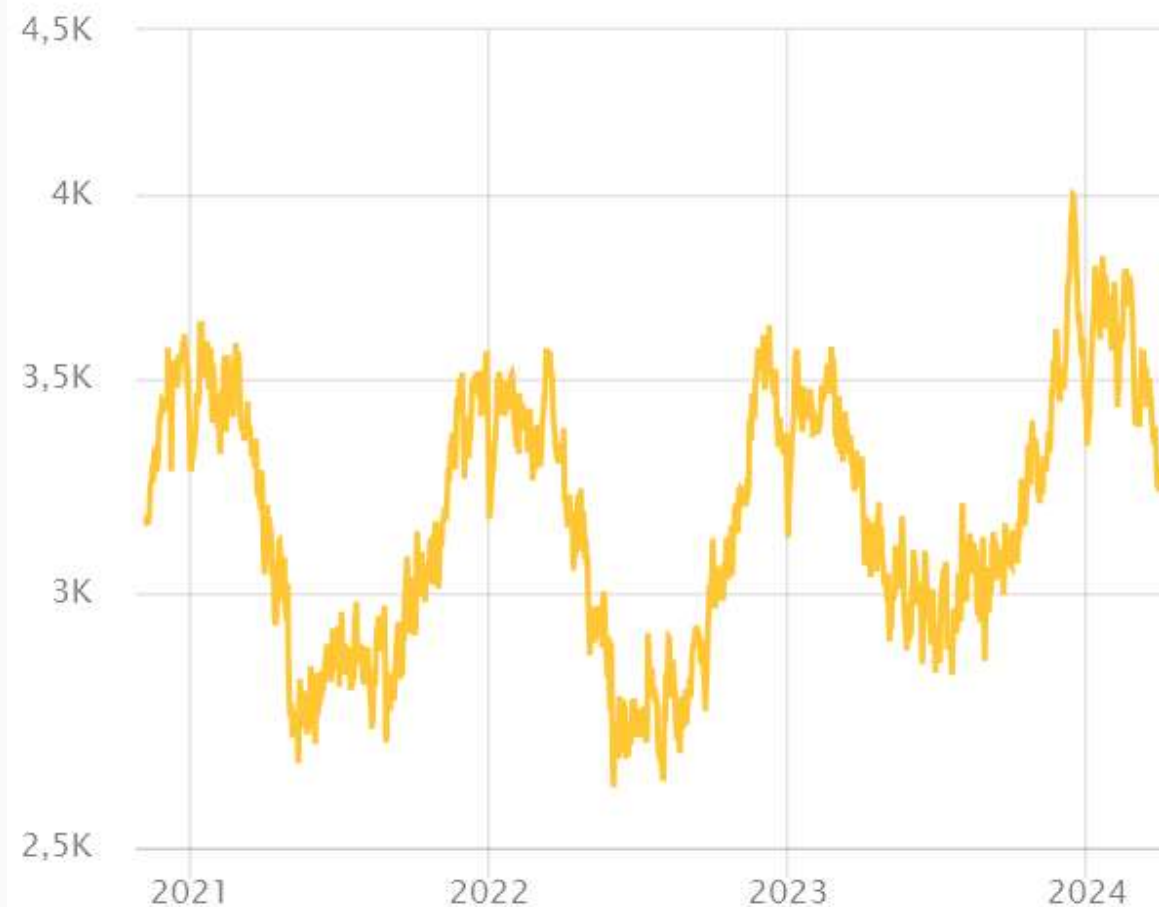


Челябинская область

Зависимость объёма от времени суток



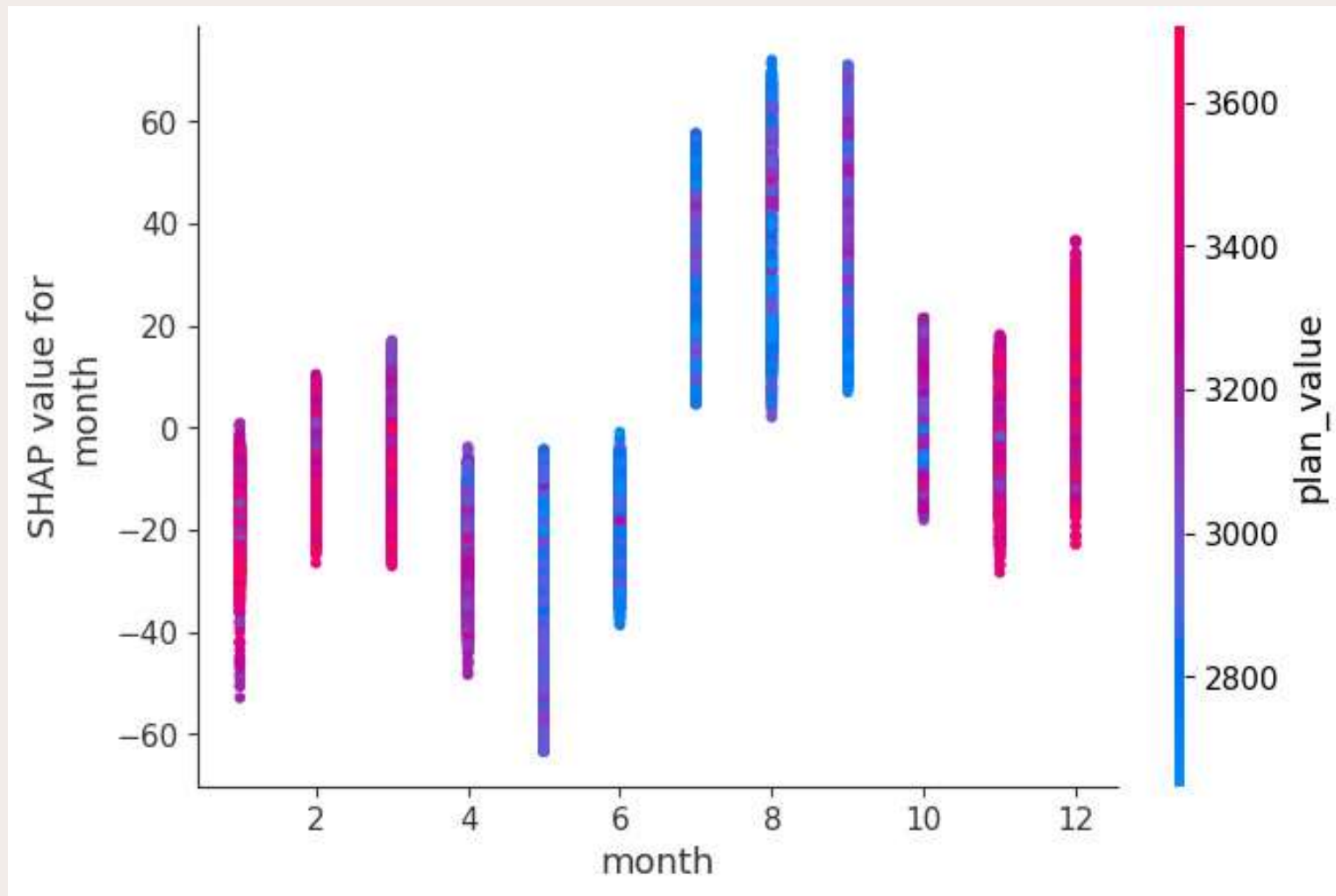
Зависимость объёма от даты



Челябинская область

SHAP (SHapley Additive exPlanations) is a game theoretic approach to explain the output of any