

Геоинформатика. 2024. № 1. С. х–х.
Geoinformatika. 2024;(1):х–х.

Применение ГИС-технологий

Научная статья
 УДК 528;004.9
<https://doi.org/10.47148/1609-364X-2024-1-x-x>

Геоинформационная модель для управления рисками в Бурунди

© 2024 г. — Элиас Ндикумана^{а)}, Евгений Петрович Истомин^{б)}, Наталья Владимировна Яготинцева^{в)}

ФГБОУ ВО «Российский государственный гидрометеорологический университет»; Россия, г. Санкт-Петербург

^{а)}eliasndikuman@gmail.com, ^{б)}biom@bk.ru, ^{в)}solnishko234@yandex.ru

Аннотация: Данная статья посвящена разработке модели геоинформационной системы для подготовки принятия решений. Представлено применение индикаторного подхода для визуализации рисков, связанных с сельскохозяйственной деятельностью. В статье описывается не только функционирование этой геоинформационной модели, но и взаимодействие между геоинформационной моделью, базой данных и веб-приложением с целью представления в реальном времени географических рисков, препятствующих сельскохозяйственной деятельности.

Ключевые слова: экономика, модель, управление, риск, веб-приложение

Для цитирования: Ндикумана Э., Скочина П.С., Истомин Е.П., Яготинцева Н.В. Геоинформационная модель для управления рисками в Бурунди // Геоинформатика. — 2024. — № 1. — С. х–х. <https://doi.org/10.47148/1609-364X-2024-1-x-x>.

Application of GIS-technologies

Original article

Geoinformation model for risk management in Burundi

© 2024 — Ndikumana Elias^{а)}, Evgeny P. Istomin^{б)}, Natalia zV. Yagotinceva^{в)}

Russian State Hydrometeorological University; St. Petersburg, Russia

^{а)}eliasndikuman@gmail.com, ^{б)}biom@bk.ru, ^{в)}solnishko234@yandex.ru

Abstract: This paper is focused on the development of a geographic information system model for decision preparation. The application of indicator approach for visualization of risks associated with agricultural activities is presented. The paper describes not only the functioning of the geographic information model, but also the interaction between the geographic information model, database and web application in order to present in real time the geographic risks inhibiting agricultural activities.

Key words: economy, model, management, risk, web-application

For citation: Ndikumana E., Istomin E.P., Yagotinceva N.V. Geoinformation model for risk management in Burundi. *Geoinformatika*. 2024;(1):х–х. <https://doi.org/10.47148/1609-364X-2024-1-x-x>. In Russ.

Введение

Последствия изменения климата на планете проявляются во всем мире в различных формах, таких как сильные засухи, нехватка воды, сильные пожары, повышение уровня моря, наводнения, таяние полярных льдов, катастрофические штормы и сокращение биологического разнообразия. Например, в последние десятилетия экстремальные погодные явления, такие как засухи, наводнения, штормы и град, наблюдаются в Бурунди [11].

Стихийные бедствия последних дней оказали негативное влияние на экономическую деятельность, такую как сельское хозяйство, скотоводство и транспорт, и другие, на большей части Земли.

Бурунди — одна из стран, сильно страдающих от последствий изменения климата. В частности, в наибольшей степени от изменения климата страдает сельскохозяйственный сектор, поскольку в на-

стоящий момент отсутствуют технические методы, способные минимизировать риски. Учитывая, что экономика Бурунди в основном связана с сельским хозяйством, для минимизации рисков и повышения эффективности экономики необходимо разработать стратегии противодействия последствиям изменения климата и других опасных природных явлений [2, 11].

В связи с этим данная статья посвящена разработке и использованию геоинформационной модели, которая может внести существенный вклад в управление природными рисками. Кроме того, в статье рассмотрено использование индикаторного и зонального подхода с целью визуализации пространственного изменения рисков. В качестве примера в данной статье показано пространственное изменение рисков на территории Республики Бурунди. В данной статье рассматривается также

преимущество хранения данных в базе данных для управления рисками [2, 11].

Геоинформационная модель оценки георисков

Исполнение этой модели основано на методе управления рисками, представленном в работе [2].

При прогнозировании риска какого-либо события необходимо спрогнозировать вероятность наступления такого события $Q(t_3)$, где t_3 — глубина прогноза [2].

