

Исследование процессов убывания площади групп солнечных пятен (исследовательский проект)

Выполнил: Садртдинов Ильдус
Научный руководитель: А.Б. Шаповал

Идеи исследования

- Данные сильно зашумлены (поведение групп пятен, несовершенство наблюдений), необходима фильтрация
- Аппроксимация поведения солнечных пятен моделью
- Использование модели для исследования поведения солнечных пятен

Обзор литературы

- *Petrovay K. and Van Driel-Gesztelyi L. (1997) Making sense of sunspot decay* - скорость убывания площади в среднем пропорциональна отношению радиуса группы к максимальному радиусу

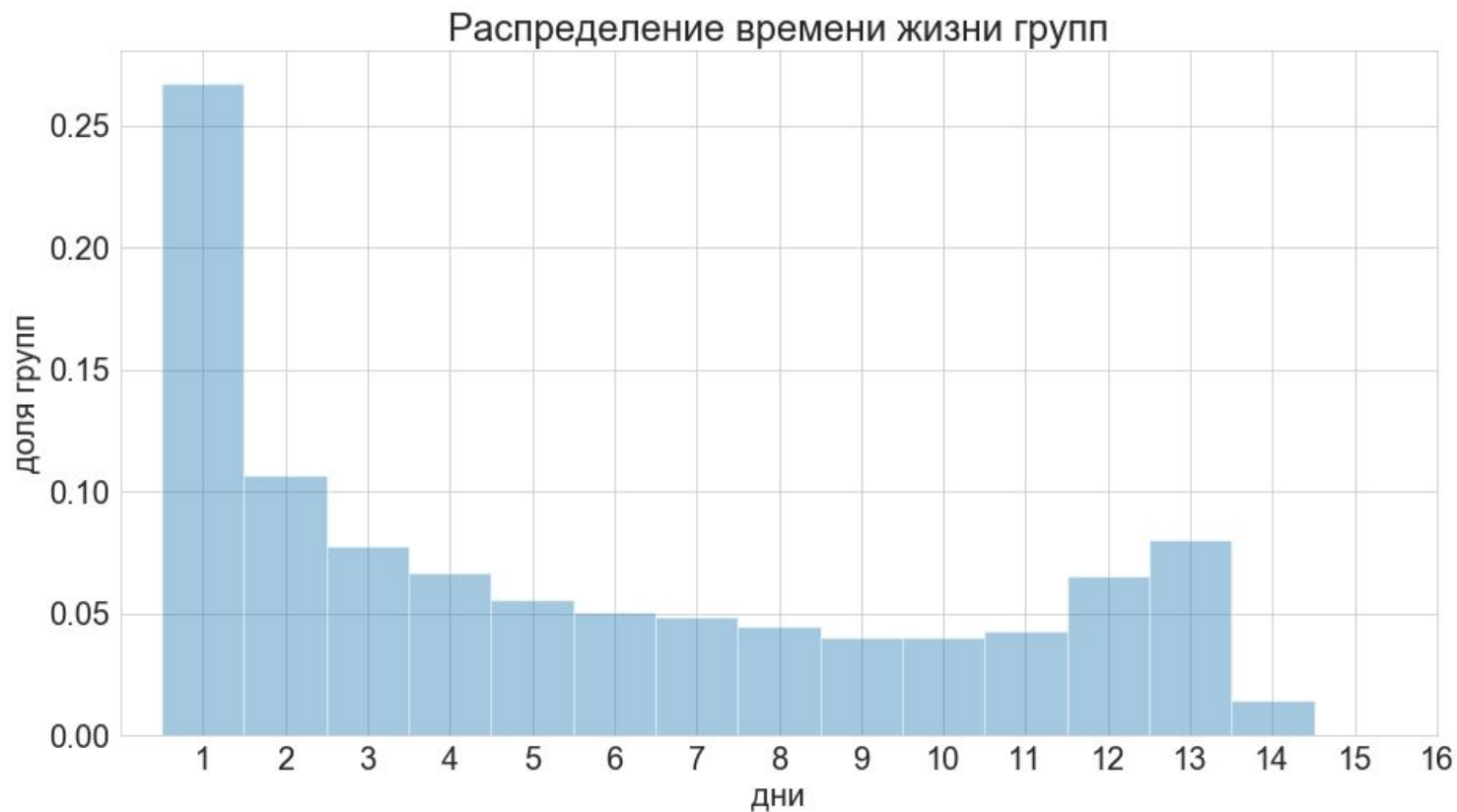
$$D \propto \frac{r}{r_0}$$

- *Hathaway D.H. and Choudhary D.P. (2008) Sunspot group decay* - скорость убывания площади распределена логнормально

