

Картография и геоинформатика
Добрякова В.А., Широкова Л.М.

КАРТОГРАФИЯ И ГЕОИНФОРМАТИКА

Научная статья

УДК 910.3

doi: 10.17072/2079-7877-2025-3-189-199

EDN: UUABOK



МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРИГОДНОСТИ ЗЕМЕЛЬ ДЛЯ ВЫРАЩИВАНИЯ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ КУЛЬТУР В САМАРСКОЙ ОБЛАСТИ В УСЛОВИЯХ ИЗМЕНЕНИЯ КЛИМАТА

Валентина Аркадьевна Добрякова ¹, Любовь Михайловна Широкова ²

^{1, 2} Тюменский государственный университет, г. Тюмень, Россия

¹ v.a.dobryakova@utmn.ru

² shtampvp@mail.ru

Аннотация. Представлены результаты применения метода максимальной энтропии (MaxEnt) для моделирования пригодности сельскохозяйственных земель для выращивания основных зерновых культур в Самарской области в условиях изменения климата. Территория Самарской области характеризуется высокой степенью распаханности и развитым агропроизводством. Около половины посевных площадей используется под зерновые культуры (ячмень, яровая и озимая пшеница, кукуруза на зерно). Наибольшее влияние на урожайность данных сельскохозяйственных культур оказывают абиотические факторы, в частности температура и осадки. Согласно прогнозам, изменения климата существенно изменят географию земель, пригодных для выращивания зерновых культур. В качестве основного применялся инструмент «Прогнозирование только присутствия (MaxEnt)», реализованный в программном комплексе ArcGISPro. Модель MaxEnt основана на принципах логистической регрессии. Для обучения используются заданные местоположения, а также связанные с ними значения объясняющих (независимых) и зависимой переменных. Обученная модель позволяет сделать прогноз величины зависимой переменной при любых значениях независимых переменных. В нашей модели заданные известные местоположения – распределение сельскохозяйственных земель для выращивания основных зерновых культур в Самарской области. В качестве объясняющих использовались 19 биоклиматических переменных. Прогнозные значения переменных рассчитаны в соответствии с климатическим сценарием SSP3-7.0 на 2050 г. Получены две карты пригодности земель – текущей (модель, описывающая распределение в современных климатических условиях) и будущей (при реализации выбранного сценария будущего климата на 2050 год) – для выращивания пшеницы, ячменя и кукурузы на территории Самарской области, с оценкой вероятности присутствия. Оценка качества модели выполнена по показателю AUC, площадь – по ROC-кривой, которая отражает соотношение верно классифицированных моделью точек присутствия признака и неверно классифицированных точек фона. Выявлено, что в будущем территория для выращивания основных зерновых культур существенно сократится за счёт южных районов и сместится на север области.

Ключевые слова: Самарская область, сельское хозяйство, моделирование пригодности земель, модель MaxEnt, ArcGISPro

Для цитирования: Добрякова В.А., Широкова Л.М. Моделирование пригодности земель для выращивания сельскохозяйственных культур в Самарской области в условиях изменения климата // Географический вестник=Geographical bulletin. 2025. № 3(74). С. 189–199. DOI: 10.17072/2079-7877-2025-3-189-199. EDN: UUABOK



© 2025 Добрякова В. А., Широкова Л. М. Лицензировано по CC BY 4.0. Чтобы просмотреть копию этой лицензии, перейдите по ссылке <https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>

Картография и геоинформатика
Добрякова В.А., Широкова Л.М.

CARTOGRAPHY AND GEOINFORMATICS

Original article

doi: 10.17072/2079-7877-2025-3-189-199

EDN: UUABOK

MODELING THE SUITABILITY OF LANDS FOR CULTIVATING AGRICULTURAL CROPS IN THE SAMARA REGION UNDER CLIMATE CHANGE

Valentina A. Dobryakova ¹, Lyubov M. Shirokova ²

^{1, 2} Tyumen State University, Tyumen, Russia

¹ v.a.dobryakova@utmn.ru

² shtampvp@mail.ru

Abstract. The paper presents the results of applying the Maximum Entropy (MaxEnt) method for modeling the suitability of agricultural land for the cultivation of major grain crops in the Samara Region under changing climate conditions.

The territory of the Samara Region is characterized by a high proportion of arable lands and developed agricultural production. About half of the cultivated areas are used for grain crops (barley, spring and winter wheat, grain maize).

The yield of these agricultural crops is primarily influenced by abiotic factors, especially temperature and precipitation. According to forecasts, global warming will significantly change the geography of land suitable for the cultivation of grain crops.

The MaxEnt presence-only modeling tool, implemented in the ArcGIS Pro software package, was used in the study as the main instrument.

The MaxEnt model is based on the principles of logistic regression. The model is trained using specified locations and values of explanatory (independent) and dependent variables associated with them. The trained model allows for predicting the value of the dependent variable for any values of the predictors.

In our model, the distribution of agricultural land for the cultivation of major grain crops in the Samara Region serves as the specified known locations. 19 bioclimatic variables were used as explanatory variables. The predicted variable values were calculated according to the SSP3-7.0 climate scenario for the year 2050.

We obtained two maps of land suitability, current and future, for the cultivation of wheat, barley, and maize in the Samara Region, with an assessment of the probability of presence. The quality of the model was assessed using the AUC (area under the curve) statistic, which reflects the relationship between presence points that are correctly classified by the model and incorrectly classified background points.

The study has found that in the future, the territory suitable for the cultivation of major grain crops will significantly decrease, primarily in the southern districts, and will shift toward the northern part of the region.

Keywords: Samara Region, agriculture, land suitability modeling, MaxEnt model, ArcGIS Pro

For citation: Dobryakova, V.A., Shirokova, L.M. (2025). Modeling the suitability of lands for cultivating agricultural crops in the Samara Region under climate change. *Geographical Bulletin*. No. 3(74). Pp. 189–199. DOI: 10.17072/2079-7877-2025-3-189-199. EDN: UUABOK

Введение

Изменение климата представляет собой одну из наиболее актуальных и сложных проблем современности, оказывая значительное влияние на различные сферы человеческой деятельности, включая сельское хозяйство [11, 19]. В последние годы наблюдается заметное изменение температурных режимов, а также увеличение частоты экстремальных погодных явлений. В таких условиях способность оценивать и предсказывать пригодность земель для выращивания различных сельскохозяйственных культур становится критически важной для обеспечения продовольственной безопасности.