Событие (например, засуха, наводнение, эрозия, и т. д.) считается наступившим, если уровень значения температуры или осадка $X(t)$ превысил определенные границы, т.е. событие не началось, если уровень заданного параметра находится в пределах $D(t)=[a(t), b(t)]$, где $a(t)=0, b(t)$ — ординатор [2, 7].

Согласно упомянутому выше методу управления рисками, в нем учитываются основные статистические характеристики, такие как коэффициент автокорреляции, среднее, стандартное отклонение и текущее значение того или иного параметра.

Данная модель представлена на рис. 1 и состоит из следующих блоков:

1. База данных. Этот блок используется для хранения основных данных (температура, количество осадков), на основе которых планируется обработка. Также здесь сохраняются результат оценки риска, который отображается на карте

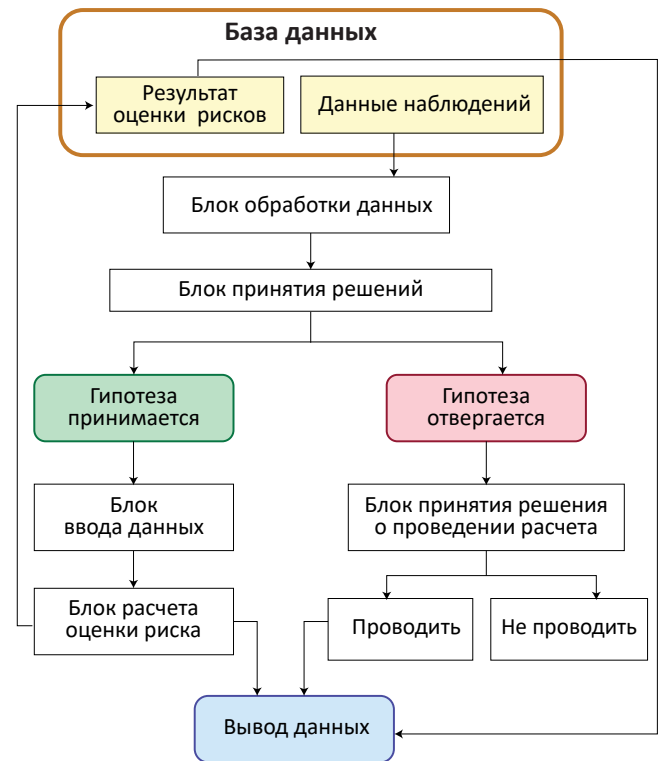
2. Блок обработки данных. Рассчитываются статистические характеристики (матожидание, среднее значение, среднее квадратическое отклонение, коэффициент автокорреляции и критерий студента) случайного процесса с помощью программного обеспечения, разработанного на языке программирования Python.

3. Блок принятия решения. На основании статистических и реальных данных принимается решение о дальнейшем проведении расчетов. Решение принимается на основании принятия или отвержения гипотезы о соответствии реальных и статистических данных одной генеральной совокупности данных.

4. Блок ввода. В этот блок вводятся статистические характеристики, необходимые для работы данной модели, такие как коэффициент автокорреляции, среднее значение, среднее квадратическое отклонение, а также текущее значение данного параметра. В этом же блоке указываются значения относительно верхнего и нижнего уровней параметра. В конце задается время прогнозирования (глубина прогноза) [7, 10].

5. Блок расчета оценки риска. По статистическим характеристикам, полученным в блоке обра-

Рис. 1. Схема геоинформационной системы оценки рисков
Fig. 1. Structure of Geoinformation system for risk assessment



ботки данных, производится расчет оценки рисков по следующей формуле:

$$P^*(t_3/x_0) = \Phi \left\{ \frac{b - m_x(t_3) - r_x(0, t_3) \cdot [x_0 - m_x(0)]}{\sigma_x(t_3) \sqrt{1 - r_x^2(0, t_3)}} \right\} - \Phi \left\{ \frac{-m_x(t_3) - r_x(0, t_3) \cdot [x_0 - m_x(0)]}{\sigma_x(t_3) \sqrt{1 - r_x^2(0, t_3)}} \right\}, \quad (1)$$

где
$$\Phi(x) = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^x e^{-\frac{z^2}{2}} dz \quad (2).$$

$P^*(t_3/x_0)$ — это вероятность того, что случайный процесс не выходит из заданных пределов при условии, что известно значение этого процесса в начальный момент времени $t=0, (x(t=0)=x_0)$.

$a(t)$ — нормальное значение параметра (температуры, осадка), начиная с которого растения хорошо растут.