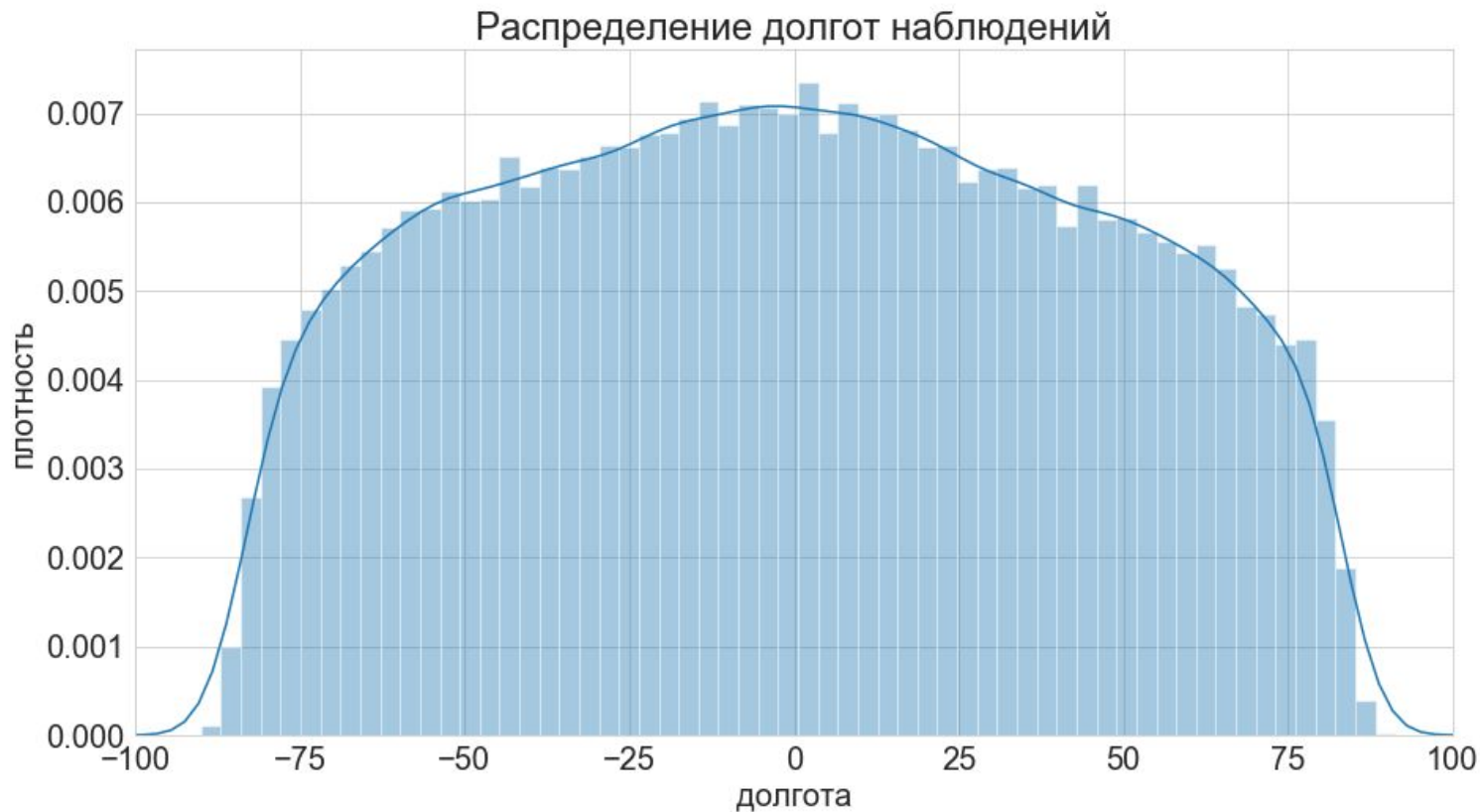
Обзор данных

Время наблюдения	№ группы	Наблюдаемая площадь (μHem)	Скорректир. площадь (μHem)	Широта ($^{\circ}$)	Долгота ($^{\circ}$)
1874-05-09 11:55:40	8600	639.0	378.0	7.4	-30.7