Кроме того, изменения в климате затрагивают не только урожайность, но и устойчивость агросистем, что требует разработки адаптивных управленческих стратегий. Моделирование пригодности земель позволяет выявить наиболее перспективные районы для сельскохозяйственного производства, а также оптимизировать использование имеющихся ресурсов и минимизировать риски потерь.

Для исследования выбрана территория Самарской области. Площадь сельскохозяйственных угодий составляет 3996,1 тыс. га, 75% территории области. Около 70% территории области распахано [18]. По данным Самарского статистического ежегодника, примерно половина посевной площади сельскохозяйственных культур используется под зерновые культуры, из них за 2022 год самыми востребованными стали: ячмень, яровая и озимая пшеница, кукуруза на зерно [10, 18].

Наибольшее влияние на урожайность вышеперечисленных сельскохозяйственных культур на территории области оказывают абиотические факторы, особенно значимыми являются температура и осадки [5, 14, 17].

Для построения прогноза использован метод максимальной энтропии на базе функционала программного комплекса ArcGIS Pro (инструмент «Прогнозирование только присутствия (MaxEnt)»).

Картография и геоинформатика
Добрякова В.А., Широкова Л.М.

Использование модели MaxEnt позволяет оценить вероятность присутствия изучаемого явления как в современных условиях, так и при реализации выбранного сценария будущего климата.

В последнее время растет применение данной модели для изучения ареалов распространения сельскохозяйственных культур при изменении природных условий. Например, в исследованиях Fitzgibbon A., Pisut D., Fleisher D. [23] и Kogo B.K., Kumar L., Koech R., Kariyawasam C.S. [25] модель присутствия использована для прогноза пригодности земель для выращивания кукурузы в США и Кении, а в статье Yu X., Tao X., Liao J. et al. [29] – для поиска и оценки подходящих районов в Китае для выращивания ратунового и двухразового риса.

Цель исследования – прогнозирование пригодности сельскохозяйственных земель для возделывания основных зерновых культур (пшеницы, ячменя и кукурузы) в Самарской области в условиях изменения климата. Ожидается, что результаты проведенного исследования помогут разработать рекомендации по оптимальному использованию земельных ресурсов.

Методология и методы исследования

В рамках исследования применялась методология «Прогнозирование только присутствия (MaxEnt)», реализованная в программном комплексе ArcGISPro.

Модель максимальной энтропии – это корреляционная модель машинного обучения с широкими приложениями в исследованиях экологии, лесном хозяйстве, медицине и т. д. [15, 16, 20, 26, 27, 28, 30]. MaxEnt подходит для изучения культур, чувствительных к климату [1, 7, 13, 23, 25], и всё чаще используется для оценки пригодности пахотных земель, особенно в отношении климата.

Модель MaxEnt основана на принципах логистической регрессии. Для обучения используются заданные местоположения, связанные с ними значения объясняющих и зависимой переменных. Обученная модель позволяет сделать прогноз зависимой переменной при любых значениях независимых объясняющих переменных [26].

Особенностью модели логистической регрессии является то, что зависимая переменная принимает значения 0 (явления нет) или 1 (явление присутствует). Обучение модели заключается в расчете линейной границы разделения точек присутствия и отсутствия.

По сравнению с логистической регрессией в MaxEnt понятие точек отсутствия заменяется на точки фона. Заданием параметра «Относительный вес присутствия к фону» от 1 до 100 появляется возможность устанавливать значимость отсутствия явления в точках фона: 1 соответствует логистической регрессии (точка фона является точкой отсутствия), а 100 тому, что наличие или отсутствие явления в точках фона неизвестно.

Инструмент MaxEnt запускается дважды: в режиме обучения и в режиме прогнозирования.

Входные данные инструмента (основные):

1. Известные местоположения точек присутствия.
2. Изучаемая область.
3. Независимые переменные, описывающие факторы окружающей среды, которые влияют на присутствие явления в изучаемой области.

При запуске инструмента в режиме обучения на основе принципа максимальной энтропии по известным данным рассчитывается линейная граница, разделяющая точки присутствия и точки фона в пространстве независимых переменных. Затем в режиме прогнозирования выполняется расчет положения прогнозных данных относительно рассчитанной на первом этапе линейной границы, что позволяет сделать вывод о присутствии или отсутствии явления. В обоих режимах точки, попавшие в расчет, отражаются на карте изучаемой области с вычислением вероятности наличия явления.

Для нашей модели местоположение точек присутствия – распределение сельскохозяйственных земель для выращивания основных зерновых культур. В качестве входных независимых переменных использовалось 19 биоклиматических показателей (табл. 1).

Все переменные связаны с различными вариациями показателей о температуре и осадках. Процедура расчета указанных показателей представлена в статье Fick S.E., Hijmans R.J. WorldClim 2: new 1km spatial resolution climate surfaces for global land areas [22].

Прогнозные значения переменных рассчитаны в соответствии с климатическим сценарием SSP3-7.0 на 2050 г. [21]. Выбор данного сценария обусловлен следующими причинами: 1. сценарий считается вероятным; 2. считается верхним пределом возможностей; 3. данные расчета климатических показателей по данному сценарию находятся в открытом доступе.

Согласно выбранному сценарию, к 2050 г. среднегодовая температура увеличится на 3,3°, средняя температура самой теплой четверти года – на 3,1°, годовое количество осадков – на 22 мм, осадки в самой теплой четверти – на 6 мм.

Прогнозируемые климатические последствия для территории Самарской области представлены в табл. 2.

Картография и геоинформатика
Добрякова В.А., Широкова Л.М.