$b(t)$ — уровень параметра (температуры, осадка), при котором урожай начинает повреждаться;
 $m_x(t_3)$ и $m(0)$ — матожидание случайного процесса;
 $\sigma_x(t)$ — среднее квадратическое отклонение;

$r_x(0, t_3)$ — значение коэффициент автокорреляции с лагом $\tau = t_3 - t_0$;

τ — горизонт прогнозирования;

x_0 — начальное значение случайного процесса.

Пусть $R^*(t_3/x_0)$ — это вероятность того, что случайный процесс выходит из заданных пределов при условии, что известно значение этого процесса в начальный момент времени $t=0$, ($x(t=0)=x_0$) [7, 10].

Тогда можно найти значения риска по формуле

$$R^*(t_3/x_0) = 1 - P^*(t_3/x_0) \quad (3)$$

6. Блок выходных данных.

Блок выходных данных используется для отображения значения риска. После ввода статистических характеристик, необходимых для данной модели, модель рассчитывает коэффициенты рисков, и отображает значение [6, 9].

На основе проведенных исследований была создана база данных в Postgres, позволяющая сохранять и обрабатывать данные наблюдений для сохранения характеристик изучаемых случайных процессов. Также в этой базе данных сохраняются результаты оценок риска для заданного времени (рис. 2).

После обработки данных полученные результаты автоматически сохраняются в базе данных.

Полученные результаты могут быть представлены на пространственной карте непосредственно в базе данных (рис. 3), что дает возможность увидеть различные характеристики, встречающиеся в разных местностях [6, 9].

На карте (рис. 3), созданной непосредственно на основе базы данных, можно увидеть различные значения статистических характеристик, а также значения риска, связанные с температурой воздуха в указанной точке [6, 8, 9].

Геоинформационное веб-приложение

Для облегчения принятия решений было создано веб-приложение, отображающее изменение риска по всей территории Бурунди. Это приложение позволяет выбрать уровень, за которым необходимо проанализировать риск, связанный с тем или иным параметром. Поскольку в данной работе риск связан с температурой, приложение может быть использовано для выбора уровня температуры, при превышении которого температура может оказать влияние на определенные виды сельскохозяйственной деятельности.

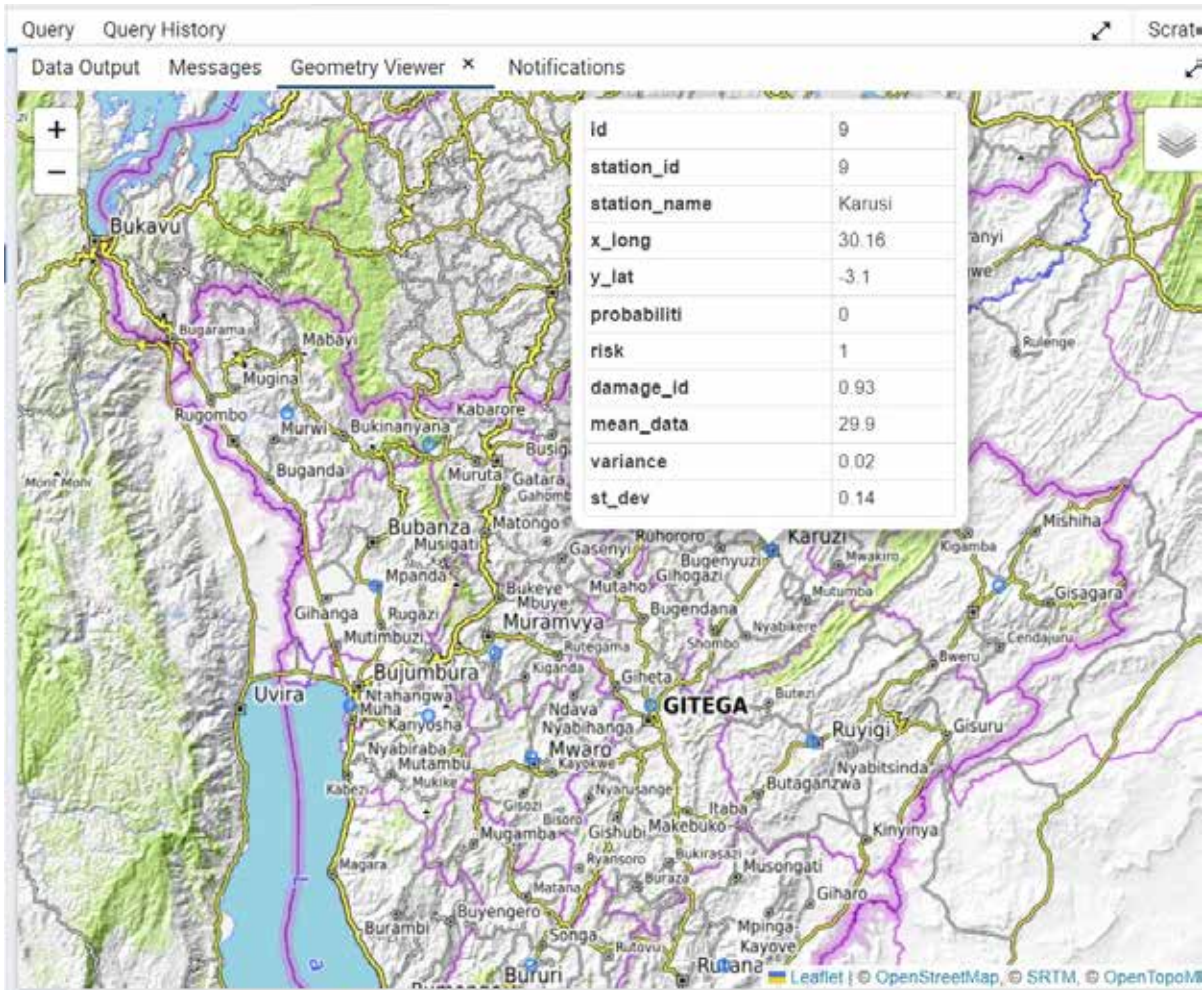
Рис. 2. База данных о температуре воздуха в разных регионах Бурунди