Время жизни групп



Несовершенство наблюдений



Фильтрация данных

Фильтрация данных сходна с методом *Hathaway D.H. and Choudhary D.P. (2008)*

- Рассматриваются только центральные фрагменты историй наблюдений

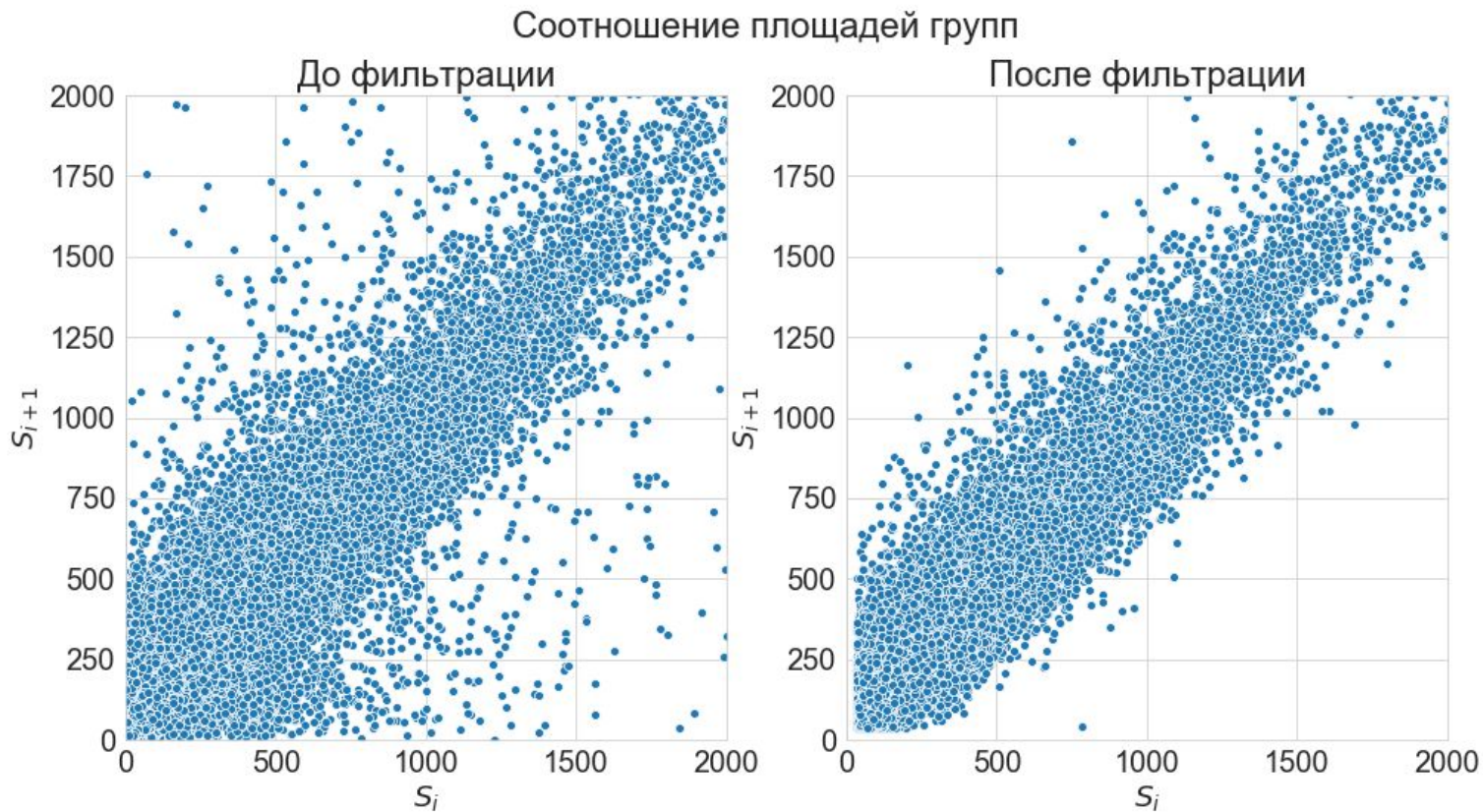
$$\varphi_{\max} = 60^{\circ}$$

- В выборку попадают наблюдения, большие значения минимальной площади

$$S_{\min} = 35 \mu\text{Hem}$$

- Исключаются все истории наблюдений, содержащие пропуски

Результат фильтрации



От последовательностей к векторам

$$\begin{pmatrix} S_1 \\ S_2 \\ \vdots \\ S_n \end{pmatrix} \rightarrow \left\{ (x_i, y_i) \mid i = 1, \dots, n - d \right\}, \text{ где } x_i = \begin{pmatrix} S_i \\ S_{i+1} \\ \vdots \\ S_{i+d-1} \end{pmatrix}, y_i = S_{i+d}$$

Метрика