Таблица 1
Table 1

19 базовых биоклиматических переменных
19 basic bioclimatic variables

Переменная	Название
BIO1	Среднегодовая температура
BIO2	Средний суточный диапазон (Среднее значение месячных (максимальная температура – минимальная температура))
BIO3	Изотермия (BIO2/BIO7) ($\times 100$)
BIO4	Температурная сезонность (стандартное отклонение $\times 100$)
BIO5	Максимальная температура самого теплого месяца
BIO6	Минимальная температура самого холодного месяца
BIO7	Годовой диапазон температур (BIO5-BIO6)
BIO8	Средняя температура самой влажной четверти
BIO9	Средняя температура самой сухой четверти
BIO10	Средняя температура самой теплой четверти
BIO11	Средняя температура самой холодной четверти
BIO12	Годовое количество осадков
BIO13	Количество осадков в самый влажный месяц
BIO14	Количество осадков в самый сухой месяц
BIO15	Сезонность осадков (коэффициент вариации)
BIO16	Осадки в самой влажной четверти
BIO17	Осадки в самой сухой четверти
BIO18	Осадки в самой теплой четверти
BIO19	Осадки в самой холодной четверти

Таблица 2
Table 2

Изменение климатических показателей для Самарской области согласно сценарию SSP3-7.0 на 2050 г.

Changes in climate indicators for the Samara Region according to the SSP3-7.0 scenario for 2050

Показатель	Изменение, в среднем
Среднегодовая температура	+3,8°
Средняя температура самой теплой четверти	+4 °
Годовое количество осадков	+10 мм
Осадки в самой теплой четверти	-6 мм

Методика исследования:

1. Создание поднаборов-слоев из 19 независимых, базовых биоклиматических переменных (табл.). На данном этапе применили инструмент «Создать многомерный растровый слой» к раству «BioclimateBaseline1970–2000» (скачан с портала ArcGISLivingAtlas [21]).
2. Организация в слоя 19 независимых, прогнозируемых биоклиматических переменных. Растровые слои «BioclimateProjection 01, 02, ..., 19» (скачаны с портала ArcGISLivingAtlas [21]) содержат различные сценарии изменения климата. Был выбран сценарий SSP3-7.0.
3. Извлечение и переклассификация данных о пахотных землях с доминирующими сельскохозяйственными культурами из растра GFSAD.tif [24] для идентификации сельскохозяйственных земель, используемых для выращивания основных зерновых культур.

GFSAD.tif – растровое покрытие содержит данные о мировых пахотных землях и их использовании. GFSAD.tif основан на мультисенсорных данных дистанционного зондирования (например, серии Landsat, серии MODIS, AVHRR), вторичных данных и данных полевых участков и направлен на документирование динамики пахотных земель с 2000 по 2030 год [24].

Картография и геоинформатика
Добрякова В.А., Широкова Л.М.

4. Корректировка результата данными о распределении сельскохозяйственных полей (пашни), 2016–2017 гг. геоинформационной системы агропромышленного комплекса (ГИС АПК) Самарской области [4]. Корректировка заключается в наложении на данные глобального растра детальной геометрии пашни. Это позволило выделить сложившуюся структуру землепользования и сделать карты более точными. Далее с помощью инструмента «Переклассифицировать» (Инструменты SpatialAnalyst) выполнено ранжирование откорректированных данных на две категории: «1» – сельскохозяйственные культуры присутствуют, «0» – культуры отсутствуют (рис. 1).

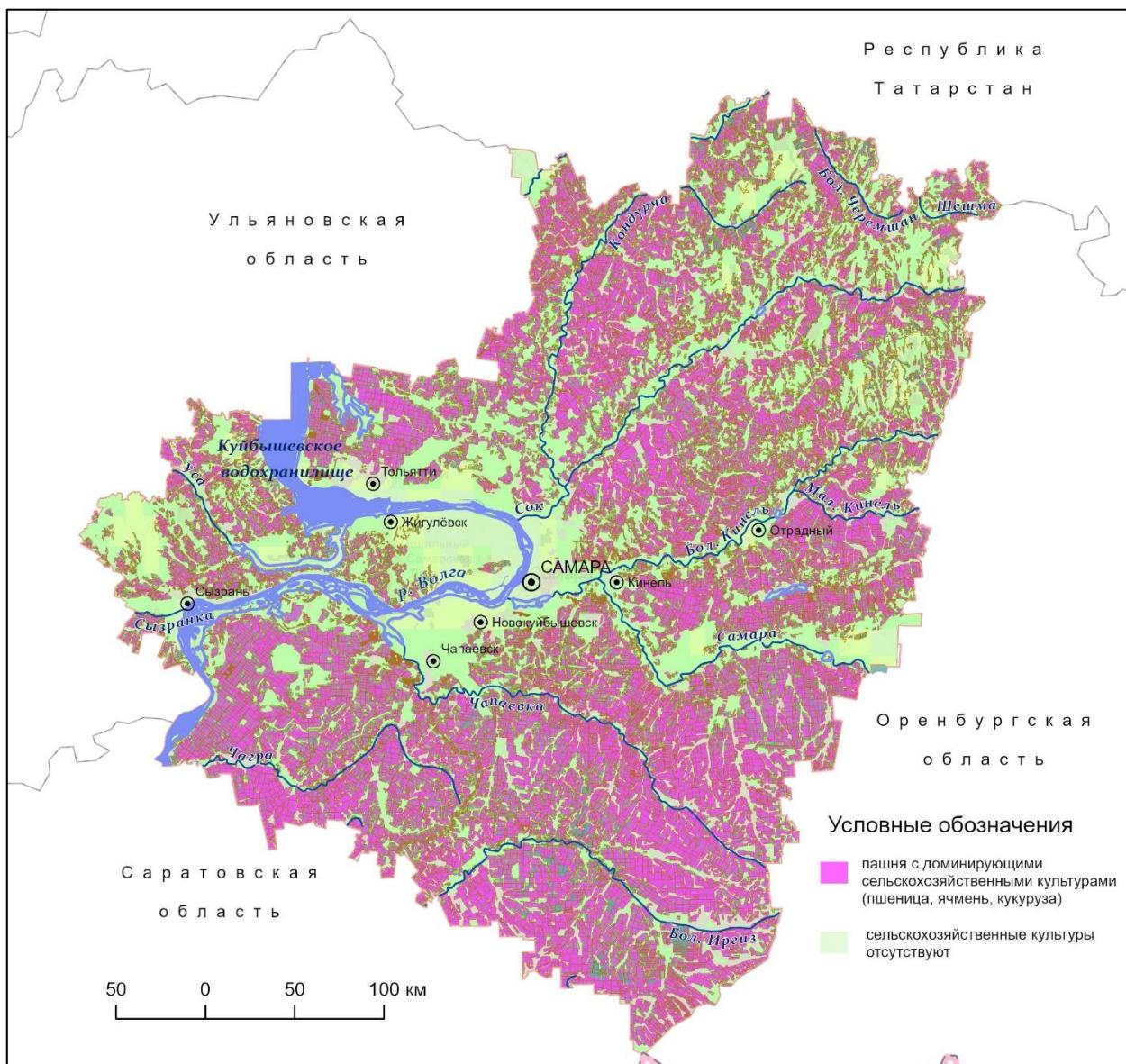


Рис. 1. Распределение пахотных земель с доминирующими сельскохозяйственными культурами (пшеница, ячмень, кукуруза)
Fig. 1. Distribution of arable land with dominant crops (wheat, barley, maize)