Fig. 2. Database of air temperature in different regions of Burundi

	murungu double precision	ngozi double precision	makamba double precision	rutana double precision	ruyigi double precision	canuzzi double :
1	23.5747	27.7759	26.1397	27.786494	26.786494	
2	23.6318	27.782	26.1438	27.755152	26.755152	
3	23.6883	27.7883	26.1463	27.725938	26.725938	
4	23.7442	27.7948	26.1532	27.698816	26.698816	
5	23.7995	27.8015	26.1665	27.67375	26.67375	
6	23.8542	27.8084	26.1642	27.650704	26.650704	
7	23.9089	27.8155	26.1703	27.629642	26.629642	
8	23.9618	27.8228	26.1768	27.610528	26.610528	
9	24.0147	27.8303	26.1837	27.593326	26.593326	
10	24.067	27.838	26.191	27.578	26.578	
11	24.1187	27.8459	26.1967	27.564514	26.564514	
12	24.1698	27.854	26.2068	27.552632	26.552632	
13	24.2203	27.8623	26.2153	27.542918	26.542918	
14	24.2702	27.8708	26.2242	27.534736	26.534736	
15	24.3195	27.8795	26.2335	27.52825	26.52825	
16	24.3682	27.8884	26.2432	27.523424	26.523424	
17	24.4163	27.8975	26.2533	27.520222	26.520222	

Рис. 3. База данных статистических характеристик для разных регионов Бурунди

Fig. 3. Database of statistical characteristics for different regions of Burundis



В зависимости от продолжительности периода засухи и жары растения по-разному переносят температуру. В данном случае были взяты четыре различных температурных уровня, в соответствии с которыми мы можем визуализировать риски [1, 3].

Как видно на рисунке 4, слева сверху имеется поле, в котором можно выбрать уровень температуры, при превышении которого наблюдается риск повышения уровня температуры.

Как видно, если взять за основу риск, связанный с температурой выше 25° C, то можно увидеть, что значительная часть территории Бурунди станет непригодной для растений, не выдерживающих температуру 25° C. Только провинции в центральном регионе будут защищены [1, 3, 8].

Как видно на рисунке 5, если увеличить температуру, выше которой необходимо проанализировать риск, то можно заметить, что значительная часть страны не подвержена этому риску. В данном случае, например, если учитывать риск превышения 27° C, то можно увидеть, что почти половина

территории страны будет пригодна для выращивания растений, способных выдерживать температуру ниже 27° C [1, 3, 8].

Если учесть потенциальный риск превышения 29° C, то можно увидеть, что более 80% территории страны будет пригодно для выращивания растений, способных выдерживать температуру ниже 29° C [1, 3, 8] (см. рис. 6).