machine learning model. It connects optimal credit allocation with local explanations using the classic Shapley values from game theory and their related extensions.

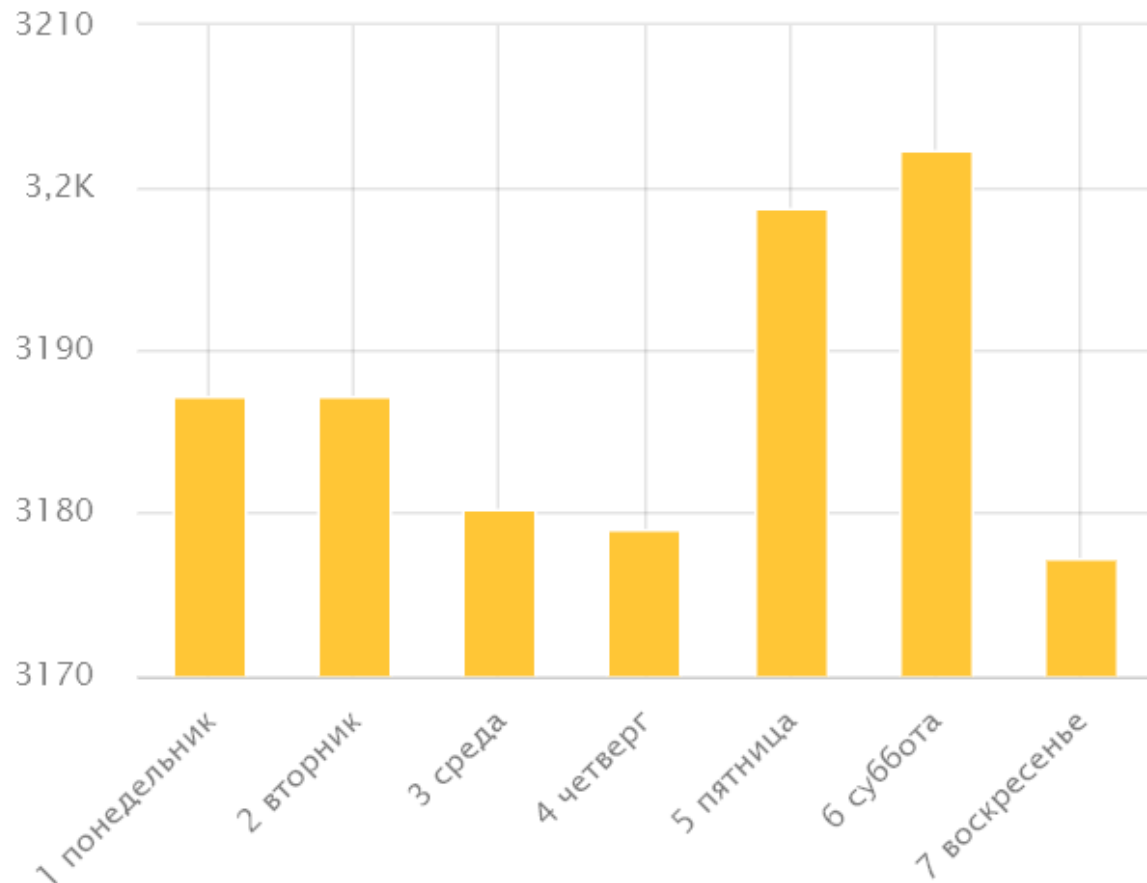
SHAP value for month -
Влияние показателя на цену
электроэнергии в руб. /МВт ч