5. Создание 70 000 случайно распределенных точек в пределах Приволжского и Южного федеральных округов для обучения модели. Этим точкам были присвоены атрибуты, указывающие на наличие или отсутствие сельскохозяйственных земель категории «пашня» (из файла GFSAD.tif), и присоединены исходные биоклиматические данные (растровый слой «BioclimateBaseline1970–2000»). Далее запуск инструмента «Прогнозирование только присутствия (MaxEnt)» в режиме обучения. Выполнено увеличение области обучения для модели. Предполагаемая причина – отсутствие в пределах Самарской области территорий с параметрами, соответствующими прогнозным.

6. Создание точек для прогноза, 100 000 случайно распределенных в пределах Самарской области, и добавление рассчитанных (прогнозных) биоклиматических данных на 2050 год. Запуск инструмента «Прогнозирование только присутствия (MaxEnt)» в режиме прогнозирования.

Картография и геоинформатика
Добрякова В.А., Широкова Л.М.

Большинство параметров модели установлены по умолчанию, кроме: «Применить пространственное проеживание» с расстоянием 2 км (рассчитан с помощью инструмента «Вычислить диапазон расстояний до числа соседних объектов»); «Относительный вес присутствия к фону», со значением 80 (подобран по результатам экспертной оценки).

После работы инструмента в режиме обучения получаем обученную модель. Каждой точке присваивается атрибут – результат сравнения исходных данных о наличии пашни и данных о наличии из модели.

Далее обученную модель можно использовать для прогнозирования возможности присутствия в новом наборе данных.

Объекты прогнозирования – местоположения нового набора данных и входные переменные – рассчитанные (прогнозируемые) значения независимых переменных.

Выходные объекты прогнозирования – данные (точки) прогноза с оценкой вероятности присутствия и слой-растр с результатами прогноза.

Дополнительно инструмент предоставляет опции, помогающие проверить и оценить модель.

Результаты исследования

Получены две карты пригодности земель – текущей (модель, описывающая распределение в современных климатических условиях) и будущей (при реализации выбранного сценария будущего климата на 2050 г.) – выращивания пшеницы, ячменя и кукурузы на территории Самарской области с оценкой вероятности присутствия.

Выявлено, что в будущем территория для выращивания основных зерновых культур существенно сократится за счёт южных районов и сместится на север области (рис. 2, 3).

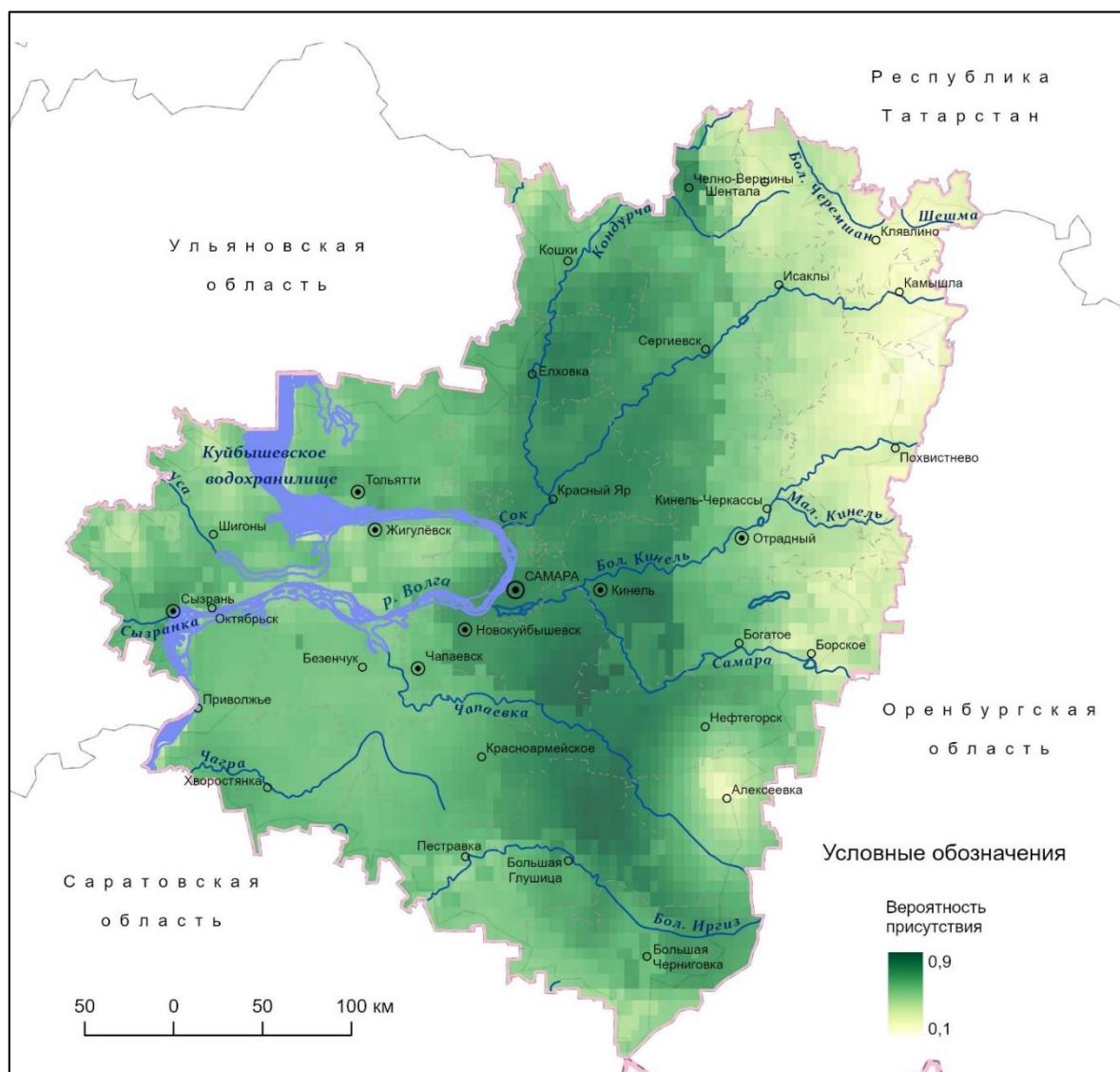


Рис.2. Текущая пригодность земель для выращивания основных сельскохозяйственных культур в Самарской области