Данная карта является интерактивной и позволяет увидеть точное значение риска для любого заданного местоположения (см. рис. 7). При этом можно увидеть не только фактическое значение риска, но и другие дополнительные сведения, доступные для данной территории, включая название и идентификатор (ID) данного места.

Помимо вышеперечисленного, данное веб-приложение обладает рядом функций, в том числе возможностью выделить часть территории и корректно отобразить ее с целью определения наличия или отсутствия высокой степени риска [3, 8].

Рис. 4. Геоинформационная карта, иллюстрирующая риск, связанный с температурой выше 25° C
Fig. 4. Geoinformation map illustrating the risk associated to temperature above 25° C



Рис. 5. Геоинформационная карта, иллюстрирующая риск, связанный с температурой выше 27° C
Fig. 5. Geoinformation map illustrating the risk associated to temperature above 27° C



Рис. 6. Геоинформационная карта, иллюстрирующая риск, связанный с температурой выше 29° C
Fig. 6. Geoinformation map illustrating the risk associated to temperature above 29° C

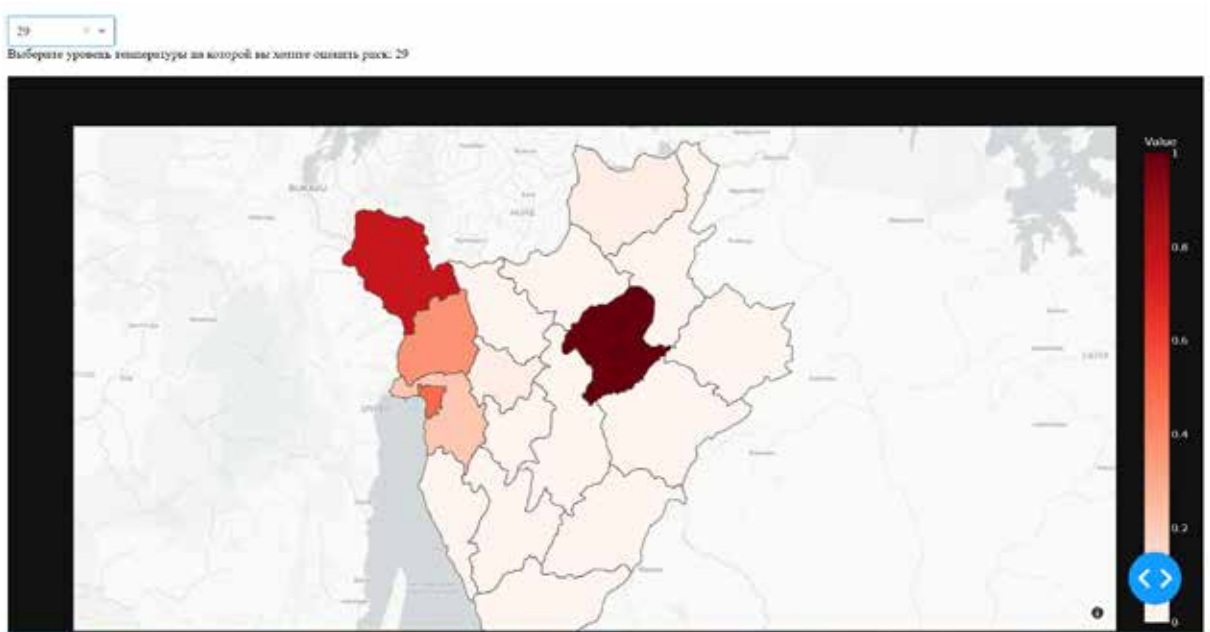


Рис. 7. Геоинформационная карта, иллюстрирующая риск, связанный с температурой выше 25° C
Fig. 7. Geoinformation map illustrating the risk associated with temperatures above 25° C