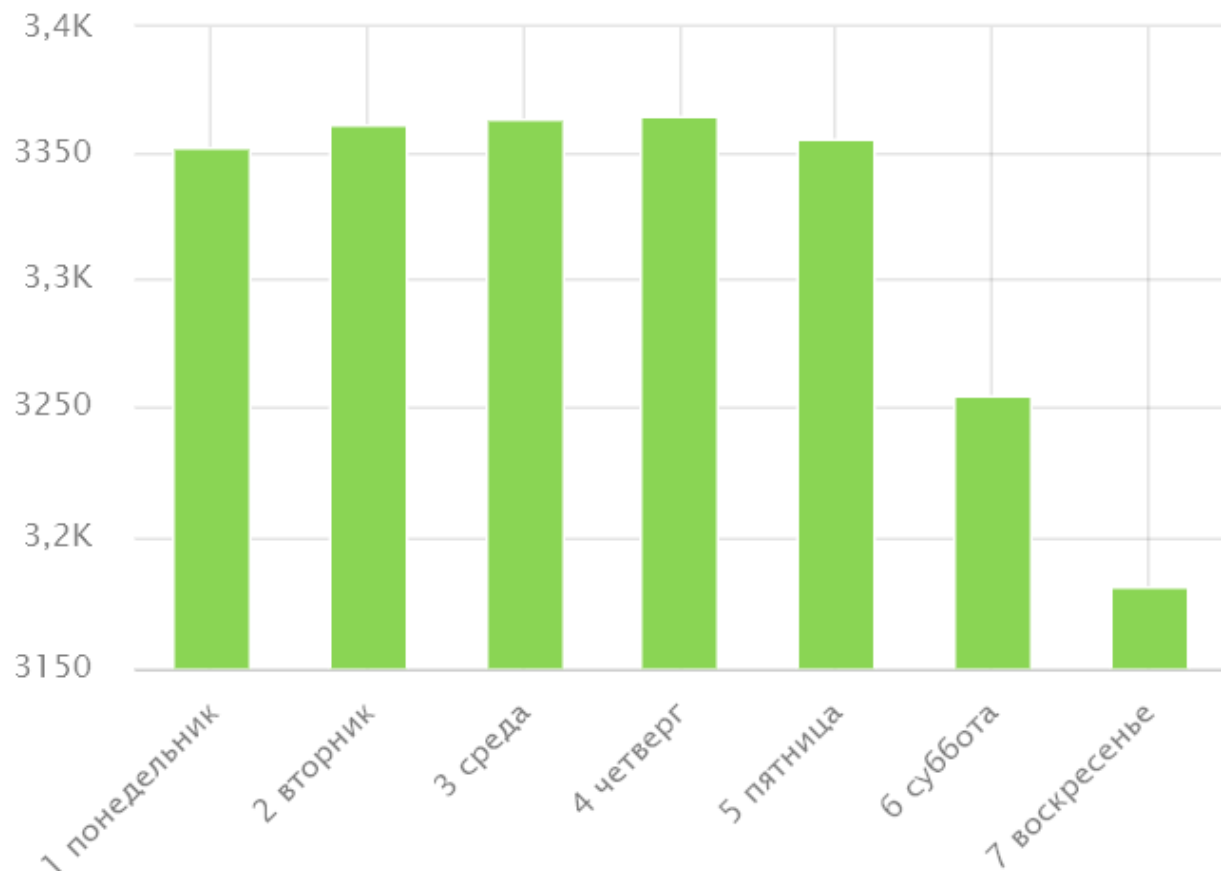
Челябинская область

Республика Татарстан

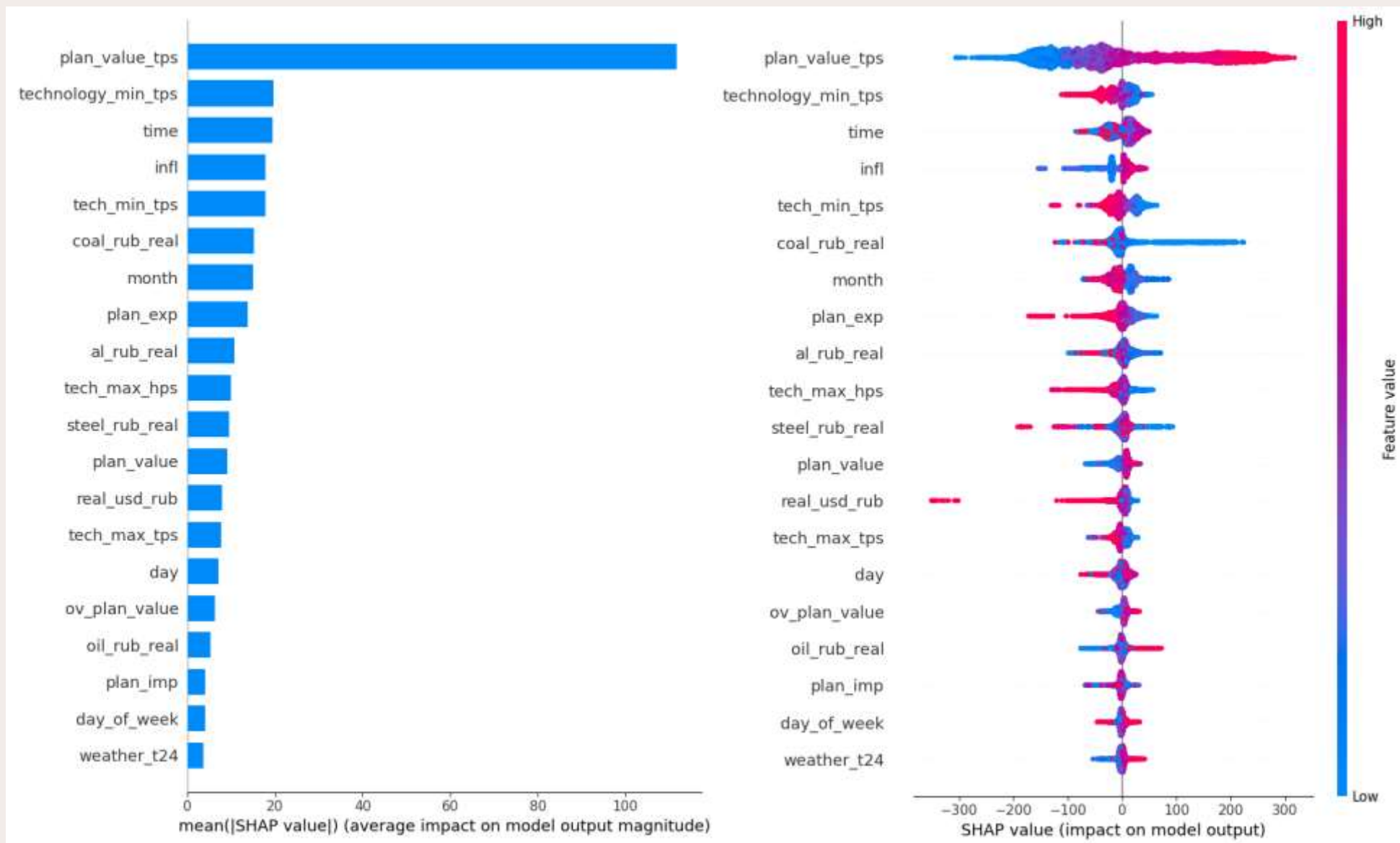
Зависимость объёма от дня недели