Fig. 2. Current suitability of land for growing major agricultural crops in the Samara Region

Картография и геоинформатика
Добрякова В.А., Широкова Л.М.

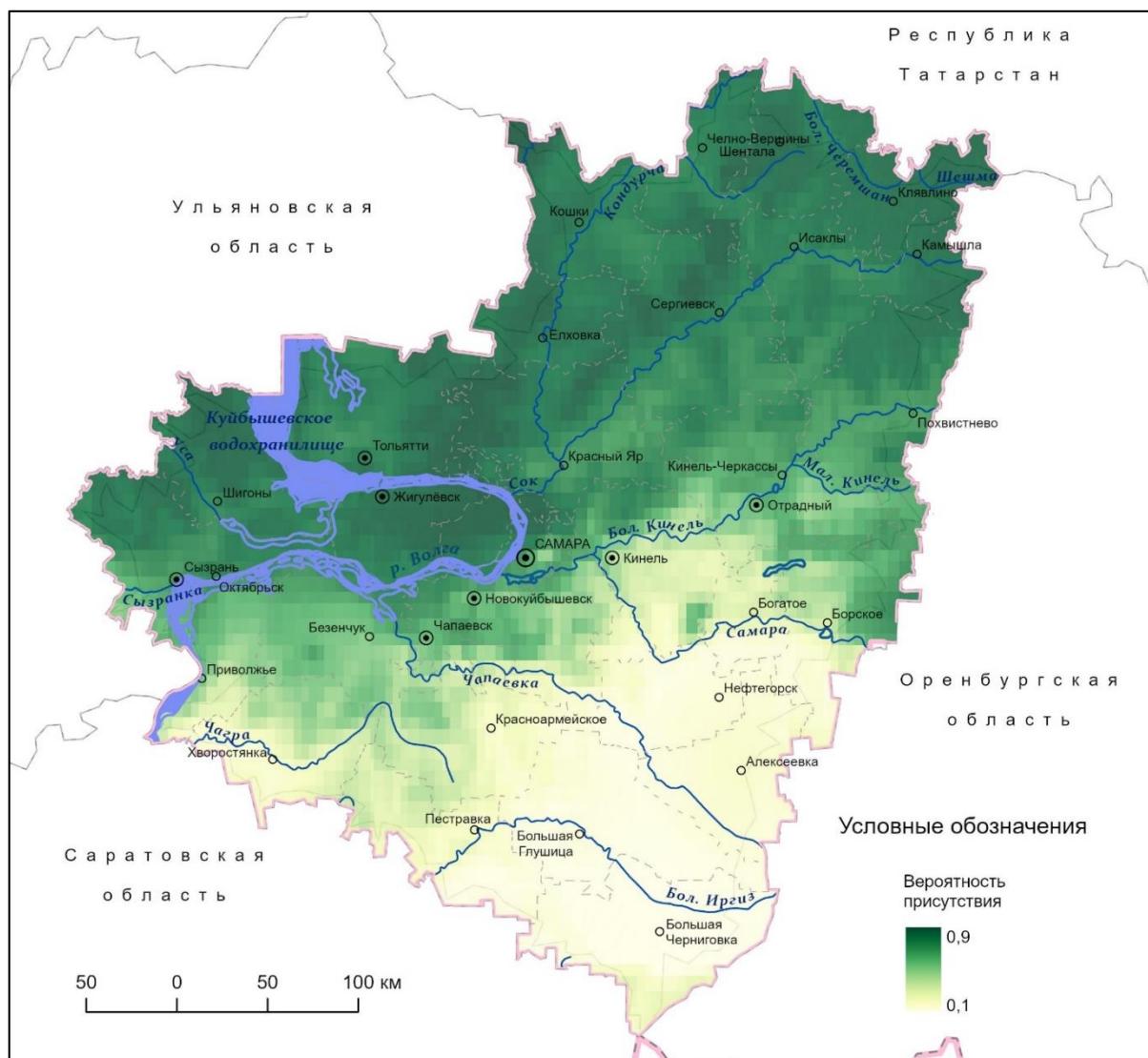


Рис.3. Прогноз пригодности земель для выращивания основных сельскохозяйственных культур в Самарской области в условиях изменения климата

Fig. 3. Forecast of land suitability for growing major agricultural crops in the Samara Region under climate change conditions

Базовый показатель качества модели – AUC, площадь под ROC-кривой (рис. 4). Для построения ROC-кривой по оси абсцисс откладывается специфичность, доля неверно предсказанных точек фона (классифицированных как присутствие), а по оси ординат – чувствительность, доля верно предсказанных присутствий. Значения AUC варьируют от 0 до 1, где 1 означает максимальную способность модели отличать точки присутствия от точек фона, значение 0,5 – способность отличать на уровне случайности.

В нашей модели AUC=0,9116, показатель демонстрирует высокую достоверность прогноза.

Картография и геоинформатика
Добрякова В.А., Широкова Л.М.