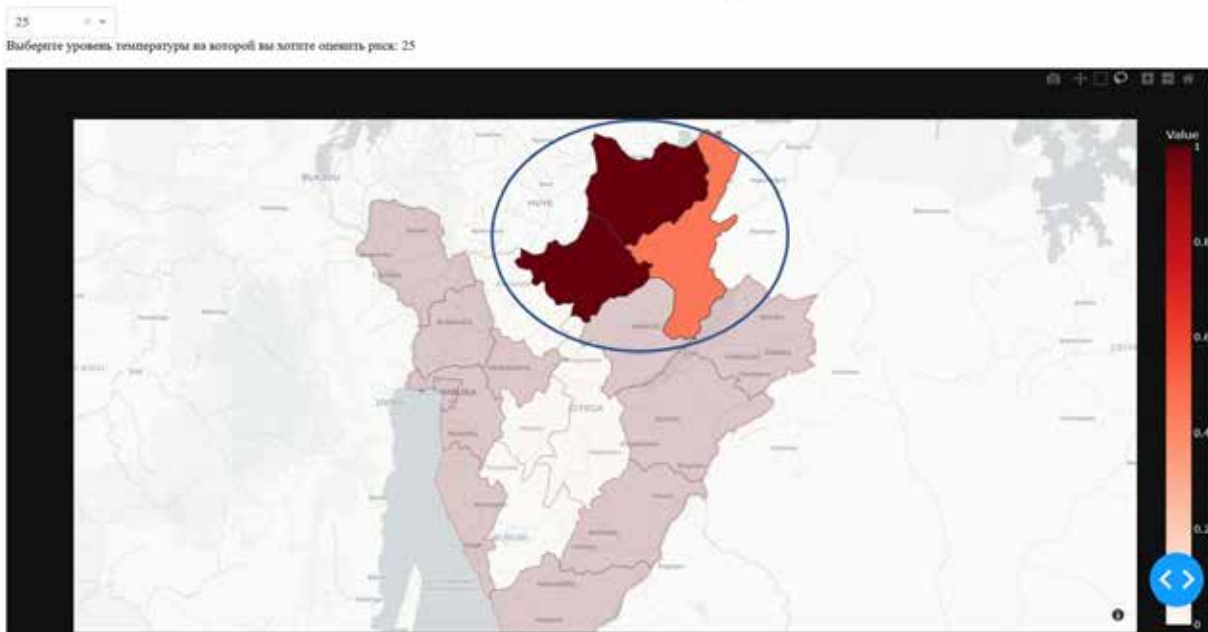


Как видно на рисунке 8, выбрав северную часть, можно увидеть три провинции и их степень риска. Провинции Нгози и Кирундо в данном случае имеют риск 1 (см. шкалу справа), что делает их непригодными для сельскохозяйственной деятельности, если мы опираемся на выбранный в данном случае уровень температуры, а в провинции Муйинга риск чуть меньше 0,5, что означает возможность ведения

там сельскохозяйственной деятельности, но при условии проведения дополнительных мероприятий по оказанию мер по минимизации рисков [4, 5, 8, 9, 10].

Данная модель может быть использована для определения рисков, связанных не только с повышением температуры, но и с другими параметрами. В рамках данной работы были также проведены ис-

Рис. 8. Иллюстрация риска в выбранном регионе на севере страны
Fig. 8. Illustration of the risk in the selected region in the north of the country



следования рисков, связанных с осадками. Например, в Бурунди в феврале 2014 г. сильные дожди вызвали обильное наводнение. В качестве примера мы рассчитали риски по всей стране, используя данные об осадках, чтобы определить регионы, наиболее подверженные риску наводнения [12].

Как видно из рисунка 9, в период с 1 по 10 февраля по индикатору риска видно, что район, наиболее подверженный стихийным бедствиям, связанным с обильными осадками, находится на западе страны, в провинции Бужумбура.

С помощью данной модели геоинформационной системы можно также визуализировать не только показатель риска, но и показатель ущерба, который может возникнуть на заданной территории. В качестве примера на рис. 10 показано пространственное изменение индикатора ущерба, связанных с сильными осадками за период с 1 по 10 февраля 2014. При сравнении рисунков 9 и 10 хорошо заметно, что количество осадков превышает 60 мм и риск для региона западной части Бурунди очень высок [12].

Рис. 9. Геоинформационная карта, иллюстрирующая риск, связанный с осадками выше 60 мм в период с 1 по 10 февраля 2014
Fig. 9. Geoinformation map illustrating the risk associated to rainfall above 60 mm during the period 1-10 February 2014



Рис. 10. Геоинформационная карта, иллюстрирующая пространственные изменения индикатора ущерба в результате выпадения осадков выше 60 мм в периоде с 1 по 10 февраля 2014.

Fig. 10. Geoinformation map illustrating spatial changes in the damage indicator as a result of rainfall above 60 mm in the period from 1 to 10 February 2014.