Зависимость объёма от дня недели



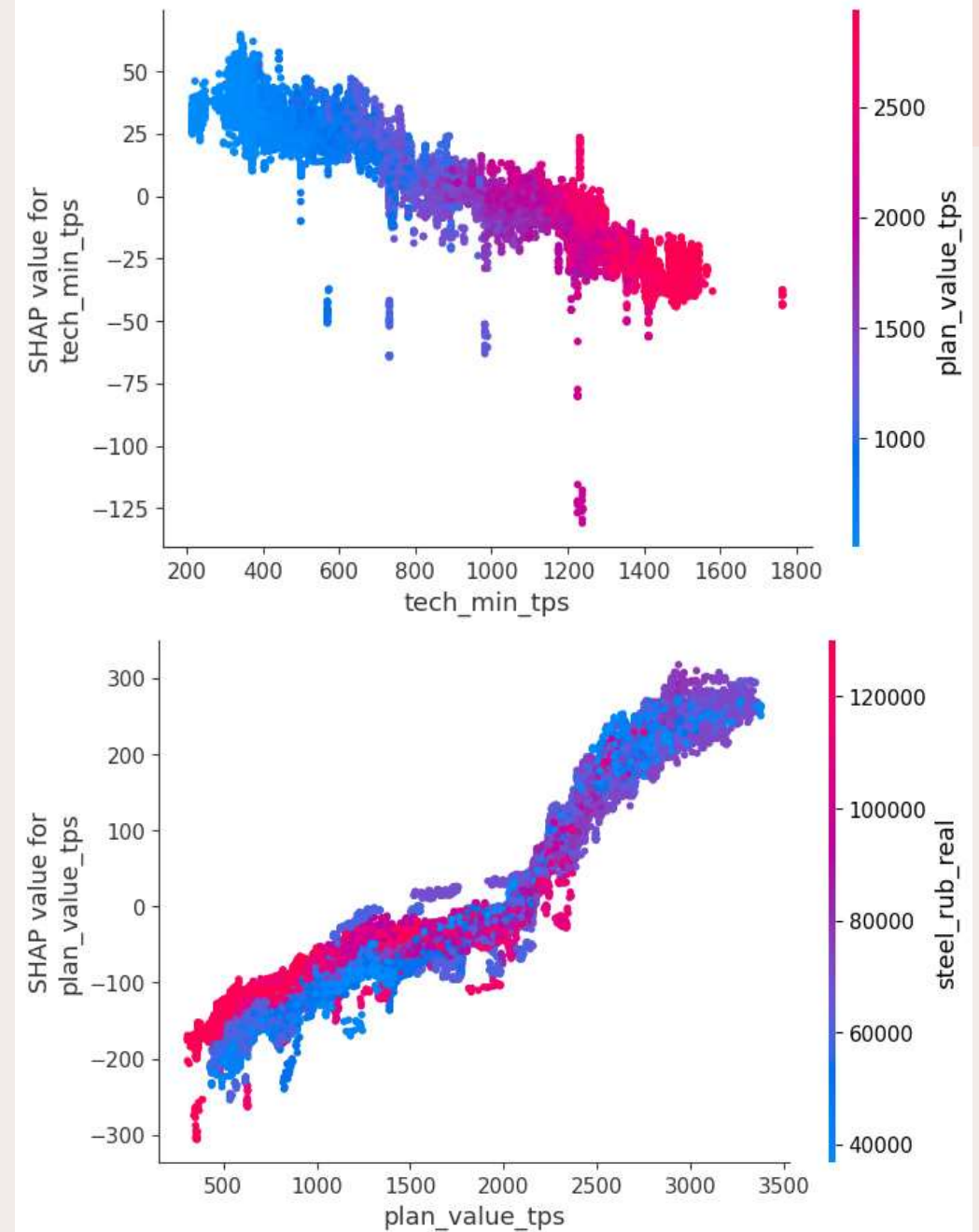
Иркутская область



Иркутская область

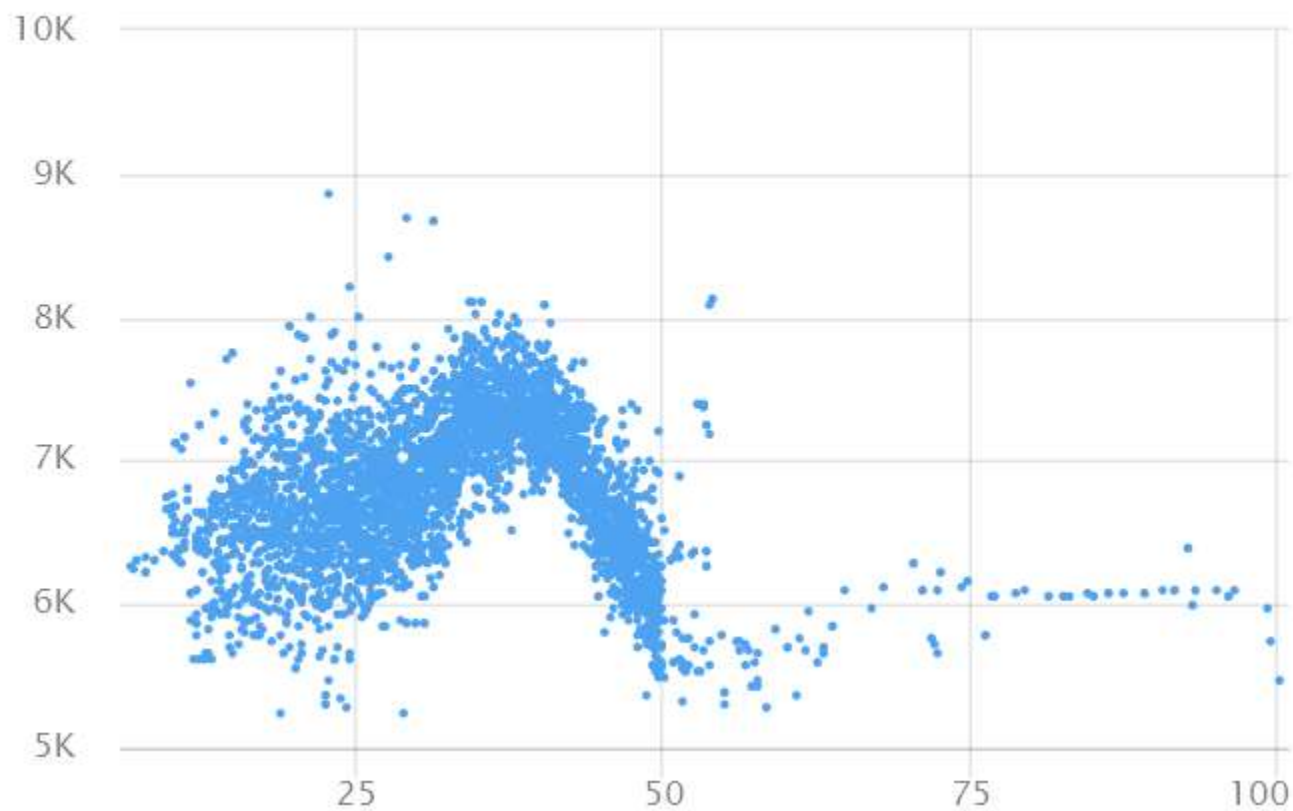
TPS: Тепловые
электростанции;