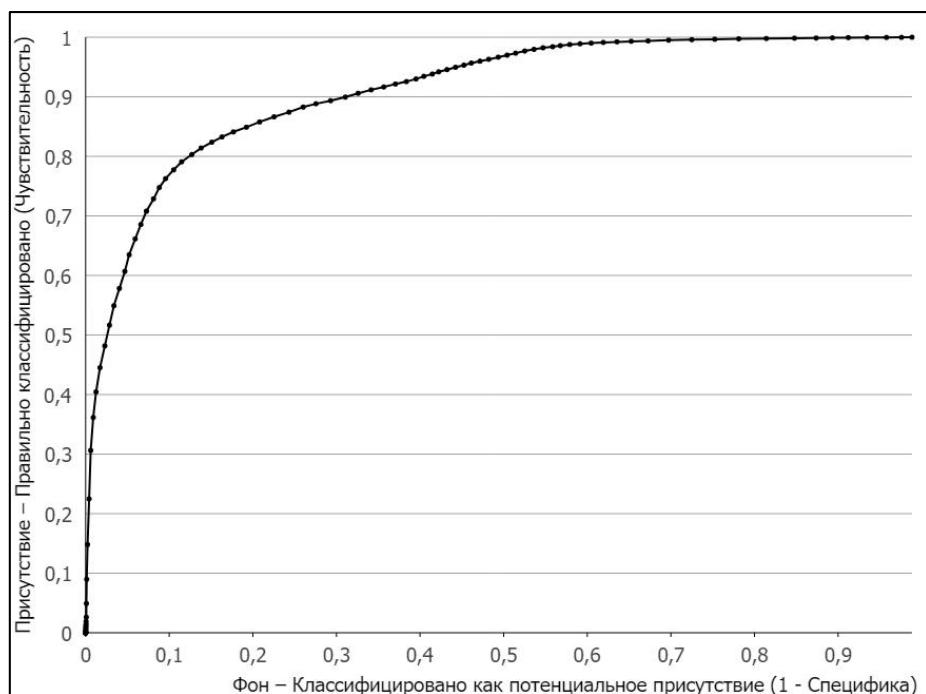


Рис. 4. График ROC (терминология Esri)
Fig. 4. Graph ROC (terminology Esri)

Заключение

Модель присутствия показывает наглядную подробную оценку территории по данному вопросу, даёт возможность применить аналитику к полученным результатам, это делает её ценным инструментом для изучения воздействия климата на сельское хозяйство.

По прогнозу SSP3-7.0 методом максимальной энтропии (MaxEnt), в Самарской области территории для выращивания основных зерновых культур существенно сократится, к 2050 г. площадь земель с вероятностью присутствия меньше 0,5 будет составлять 36 % территории области (рис. 3). Хотя данный прогноз является верхним пределом изменения климатических показателей, его следует учитывать как возможный.

Очевидно, что исследования в данном направлении необходимо продолжить, чтобы уточнить полученные результаты, поскольку они ведут к значительным материальным затратам. Кроме того, требуется ответить на вопрос – какие именно культуры должны заменить ячмень, пшеницу и кукурузу?

Библиографический список

1. Биоклиматический и бонитировочный подходы в оценке земель сельскохозяйственного назначения на региональном уровне (на примере Самарской области) // URL: <https://qje.su/wp-content/uploads/2023/08/Samohvalova-E.pdf> (дата обращения: 18.06.2024).
2. ВМО: показатели изменения климата достигли рекордных уровней в 2023 году // URL: <https://wmo.int/rus/news/media-centre/vmo-pokazateli-izmeneniya-klimata-dostigli-rekordnykh-urovney-v-2023-godu> (дата обращения: 06.03.2024).
3. Воронин В.В., Гавриленкова В.А. География Самарской области. Самара: ГОУ СИПКРО, 2008. 266 с.
4. Геопортал Самарской области URL: https://geoportal.samregion.ru/layers/APK_1_205/ (дата обращения: 02.02.2024).
5. Горянин О.И. Климат и его влияние на продуктивность полевых культур в Среднем Заволжье. Самара: 2018. 28 с.
6. Горянин О.И., Шевченко С.Н., Корчагин В.А. Влияние изменения климата на возделывание сельскохозяйственных культур в Среднем Заволжье // Метеорология и гидрология. 2018. №6. С. 106–110.
7. Дабахова Е.В. Методические подходы к оценке земель при определении их пригодности под различные виды сельскохозяйственных угодий // Вестник Нижегородской государственной сельскохозяйственной академии. 2016. №2 (10). С. 4–12.
8. Климат и погода Самары и Самарской области URL: <https://www.meteonova.ru/klimat/63/Samarskaya%20Oblast/> (дата обращения: 06.02.2024).
9. КонсультантПлюс URL: https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_33773/6f2cb9b003973c532cb954a99e9f28e4a08d6eca/ (дата обращения: 06.02.2024).
10. Корчагин В.А., Малышев В.Ф., Чуданов И.А. Система земледелия Куйбышевской области на 1986-1990 гг. Куйбышев: 1987. 185 с.

Картография и геоинформатика
Добрякова В.А., Широкова Л.М.