$$\text{MSLE}(a, X, y) = \frac{1}{l} \sum_{i=1}^l \left(\log y_i - \log a(x_i) \right)^2$$

Базовые модели

- Линейная регрессия

$$S_{d+1} \approx a(x) = \alpha_0 + \alpha_1 S_1 + \dots + \alpha_d S_d$$

- Логарифмическая линейная регрессия

$$\log S_{d+1} \approx \log a(x) = \alpha_0 + \alpha_1 \log S_1 + \dots + \alpha_d \log S_d$$

$$S_{d+1} \approx a(x) = \exp \left(\alpha_0 + \alpha_1 \log S_1 + \dots + \log S_d \right) = c_0 S_1^{\alpha_1} \dots S_d^{\alpha_d}$$

- Метод k-ближайших соседей

Оценивание моделей

$$(S_1^i, \dots, S_{n_i}^i) \rightarrow (\hat{S}_1^i, \dots, \hat{S}_{n_i}^i)$$

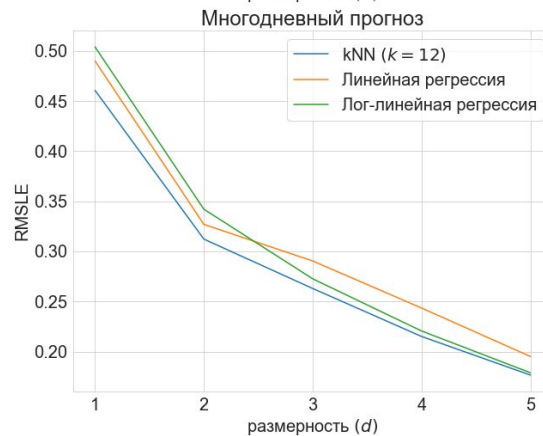
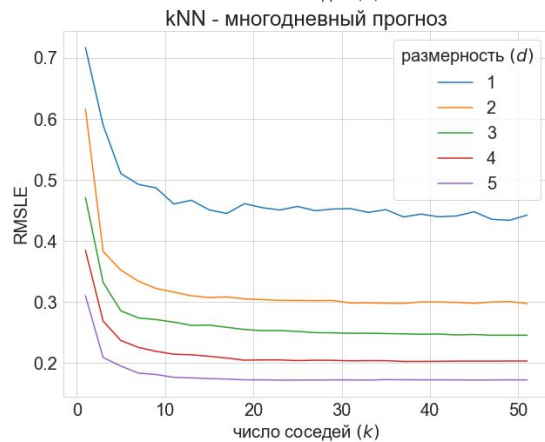
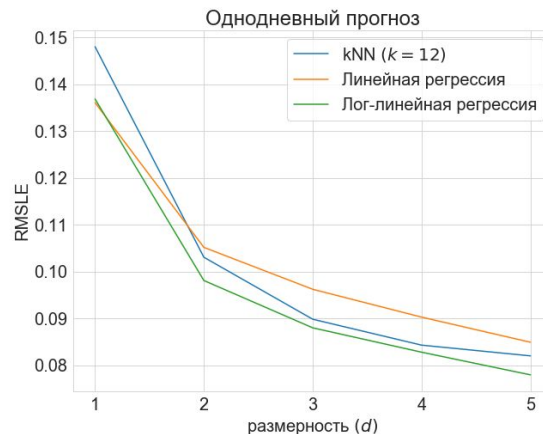
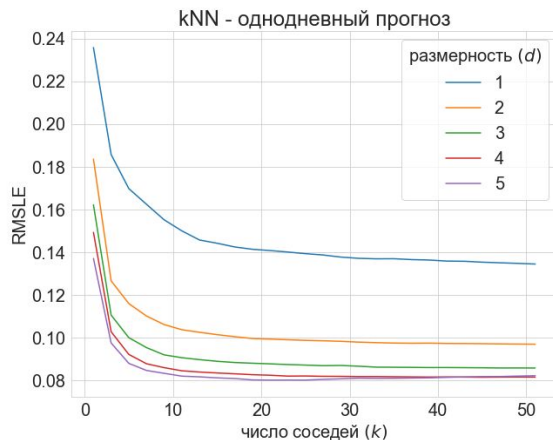
$$\hat{S}_j^i = S_j^i, j = 1, \dots, d$$