HPS: Гидро-
электростанции

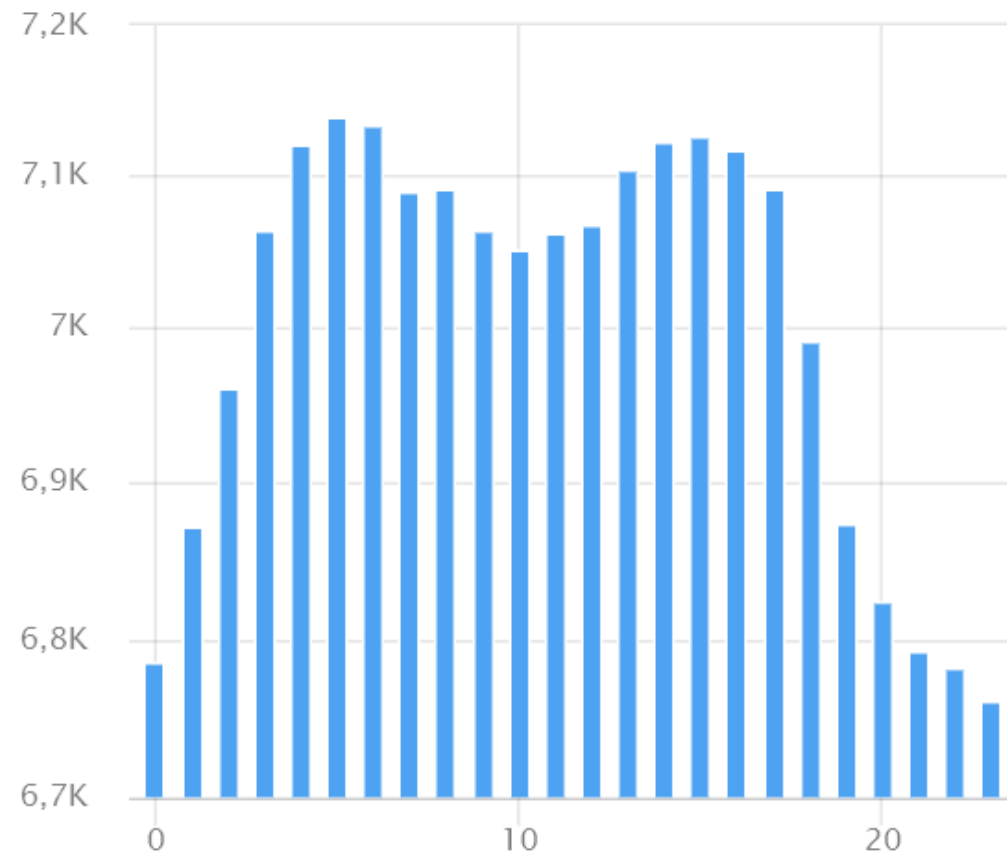


Иркутская область

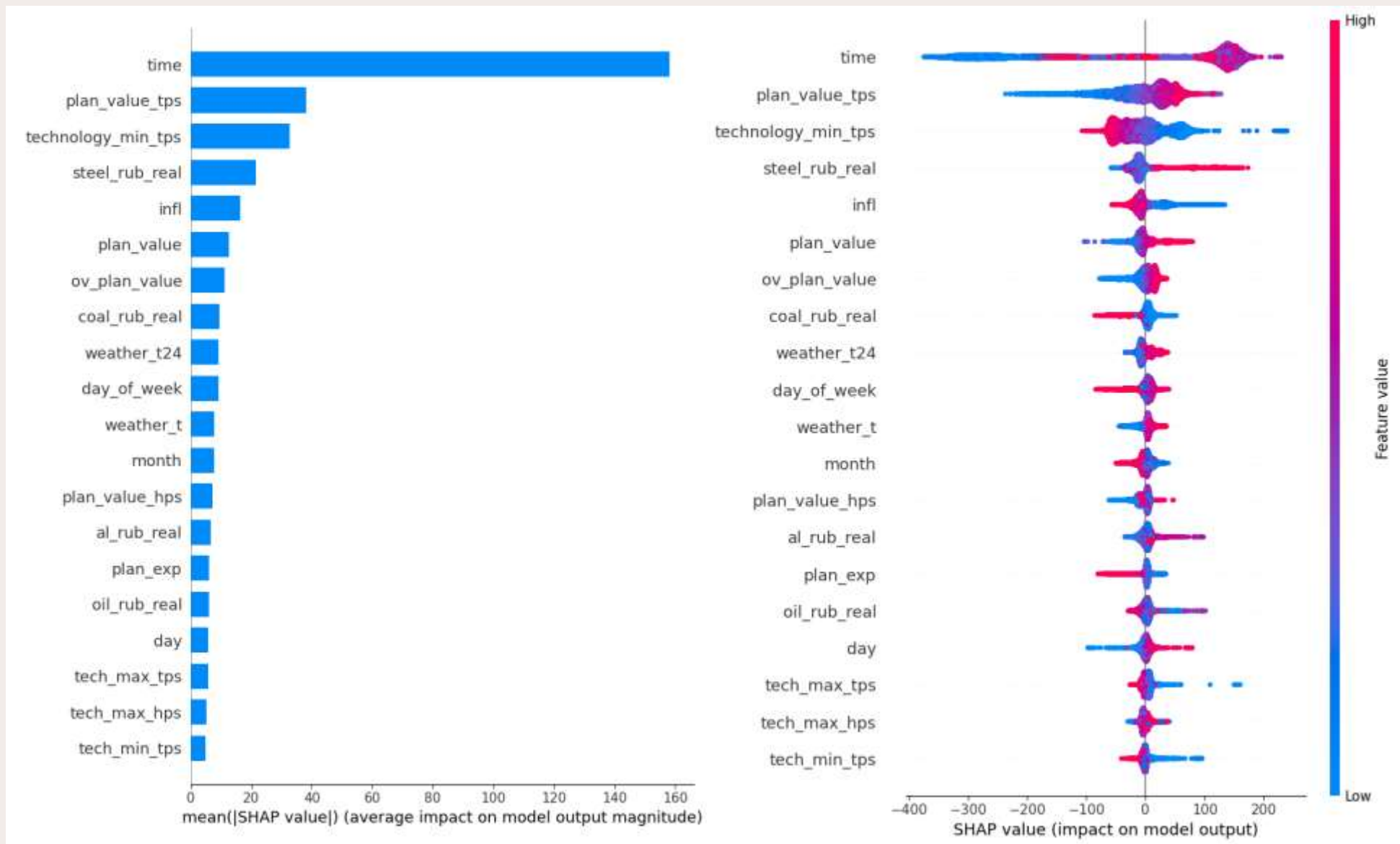
Зависимость объёма от влажности, регион 1