11. МГЭИК, 2021: Резюме для политиков. В: Изменение климата, 2021 год: Физическая научная основа. Вклад Рабочей группы I в Шестой оценочный доклад Межправительственной группы экспертов по изменению климата // URL: https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg1/downloads/report/IPCC_AR6_WG1_SPM_Russian.pdf (дата обращения: 16.09.2024).
12. Метеорологическая служба «meteoblue» URL: https://www.meteoblue.com/ru/climate-change/Самарская_область_Россия_499068 (дата обращения: 20.02.2024).
13. MOOCbyEsri // URL: <https://www.esri.com/training/catalog/645d6a07eb82fb767bb0c012/gis-for-climate-action/> (дата обращения: 12.09.2023).
14. *Переведенцев Ю.П., Шанталинский К.М., Мирсаева, Н.А., Николаев А.А.* Изменения климата на территории республики Татарстан // Географический вестник=Geographical Bulletin. 2024 №1(68), С. 103–112. <https://doi.org/10.17072/2079-7877-2024-1-103-112>
15. *Санданов Д.В.* Особенности моделирования распространения видов с использованием метода максимальной энтропии. // Фиторазнообразие Восточной Европы. 2023. №17(2). С. 130–144. DOI: 10.24412/2072-8816-2023-17-2-130-14
16. *Солнцев Л.А., Дубянский В.М.* Опыт использования метода максимальной энтропии (MaxEnt) для зонирования территории по риску заражения ГЛПС на примере Нижегородской области // Микробиология. 2017. №5. С. 39–45.
17. *Суховеева О.Э.* Анализ влияния агроклиматических факторов на урожайность озимой ржи // Метеорология и гидрология. 2014. №1. С. 74–82.
18. Территориальный орган Федеральной службы государственной статистики по Самарской области URL: <https://63.rosstat.gov.ru/sxpmisto> (дата обращения: 20.02.2024).
19. *Шерстюков Б.Г.* Изменения, изменчивость и колебания климата. Обнинск: ФГБУ ВНИИГМИ, 2011. 293 с.
20. *Шитиков В.К., Зинченко Т.Д., Головатюк Л.В.* Модели максимальной энтропии и пространственное распределение видов донных сообществ на территории Среднего и Нижнего Поволжья // Российский журнал прикладной экологии. 2021. №2. С. 10–16.
21. ArcGIS Living Atlas URL: <https://livingatlas.arcgis.com/en/browse/#d=2> (дата обращения: 02.02.2024).
22. Fick S.E., Hijmans R.J. WorldClim 2: new 1km spatial resolution climate surfaces for global land areas. // International Journal of Climatology. 2017. No. 37 (12) P. 4302–4315. <https://doi.org/10.1002/joc.5086>
23. Fitzgibbon A., Pisut D., Fleisher D. Evaluation of Maximum Entropy (Maxent) Machine Learning Model to Assess Relationships between Climate and Corn Suitability // Land. 2022. Vol. 11, No. 9. <https://doi.org/10.3390/land11091382>
24. Global Food-and-Water Security-support Analysis Data (GFSAD) // URL: <https://www.usgs.gov/centers/western-geographic-science-center/science/global-food-and-water-security-support-analysis> (дата обращения: 12.04.2024).
25. Kogo B.K., Kumar L., Koech R., Kariyawasam C.S. Modelling Climate Suitability for Rainfed Maize Cultivation in Kenya Using a Maximum Entropy (MaxENT) // Agronomy. 2019. Vol. 9, No. 11. <https://doi.org/10.3390/agronomy9110727>
26. Merow C., Silander A. A practical guide to MaxEnt for modeling species' distributions: what it does, and why inputs and settings matter // Ecography 36. 2013. No 5. P. 1058–1069. doi: 10.1111/j.1600-0587.2013.07872.x
27. Mobley W., Sebastian A., Highfield W., Brody S.D. Estimating flood extent during Hurricane Harvey using maximum entropy to build a hazard distribution model // Journal of Flood Risk Management. 2019. Vol. 12. <https://doi.org/10.1111/jfr3.12549>
28. Thenkabail P.S., Teluguntla P.G., Xiong J., Oliphant A., Congalton R.G., Ozdogan M., Gumma M.K., Tilton J.C., Giri C., Milesi C., Phalke A., Massey R., Yadav K., Sankey T., Zhong Y., Aneece I., Foley D. Global Cropland-Extent Product at 30-m Resolution (GCEP30) Derived from Landsat Satellite Time-Series Data for the Year 2015 Using Multiple Machine-Learning Algorithms on Google Earth Engine Cloud: U.S. Geological Survey // Professional Paper 1868. 2021. 63 p. <https://doi.org/10.3133/pp1868>.
29. Yu X., Tao X., Liao J., Liu S., Xu L., Yuan S., Zhang Z., Wang F., Deng N., Huang J. et al. Predicting potential cultivation region and paddy area for ratoon rice production in China using Maxent model // Field Crops Research. 2021. Vol. 275. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2021.108372>
30. Zhaohui Du, Zhiqiang Wang, Yunxia Liu, Hao Wang, Fuzhong Xue, Yanxun Liu Ecological niche modeling for predicting the potential risk areas of severe fever with thrombocytopenia syndrome // International Journal of Infectious Diseases. 2014. Vol. 26. P. 1–8. <https://doi.org/10.1016/j.ijid.2014.04.006>

References

1. Bioclimatic and appraisal approaches to assessing agricultural land at the regional level (using the Samara region as an example) // URL: <https://qje.su/wp-content/uploads/2023/08/Samohvalova-E.pdf> (accessed: 18.06.2024) (In Russian)
2. WMO: Climate change indicators reach record levels in 2023 // URL: <https://wmo.int/ru/news/media-centre/vmo-pokazateli-izmeneniya-klimata-dostigli-rekordnykh-urovney-v-2023-godu> (date of access: 06.03.2024)
3. Voronin V.V., Gavrilenkova V.A. Geography of the Samara Region. Samara: State Educational Institution “Samara Institute of Preservation of Culture and Sport”, 2008. 266 p. (In Russian)
4. Geoportal of the Samara Region URL: https://geoportal.samregion.ru/layers/APK_1_205/ (date of access: 02.02.2024)
5. Goryanin O.I. Climate and its influence on the productivity of field crops in the Middle Volga region. Samara: 2018. 28 p. (In Russian)
6. Goryanin O.I., Shevchenko S.N., Korchagin V.A. The Impact of Climate Change on the Cultivation of Agricultural Crops in the Middle Volga Region // Meteorology and Hydrology. 2018. No. 6. P. 106–110. (In Russian)
7. Dabaxova E. V. Methodological approaches to land assessment when determining their suitability for various types of agricultural land // Bulletin of the Nizhny Novgorod State Agricultural Academy. 2016. No. 2 (10). P. 4–12. (In Russian)

Картография и геоинформатика
Добрякова В.А., Широкова Л.М.

8. Climate and weather of Samara and Samara region URL: <https://www.meteonova.ru/klimat/63/Samarskaya%20Oblast/> (date of access: 06.02.2024)

9. Consultant Plus URL: https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_33773/6f2cb9b003973c532cb954a99e9f28e4a08d6eca/ (date of access: 06.02.2024)

10. Korchagin V.A., Maly'shev V.F., Chudanov I.A. Farming system of the Kuibyshev region for 1986-1990. Kuibyshev: 1987. 185 p. (In Russian)

11. IPCC, 2021: Summary for Policymakers. In: Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change // URL: https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg1/downloads/report/IPCC_AR6_WG1_SPM_Russian.pdf (date accessed: 16.09.2024)

12. Meteorological service "meteoblue" URL: https://www.meteoblue.com/ru/climate-change/Samara Oblast_Russia_499068 (date of access: 20.02.2024).

13. MOOCbyEsri // URL: <https://www.esri.com/training/catalog/645d6a07eb82fb767bb0c012/gis-for-climate-action/> (date of access: 09.12.2023).