$$\hat{S}_j^i = a((\hat{S}_{j-d}^i, \dots, \hat{S}_{j-1}^i)), j = d+1, \dots, n_i$$

$$N = \sum_{i=1}^l (n_i - d)$$

$$\text{MSLE}(a, \mathcal{S}) = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^l \sum_{j=d+1}^{n_i} (\log S_j^i - \log \hat{S}_j^i)^2$$

Подбор гиперпараметров



Скорость убывания площади: сбор статистики

- Модель обучалась только на убывающих фрагментах истории наблюдений, максимальная размерность $d=4$
- С помощью алгоритма продлевались истории наблюдений групп, исчезающих за восточным лимбом Солнца, до достижения минимальной площади

$$\varphi_{\min} = 60^{\circ} \qquad S_{\min} = 45 \mu\text{Hem}$$

- Из рассмотрения исключались пятна, приходящие с западного лимба Солнца

$$\varphi_{\max} = -60^{\circ}$$

- Из оставшихся последовательностей рассматривались только строго убывающие после максимума, имеющие длину не меньше $T=10$ дней

Скорость убывания площади: модель

$$D_i = \frac{S_{i-1} - S_{i+1}}{2}$$

$$\sigma = \frac{S}{S_0}$$

$$D \approx \alpha \sigma^\gamma$$

$$\mathcal{L}(\alpha, \gamma) = \frac{1}{2l} \sum_{i=1}^l \left(\log(D_i) - \log(\alpha \sigma_i^\gamma) \right)^2 \rightarrow \min_{\alpha, \gamma}$$