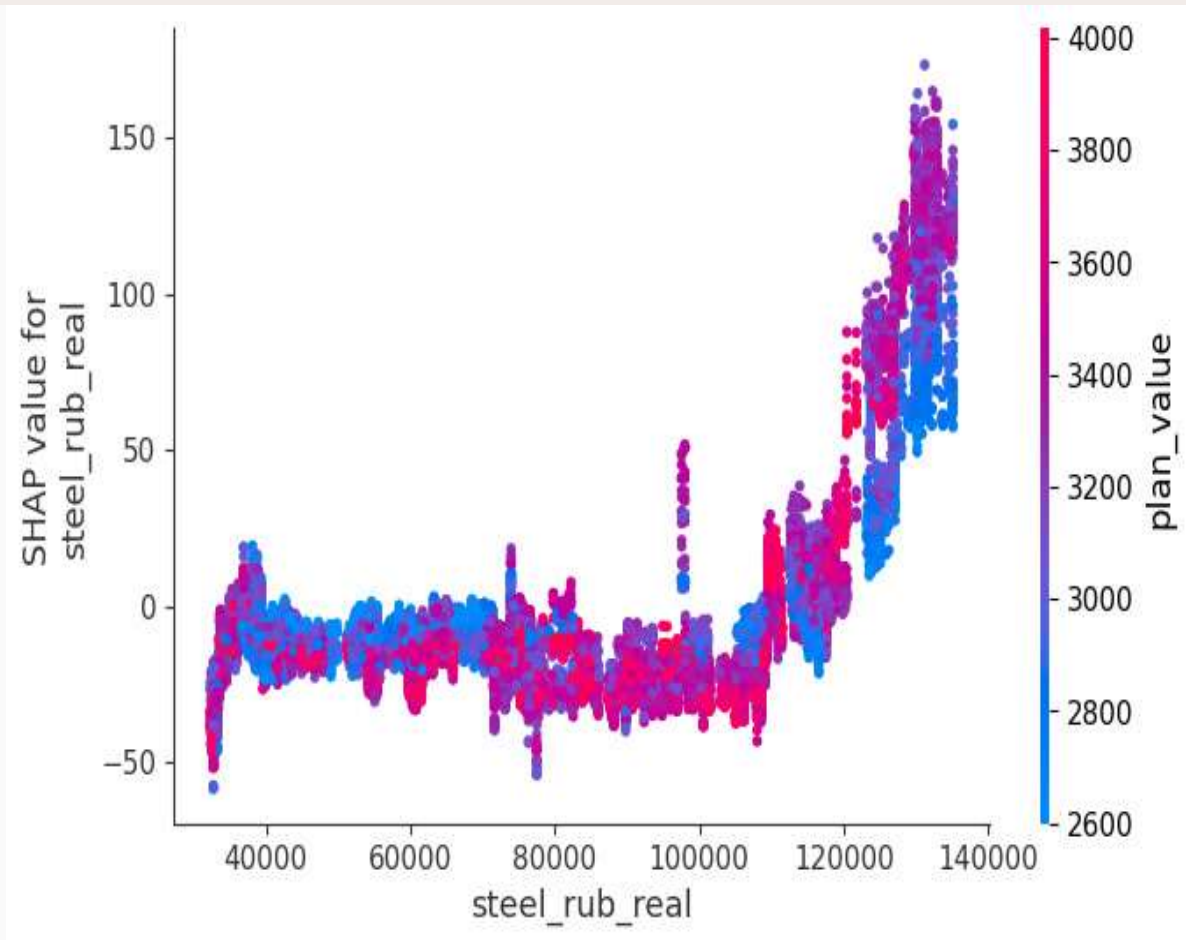
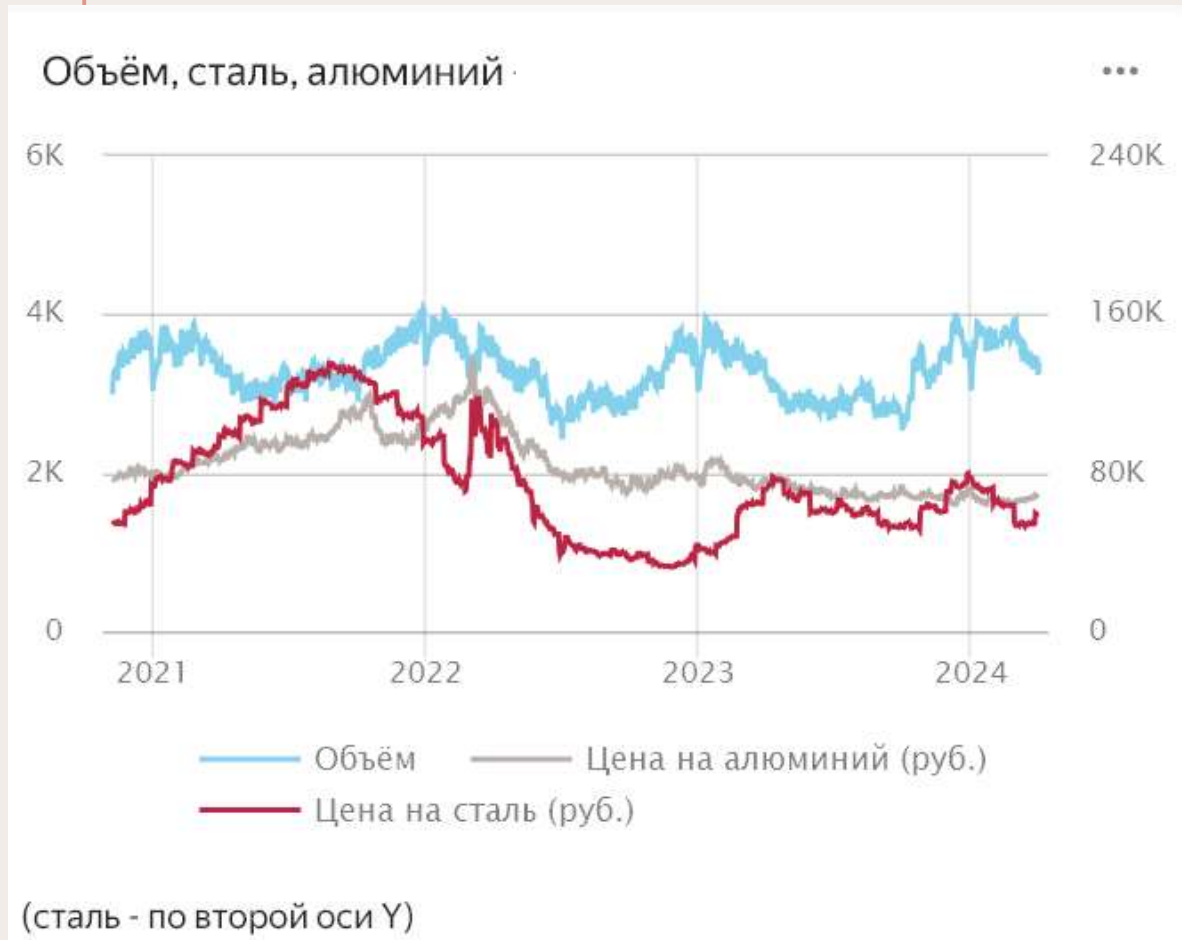
Зависимость объёма от времени суток