14. Perevedencev Yu.P., SHantalinskij K.M., Mirsaeva, N.A., Nikolaev A.A. Climate changes in the Republic of Tatarstan. // Geographical Bulletin=Geographical Bulletin. 2024. No. 1(68), P. 103–112. <https://doi.org/10.17072/2079-7877-2024-1-103-112>

15. Sandanov D.V. Features of modeling the distribution of species using the maximum entropy method. // Phytodiversity of Eastern Europe. 2023. No. 17 (2). P. 130–144. DOI: 10.24412/2072-8816-2023-17-2-130-14 (In Russian)

16. Solncev L.A., Dubyanskiy V.M. Experience of using the maximum entropy method (Max Ent) for zoning the territory according to the risk of HFRS infection using the example of the Nizhny Novgorod region // Microbiology. 2017. No. 5. P. 39–45. (In Russian)

17. Suxoveeva O.E. Analysis of the influence of agroclimatic factors on the yield of winter rye // Meteorology and Hydrology. 2014. No. 1. P. 74–82. (In Russian)

18. Territorial body of the Federal State Statistics Service for the Samara Region URL: <https://63.rosstat.gov.ru/sxmicro> (date of access: 20.02.2024).

19. Sherstyukov B.G. Changes, variability and fluctuations of climate. Obninsk: FGBU VNIIGMI, 2011. 293 p. (In Russian)

20. Shitikov V.K., Zinchenko T.D., Golovatyuk L.V. Models of maximum entropy and spatial distribution of species of bottom communities in the Middle and Lower Volga region // Russian Journal of Applied Ecology. 2021. No. 2. P. 10–16. (In Russian)

21. ArcGIS Living Atlas URL: <https://livingatlas.arcgis.com/en/browse/#d=2> (accessed: 02.02.2024).

22. Fick S.E., Hijmans R.J. WorldClim 2: new 1km spatial resolution climate surfaces for global land areas. // International Journal of Climatology. 2017. No. 37 (12) P. 4302–4315. <https://doi.org/10.1002/joc.5086>

23. Fitzgibbon A., Pisut D., Fleisher D. Evaluation of Maximum Entropy (Maxent) Machine Learning Model to Assess Relationships between Climate and Corn Suitability // Land. 2022. Vol. 11, No. 9. <https://doi.org/10.3390/land11091382>

24. Global Food-and-Water Security-support Analysis Data (GFSAD) // URL: <https://www.usgs.gov/centers/western-geographic-science-center/science/global-food-and-water-security-support-analysis> (date of access: 04.12.2024).

25. Kogo B.K., Kumar L., Koech R., Kariyawasam C.S. Modeling Climate Suitability for Rainfed Maize Cultivation in Kenya Using a Maximum Entropy (MaxENT) // Agronomy. 2019. Vol. 9, No. 11. <https://doi.org/10.3390/agronomy9110727>

26. Merow C., Silander A. A practical guide to MaxEnt for modeling species' distributions: what it does, and why inputs and settings matter // Ecography 36. 2013. No. 5. P. 1058–1069. doi: 10.1111/j.1600-0587.2013.07872.x

27. Mobley W., Sebastian A., Highfield W., Brody SD. Estimating flood extent during Hurricane Harvey using maximum entropy to build a hazard distribution model // Journal of Flood Risk Management. 2019. Vol. 12. <https://doi.org/10.1111/jfr.12549>

28. Thenkabail P.S., Teluguntla P.G., Xiong J., Oliphant A., Congalton R.G., Ozdogan M., Gumma M.K., Tilton J.C., Giri C., Milesi C., Phalke A., Massey R., Yadav K., Sankey T., Zhong Y., Aneece I., Foley D. Global Cropland-Extent Product at 30-m Resolution (GCEP30) Derived from Landsat Satellite Time-Series Data for the Year 2015 Using Multiple Machine-Learning Algorithms on Google Earth Engine Cloud: U.S. Geological Survey // Professional Paper 1868. 2021. 63 p. <https://doi.org/10.3133/pp1868>.

29. Yu X., Tao X., Liao J., Liu S., Xu L., Yuan S., Zhang Z., Wang F., Deng N., Huang J. et al. Predicting potential cultivation region and paddy area for ratoon rice production in China using Maxent model // Field Crops Research. 2021. Vol. 275. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2021.108372>

30. Zhaojun Du, Zhiqiang Wang, Yunxia Liu, Hao Wang, Fuzhong Xue, Yanxun Liu Ecological niche modeling for predicting the potential risk areas of severe fever with thrombocytopenia syndrome // International Journal of Infectious Diseases. 2014. Vol. 26. P. 1–8. <https://doi.org/10.1016/j.ijid.2014.04.006>

Статья поступила в редакцию: 17.10.24, одобрена после рецензирования: 17.05.25, принятая к опубликованию: 12.09.25.

The article was submitted: 17 October 2024; approved after review: 17 May 2025; accepted for publication: 12 September 2025.

Картография и геоинформатика
Добрякова В.А., Широкова Л.М.

Информация об авторах

Валентина Аркадьевна Добрякова

кандидат географических наук,
профессор кафедры картографии
и геоинформационных систем,
Тюменский государственный университет;

625003, Россия, г. Тюмень, ул. Володарского, д.6

e-mail: v.a.dobryakova@utmn.ru

Любовь Михайловна Широкова

студент,
Тюменский государственный университет;
625003, Россия, г. Тюмень, ул. Володарского, д.6

e-mail: shtampvp@mail.ru

Information about the authors

Valentina A. Dobryakova

Candidate of Geographical Sciences,
Professor, Department of Cartography and Geographic
Information Systems,
Tyumen State University;

6, Volodarskogo st., Tyumen, 625003, Russia

Lyubov M. Shirokova

Bachelor's Student,
Tyumen State University;
6, Volodarskogo st., Tyumen, 625003, Russia

Вклад авторов

Добрякова В.А. – постановка задачи, проверка работы, редактирование текста.

Широкова Л.М. – сбор, обработка и организация данных, создание карт, подготовка текста.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Contribution of the authors

Valentina A. Dobryakova – problem statement; checking of the work; editing of the text.

Lyubov M. Shirokova – data collection, processing, and arrangement; creation of the maps; writing of the text.

The authors declare no conflict of interest.