ГЕОМАГНИТНАЯ АКТИВНОСТЬ, КЛИМАТИЧЕСКИЕ ИЗМЕНЕНИЯ И УРОЖАЙНОСТЬ ЧАЙНЫХ ПЛАНТАЦИЙ КЕНИИ

Василенко Т.А.¹, Кириллов А.К.²

¹*Санкт-Петербургский горный университет, Санкт-Петербург, Россия*

²*ГБУ ДО ЦДЮТТ Кировского района Санкт-Петербурга, Санкт-Петербург, Россия*

GEOMAGNETIC ACTIVITY, CLIMATE CHANGE AND YIELDS OF TEA PLANTATIONS IN KENYA

Vasilenko T.A.¹, Kirillov A.K.²

¹*St. Petersburg's Mining University, St. Petersburg, Russia*

²*Center for Children and Youth Technical Creativity of the Kirovsky District, St. Petersburg, Russia*

The analysis of the factors determining the high yield of tea grown in three regions: China, India and Kenya has been carried out. It is shown that only for Kenyan tea in 2010–2017 there is a fairly high correlation dependence of yield on geomagnetic activity, expressed by A_p and Dst indices. The low agricultural production level in the highlands of Kenya leads to a dependence on weather conditions. Therefore, inverse linear correlation of tea yield on the level of geomagnetic disturbance at the early stage of tea leaf vegetation is observed.

DOI: 10.31725/0552-5829-2021-63-66

Влияние солнечной активности на урожайность зерновых культур имеет длительную историю, начиная от основополагающего исследования В. Гершеля [1]. Аналогичные закономерности зависимости урожайности от 11-летнего цикла солнечной активности наблюдались и для других культур, например, винограда во Франции [2]. Очевидно, что урожайность регулируется, прежде всего, через атмосферные процессы, определяющие увлажненность почвы и температурный режим. Однако корреляционные зависимости между числом пятен и геомагнитной возмущенностью позволяют прогнозировать неурожайные засушливые годы. Как было показано ранее [3], в наибольшей степени внешние факторы, связанные с космической погодой, влияют на урожайность зерновых в регионах, где используются семена низкого качества и не применяются современные технологии сельскохозяйственного производства.

Цель нашего исследования – выяснить, какие факторы определяют урожайность чайного листа на территории главных его производителей и экспортеров: Китая, Индии, Кении. Данная проблема является актуальной в свете климатических изменений в ближайшие десятилетия.

Использованы данные об объемах производства и площадях чайных плантаций за 2010–2017 гг. [4]. Урожайность вычислена как отношение этих двух величин. Поскольку исследуемый период имеет протяженность

менее одного 11-летнего цикла солнечной активности, не представляется возможным связать урожайность с индексами чисел Вольфа или площадей пятен. Не наблюдается статистически значимой корреляционной зависимости урожайности и чисел Вольфа. Однако использование индексов, определяющих геомагнитную активность, дало значимые результаты. Для этого по средним за сутки значениям индекса A_p Центра геомагнитных данных в Потсдаме и часовым значениям индекса Dst в Киото были вычислены среднемесячные значения этих величин. Использовались данные за март, как наиболее чувствительные к фазе солнечного цикла и совпадающие с сезоном, который в наибольшей степени определяет урожайность чайного куста. Поскольку мы рассматриваем регионы выращивания чая, близкие к экватору, наиболее подходящим индексом геомагнитной возмущенности является Dst -индекс, характеризующий вариации интенсивности кольцевого экваториального тока магнитосферы, возникающих под действием солнечной активности. В дальнейшем использовался индекс A_p , так как эти индексы имеют высокую взаимную корреляцию.

Поскольку Китай и Индия являются основными мировыми производителями чая, в первую очередь рассмотрено изменение урожайности чая для этих государств. Обнаружено отсутствие какой-либо зависимости от уровня солнечной активности для урожайности чая, учитывая, что максимуму 24 цикла соответствует 2014 год. Наблюдается устойчивый рост урожайности по линейному закону для Китая. Для Индии изменения урожайности можно аппроксимировать параболической зависимостью.

Условия выращивания чая в Китае и Индии существенно отличаются. Китайские плантации расположены в горных районах, поскольку чайные кусты требуют достаточно умеренного температурного режима, не превышающего 26 градусов Цельсия.

Как показано по данным 15 провинций Китая, в которых выращивается основная доля чая [5], урожайность чая зависит от влажности почвы, продолжительности сезона муссонов и максимальных температур сезона. Наибольшая корреляция установлена между урожайностью, датой окончания сезона муссонов и среднесуточной влажностью в этот период. На уровне значимости 0.05 снижение на 1% даты окончания муссонов приводит к увеличению урожайности чая примерно на 0.5%, а увеличение влажности на 1% в этот период приводит к снижению урожайности на 0.23%. Из внешних факторов, оказывающих наибольшее воздействие на урожайность, является солнечная радиация в период муссонов. Для этого фактора наблюдается статистически значимая положительная корреляция.