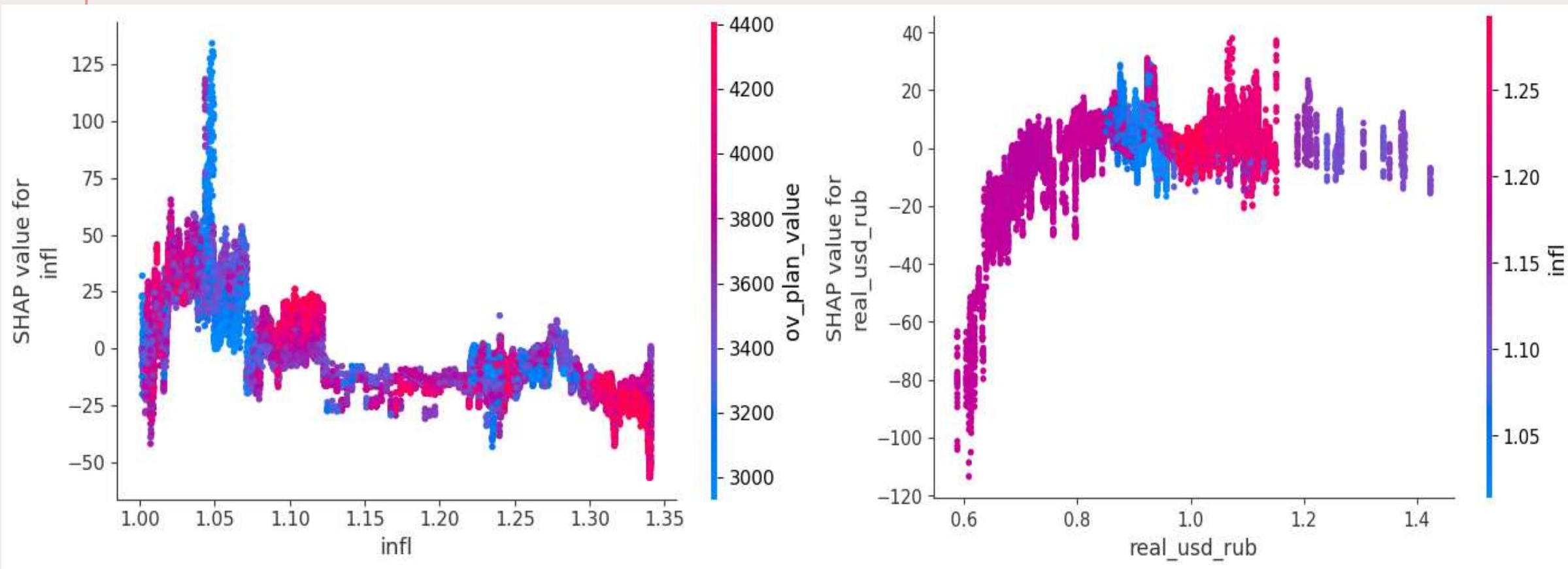
Республика Татарстан



Республика Татарстан

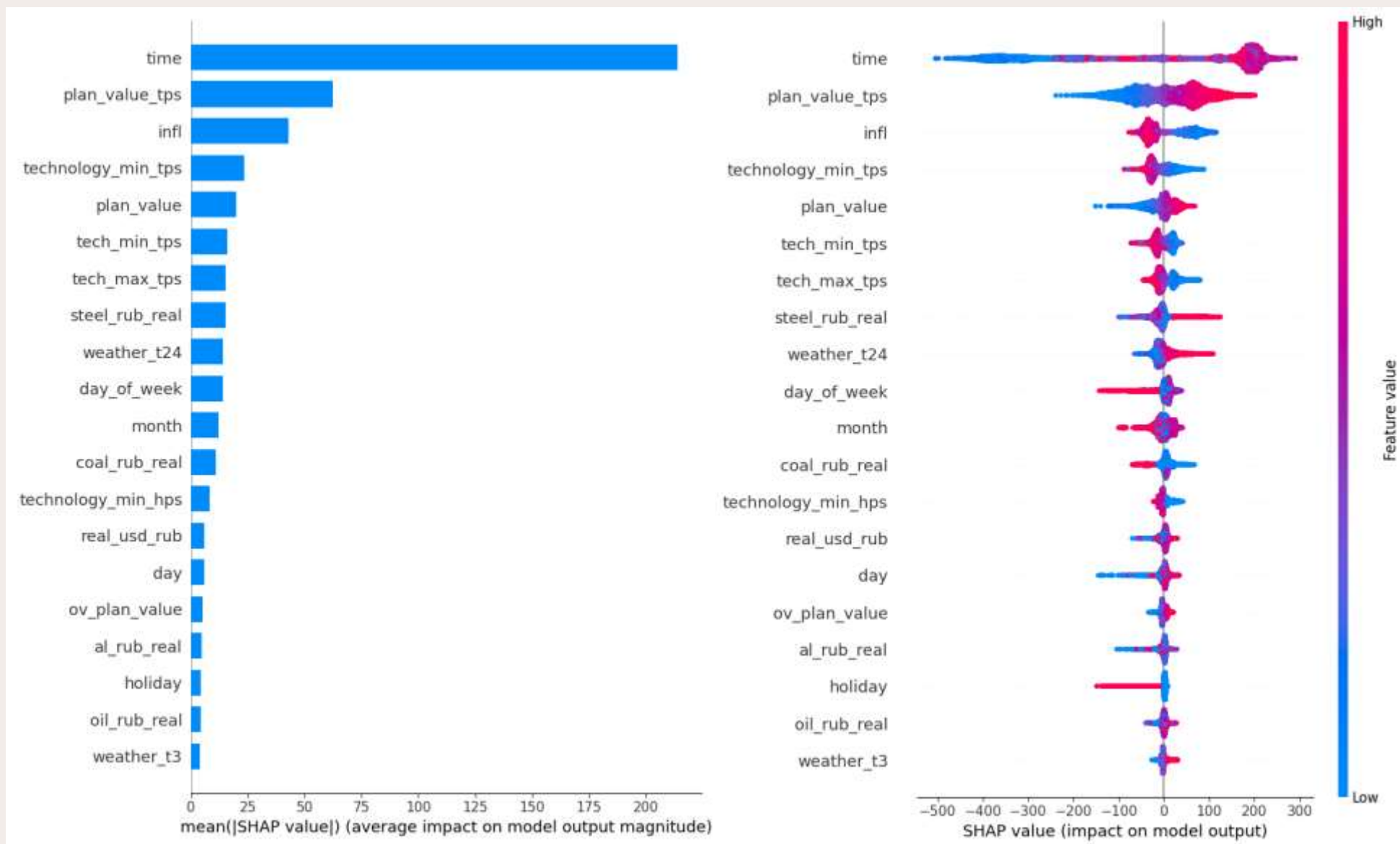


Республика Татарстан



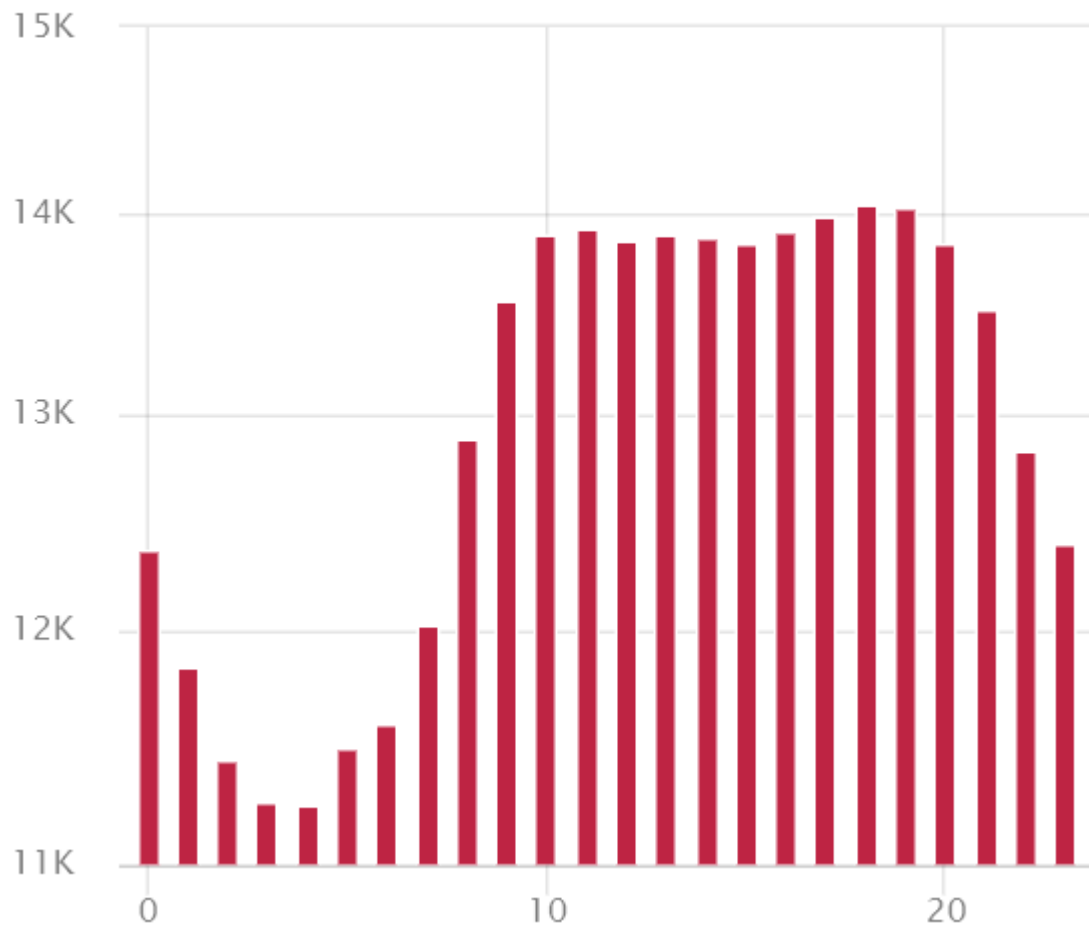
↑ (Этот график по
Челябинской области)

Московская область



Московская область

Зависимость объёма от времени суток



Зависимость объёма от температуры,