Заклучение

В заключение можно отметить, что данная модель подходит для определения риска, связанного не только с температурой, но и с другими природными явлениями, которые могут помешать сельскохозяйственной деятельности в Бурунди и в других странах. Поскольку эта модель работает непосредственно с данными в базе данных, полученные результаты сохраняются также в базе данных. Это облегчает обновление веб-приложения, на котором представлена интерактивная карта, и обновление карты позволяет пользователю в реальном времени видеть изменение риска по всей стране.

Важно отметить, что использование данной модели позволит заранее определить регионы, наиболее подверженные георискам. Определение

регионов, подверженных риску, позволит принимать решения по минимизации потерь, что, в свою очередь, способствует развитию экономической системы и адаптации сельскохозяйственного сектора к изменению климата.

Следует подчеркнуть, что сельскохозяйственное выращивание зависит и от многих других факторов, таких как количество осадков, содержание минеральных солей в почве, продолжительность осадков, эрозия и т.д. Поэтому необходимо учитывать все эти факторы, которые играют большую роль в обеспечении правильного ведения сельскохозяйственного производства с целью получения хорошего урожая. Следует также отметить, что для более точного принятия решений необходимо сравнивать показатели риска и ущерба.

Список источников

1. Дейт К.Дж. Введение в системы баз данных. – 8-е изд. – М.; СПб.: Диалектика, 2019. – 1327 с.
2. Истомин Е.П., Петров Я.А., Макогон В.П. Методика оценки георисков на основе управляемых параметров // Информационные технологии и системы: управление, экономика, транспорт, право. – 2019. – № 1 (33). – С. 153–160.
3. Истомин Е.П., Слесарева Л.С. Оценка риска экстремальных гидрометеорологических явлений // Учёные записки РГГМУ. – 2010. – № 16. – С. 14–21.
4. Коваленко Н.И. Глобализация, пространственная информация, геоданные //Славянский форум. – 2015. –№ 4 (10). – С. 147–156.
5. Пушкин А.А. Геоинформационные технологии в экологическом туризме. – Минск : БГТУ, 2014. – 150 с.
6. Система управления базами данных SQL Server [Электронный ресурс] / Professor Web. – Режим доступа: https://professorweb.ru/my/sql-server/2012/level1/1_1.php [дата обращения: 22.01.2024].
7. Третья всемирная конференция ООН по снижению риска бедствий (14–18 марта 2015 г., Сендай, Япония) : протоколы [электронный ресурс]. – 171 с. – Режим доступа: https://www.unisdr.org/files/45069_proceedingsthirdunwcdrrru.pdf (дата обращения: 22.01.2024).
8. Цветков В.Я. Модель геоданных для управления транспортом // Успехи современного естествознания. – 2009. – № 4. – С. 205.
9. Чупикова С.А., Чульдун А.Ф. Геоинформационные и дистанционные методы при оценке загрязнения снежного покрова (г. Кызыл) // Геоинформатика. – 2022. – № 1. – С. 63–70. DOI: 10.47148/1609-364X-2023-1-63-70.
10. Экономическая безопасность России: методология, стратегическое управление, системотехника / кол. авторов ; под науч. ред. С.Н. Сильвестрова. – М. : РУСАЙНС, 2018. – 350 с.

11. *Liersch S., Rivas R., Fritzsche K.* Rapport sur le changement climatique au Burundi. Résumé à l'intention des décideurs [Электронный ресурс]. – Bujumbura : Bureau de la GIZ, 2014. – 17 p. – Режим доступа: https://www.adelphi.de/de/system/files/mediathek/bilder/changement_climatique_au_burundi_r%C3%A9sum%C3%A9_fr_1.pdf [дата обращения: 22.01.2024].
12. *Republic of Burundi Burundi Rapid Assessment with Focus on Flood Risk Management* : Report No: AUS10070 [Электронный ресурс] / International Bank for Reconstruction and Development ; The World Bank. – 2014. – Режим доступа: <https://docplayer.fr/2539820-Republic-of-burundi-burundi-rapid-assessment-with-focus-on-flood-risk-management.html> [дата обращения: 22.01.2024].