Скорость убывания площади: модель

$$D \approx \alpha \sigma^\gamma$$

α^*	γ^*
85.979	0.514

$$D \propto \sqrt{\sigma} = \sqrt{\frac{S}{S_0}}$$

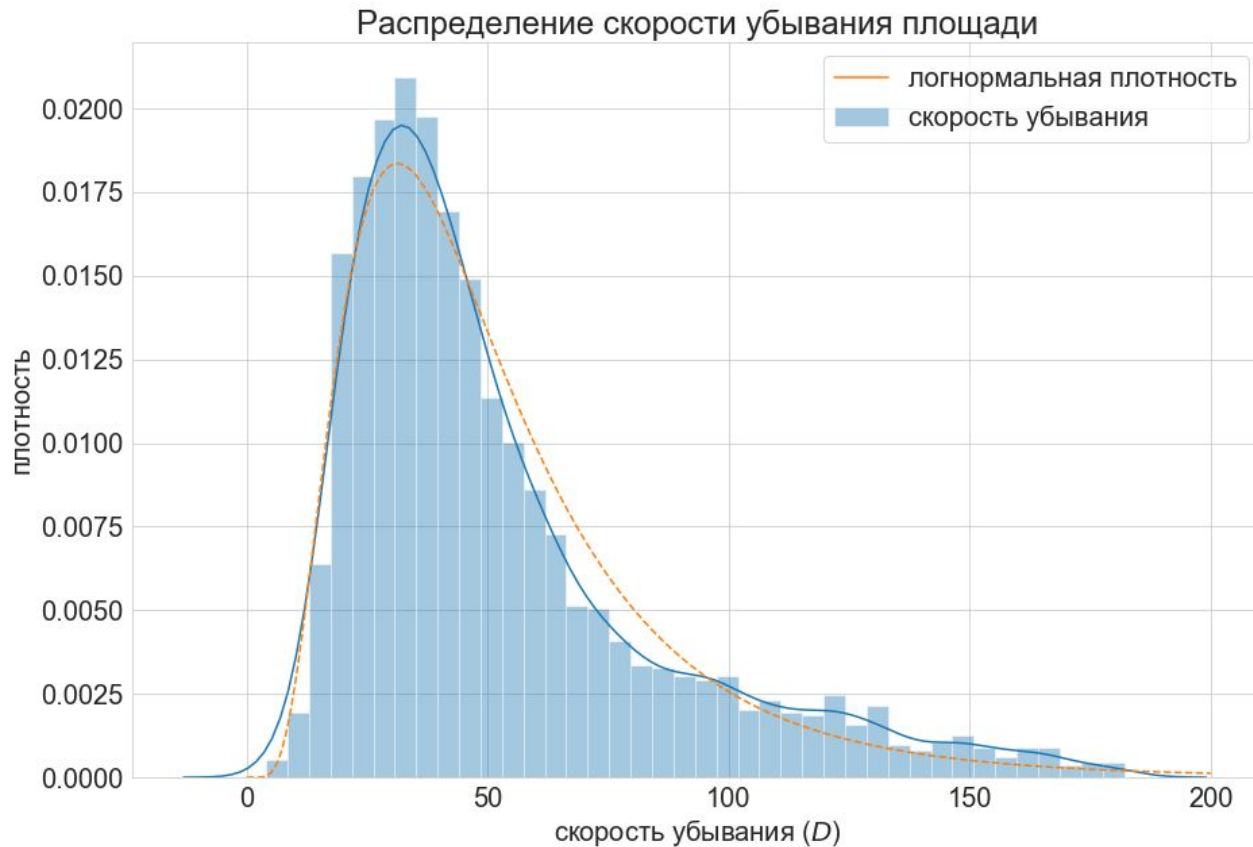
$$D \propto \frac{r}{r_0}$$

Результат *Petrovay K. and Van Driel-Gesztelyi L. (1997)*

Скорость убывания площади: модель



Скорость убывания площади: распределение



Заключение

- Разработана модель для предсказания площадей солнечных пятен
- С помощью методов машинного обучения подтвержден результат *Petrovay K. and Van Driel-Gesztelyi L. (1997)*

$$D \propto \sqrt{\frac{S}{S_0}}$$

- Логнормальное распределение скорости убывания совпадает с результатом *Hathaway D.H. and Choudhary D.P. (2008)*

ИСТОЧНИКИ

1. *Bumba V.* (1963) Development of spot group areas in dependence on the local magnetic field // Bulletin of the Astronomical Institute of Czechoslovakia, №14, P. 91-96.
2. *Hathaway D.H., Choudhary D.P.* (2008) Sunspot group decay // Solar Phys. (2008), №250. P. 269-278.
3. *Petrovay K., Van Driel-Gesztelyi L.* (1997) Making sense of sunspot decay // Solar Phys. (1997), №166. P. 249-266.
4. *Royal Observatory, Greenwich USAF/NOAA Sunspot Data* [Электронный ресурс] / Dr. David Hathaway. URL: <https://solarscience.msfc.nasa.gov/greenwch.shtml>, свободный. (дата обращения: 31.01.20).
5. *SciPy Lognormal distribution* [Электронный ресурс] / The SciPy community. URL: <https://docs.scipy.org/doc/scipy/reference/generated/scipy.stats.lognorm.html>, свободный. (дата обращения: 14.05.20).