Индия находится на втором месте в мире с объемом производства 1325,0 тыс. тонн и четвертым крупнейшим экспортером: в 2018 году она поставила 256,1 тыс. тонн чая. 70% всей чайной продукции Индии делают в провинции Ассам, граничащей с Китаем, Бирмой и Бангладеш. В отличие от Китая ассамские чаи выращивают не в горах, а на равнинах [6]. В

наибольшей степени на урожайность чая Ассам, выращиваемого на равнинных территориях, отрицательное влияние оказывают максимальная температура, превышающая 26°C, и значительное количество осадков в период муссонов, происходящих в летние месяцы.

С 2010 по 2017 годы происходило увеличение урожайности с колебаниями относительно тренда в пределах 0.1 Т/Га (рис. 1, б). Явной зависимости урожайности от фазы 11-ти летнего цикла солнечной активности не наблюдается. Также не обнаружено корреляционной зависимости между урожайностью чая и геомагнитной возмущенностью.

Третье место в мире по производству чая занимает Кения, крупнейший поставщик черного чая на мировой рынок. В отличие от ведущих стран-производителей – Китая и Индии, где чай потребляется в основном внутри страны, Кения значительную долю продукции экспортирует. В 2018 году Кения была крупнейшим экспортером чая в мире, продав на экспорт 80 процентов произведенного в стране чая, производство которого является одной из основных сельскохозяйственных отраслей страны.

Тропический климат и насыщенная вулканическим пеплом почва в чаеводческих областях Кении, расположенных в высокогорных районах на высотах, превышающих 2000 м над уровнем моря, придают местному чаю особенный, яркий цвет и ароматный вкус.

К сожалению, как и многие другие отрасли сельского хозяйства, производство чая в Кении подвержено последствиям изменения климата. Повышение температуры, непредсказуемость осадков и участвовавшие экстремальные погодные явления, такие как засуха и заморозки, создают серьезные проблемы.

В исследовании [7], используя спутниковые наблюдения, дана характеристика реакции урожая чая на водный и тепловой стресс с 2008 по 2016 год в Кении. Обнаружено, что индуцированная солнечным светом флуоресценция очень хорошо отражает межгодовую изменчивость урожайности чая (коэффициент корреляции Пирсона, $r = 0.93$). Эти колебания в значительной степени обусловлены ежедневной динамикой влажности почвы и температуры в начальный период вегетации чайного листа (с января по апрель). Анализ повышения температуры в результате климатических изменений предполагает снижение площадей, благоприятных для выращивания чая, а также снижение урожайности в 2040–2070 годах на 10% по сравнению с 1990–2020 годами. В значительной степени неблагоприятное увеличение температуры можно компенсировать контролем увлажненности почвы.

Наблюдаемая высокая корреляция урожайности с интенсивностью солнечной радиации, максимальными температурами и влажностью почвы [7, рис. 2] позволяют выразить изменение этих факторов, определяющих урожайность чая в Кении через индексы геомагнитной возмущенности. В результате нашего исследования была получена линейная зависимость

непосредственно между урожайностью чая и индексом геомагнитной возмущенности Ap (рис. 1).

Рис. 1. Зависимость урожайности кенийского чая от геомагнитной возмущенности ($R^2 = 0.70$).

Выводы

Рассмотрены данные о производстве чая в Китае, Индии и Кении, обеспечивающие более 90% мирового производства этого популярного продукта. На примере Китая показано, что высокотехнологичная организация выращивания чая позволила обеспечить положительную динамику урожайности чайных плантаций независимо от факторов погоды. Поэтому не прослеживается какой-либо корреляционной зависимости урожайности от возмущенности геомагнитного поля, выражаемого через индексы Dst и Ap. Другой пример отсутствия такой корреляции относится к чайным плантациям Индии, расположенным на равнинах.

Только в Кении наблюдается значимая отрицательная корреляция урожайности чая и индексов геомагнитной возмущенности, которые в нашем исследовании вычислялись как средние значения для месяцев январь (Dst) и март (Ap), определяющих урожайность чайного листа.

Литература

1. *Herschel W.* // Philosophical Transactions of the Royal Society, 1801, 91, 265-318, doi: 10.1098/rstl.1801.0015
2. *Eniström A.* Samlade uppsatser ur Teknisk Tidskrift, 1914.
3. *Kamenir E.A., Kirillov A.K.* // Biophysics, 1992, 37(3), 517-526.
4. *Смоленцева Е.В.* // Московский экономический журнал, 8, 2019, doi: 10.24411/2413-046X-2019-18020
5. *Boehm R., et al.* // Climate, 2016, 4, 20, doi:10.3390/cli4020020
6. *Duncan M.A., Saikia S.D., Gupta N., Biggs E.M.* // Applied Geography, 2016, 77, 64-71.
7. *Rigden A.J., Ongoma V., Huybers P.* // Environ. Res. Lett., 2020, 15-044003, doi: 10.1088/1748-9326/ab70be