References

1. *Date C.J.* An introduction to database systems. 8th ed. Boston: Pearson, 2003. 1040 p.
2. *Istomin E.P., Petrov Y.A., Makogon V.P.* Methodology for the estimation of georisk on the basis of controlled parameters. *Informatsionnye tekhnologii i sistemy: upravlenie, ehkonomika, transport, pravo*. 2019;(1):153–169.
3. *Istomin E.P., Slesareva L.S.* Estimation of risk of the extreme hydrometeorological phenomena. *Uchenye zapiski RGGMU*. 2010;(16):14–21.
4. *Kovalenko N.I.* Globalisation, spatial information, geodata. *Slavic Forum*. 2015;(4):147–156.
5. *Pushkin A.A.* Geoinformatsionnye tekhnologii v ehkologicheskom turizme [Geoinformation technologies in ecological tourism]. Minsk: BGTU; 2014. 150 p.
6. *Sistema upravleniya bazami dannykh SQL Server* [SQL Server database management system]. Available at: https://professorweb.ru/my/sql-server/2012/level1/1_1.php (accessed 22.01.2024)
7. *Third UN world conference on disaster risk reduction* (14-18 March 2015, Sendai, Japan): Proceedings. 169 p. Available at: https://www.preventionweb.net/files/45069_proceedingsthirdunitednationsworldc.pdf (accessed 22.01.2024).
8. *Tsvetkov V.Ya.* Model' geodannykh dlya upravleniya transportom [Geodata model for transport management]. *Advances in current natural sciences*. 2009;(4): 205.
9. *Chupikova S.A., Chuldum A.F.* Geoinformation and remote methods for assessing snow cover pollution (Kyzyl). *Geoinformatika*. 2022;(1):63–70. DOI: 10.47148/1609-364X-2023-1-63-70.
10. *Sil'vestrov S.N.* (ed.) *Ehkonomicheskaya bezopasnost' Rossii: metodologiya, strategicheskoe upravlenie, sistemotekhnika* [Economic security of Russia: methodology, strategic management, systems engineering]. Moscow: RUSAINS; 2018. 350 s.
11. *Liersch S., Rivas R., Fritzsche K.* Rapport sur le changement climatique au Burundi. Résumé à l'intention des décideurs. Bujumbura : Bureau de la GIZ ; 2014. 17 p. Available at: https://www.adelphi.de/de/system/files/mediathek/bilder/changement_climatique_au_burundi_r%C3%A9sum%C3%A9_fr_1.pdf [accessed 22.01.2024].
12. *Republic of Burundi Burundi Rapid Assessment with Focus on Flood Risk Management* : Report No: AUS10070. 2014. Available at: <https://docplayer.fr/2539820-Republic-of-burundi-burundi-rapid-assessment-with-focus-on-flood-risk-management.html> [accessed 22.01.2024].

Статья поступила в редакцию 20.09.2023, одобрена после рецензирования 08.02.2024, принята к публикации 21.02.2024.
The article was submitted 20.09.2023; approved after reviewing 08.02.2024; accepted for publication 21.02.2024.

Информация об авторах

Ндикумана Элиас

Аспирант

ФГБОУ ВО «Российский государственный гидрометеорологический университет»

192007 Санкт-Петербург, ул. Воронежская, д. 79

e-mail: eliasndikuman@gmail.com

ORCID: 0009-0003-4620-9248

Истомин Евгений Петрович

Доктор технических наук, профессор

Директор института информационных систем и геотехнологий РГГМУ

ФГБОУ ВО «Российский государственный гидрометеорологический университет»

192007 Санкт-Петербург, ул. Воронежская, д. 79

e-mail: biom@bk.ru

ORCID: 0000-0001-6247-4373

Яготинцева Наталья Владимировна

Кандидат технических наук

Доцент кафедры Прикладная информатика

ФГБОУ ВО «Российский государственный гидрометеорологический университет»

192007 Санкт-Петербург, ул. Воронежская, д. 79

e-mail: solnishko234@yandex.ru

Information about authors

Elias Ndikumana

Post Graduate Student

Russian State Hydrometeorological University (RSHU)

79, Voronezhskaya str., St. Petersburg, 192007, Russia

e-mail: eliasndikuman@gmail.com

ORCID: 0009-0003-4620-9248

Evgeny P. Istomin

Doctor of Technical Sciences, Professor

Director of the Institute of Information Systems and Geotechnologies of RSHU

Russian State Hydrometeorological University (RSHU)

79, Voronezhskaya str., St. Petersburg, 192007, Russia

e-mail: biom@bk.ru

ORCID: 0000-0001-6247-4373

Natalia V. Yagotinceva

Candidate of Technical Sciences

Associated-Professor of the Department of Applied Informatics

Russian State Hydrometeorological University (RSHU)

79, Voronezhskaya str., St. Petersburg, 192007, Russia

e-mail: solnishko234@yandex.ru