

ГЕОИНФОРМАЦИОННАЯ ПОДДЕРЖКА ИЗУЧЕНИЯ КЛИМАТИЧЕСКИХ ИЗМЕНЕНИЙ

GIS SUPPORT FOR CLIMATE CHANGE STUDIES

УДК: 551.583; 528.9; 681.324

DOI: 10.35595/2414-9179-2021-3-27-108-119

Д.К. Абиева¹, Р.К. Карагулова¹, А.С. Нысанбаева², Н.Н. Абаев³, Г.М. Уразбаева¹,
О.В. Радуснова¹, Ж.М. Шарапханова¹, А.К. Толепбаева¹

ГЕОПРОСТРАНСТВЕННОЕ ВЕБ-ПРИЛОЖЕНИЕ ДЛЯ ПОДДЕРЖКИ ИССЛЕДОВАНИЙ ИЗМЕНЕНИЯ КЛИМАТА КАЗАХСТАНА

АННОТАЦИЯ

Данные моделирования по изменению климата представляют собой большие массивы данных, требующие определенных компетенций и вычислительных ресурсов для их преобразования и адаптации к потребностям пользователей. В качестве решения проблемы в статье рассматриваются геопространственные веб-приложения и геопорталы. Глобальные веб-ресурсы не предоставляют геоинформационную поддержку исследованиям изменения климата Казахстана в силу агрегирования или низкого разрешения исходных данных и ограниченности функционала для интерактивной геовизуализации и анализа данных.

В статье приводится описание разработанного авторами веб-приложения «Kazakhstan Climate Change», цель которого – поддержка исследований пространственно-временных особенностей изменения климата Казахстана. В качестве исходных данных используются данные моделей CMIP5 (Coupled Model Intercomparison Project – Проект сравнения объединенных моделей). На основе исходных показателей по температуре и осадкам с помощью разработанных скриптов Python и климатических пакетов скриптов R Climpack рассчитаны дополнительные показатели для определения влияния изменения климата на водные ресурсы и сельское хозяйство – эвапотранспирация, индексы засухливости, теплообеспеченности и продолжительности вегетационного периода. К ключевым преимуществам приложения отнесены геовизуализация time-series, интерактивность формирования диаграмм и таблиц для проведения анализа, в том числе для выбранных единиц водохозяйственного районирования.

Геопространственное веб-приложение «Kazakhstan Climate Change» решает задачу представления пользователям большого массива климатических данных в виде информации легкой для восприятия и геовизуального анализа. Функционал веб-приложения поз-

¹ АО «Институт географии и водной безопасности» Министерства образования и науки Республики Казахстан, Центр геоинформационных технологий, ул. Пушкина д. 99, 050010, Алматы, Казахстан, *e-mail*: dabiyeva@gmail.com

² Казахский национальный университет им. аль-Фараби, Географический факультет, пр. аль-Фараби, 71, 050040, Алматы, Казахстан, *e-mail*: ayman.nysanbaeva@kaznu.kz

³ РГП «КАЗГИДРОМЕТ», Министерство экологии, геологии и природных ресурсов Республики Казахстан, проспект Мәңгілік ел 11/1, 010000, Нур-Султан, Казахстан, *e-mail*: abayev.nurlan@gmail.com

воляет пользователям, без навыков работы в ГИС, самостоятельно исследовать сценарии изменения климата, что представляет практическую ценность для научного и образовательного сообщества, для лиц, определяющих политику в области изменения климата, управления водными ресурсами.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: геопространственное веб-приложение, изменение климата, временной ряд, геовизуализация, веб-сервис покрытий WCS.

Dinara K. Abiyeva¹, Poza K. Karagulova¹, Aiman S. Nysanbaeva², Nurlan N. Abayev³, Gulzhamila M. Urazbayeva¹, Olga V. Radusnova¹, Zhanerke M. Sharapkhanova¹, Akmaral K. Tolepbaeva¹

GEOSPATIAL WEB APPLICATION TO SUPPORT CLIMATE CHANGE RESEARCH IN KAZAKHSTAN

ABSTRACT

Climate change modelling data is represented by large datasets that require certain expertise and computational resources for its transformation and adjustment to user needs. Geospatial web applications and geoportals are considered as a solution to this problem in this article. Global web resources do not provide geoinformation services for research on climate change in Kazakhstan due to aggregation or low resolution of the source data coupled with limited functionality for interactive geo-visualization and data analysis.

The article describes the web application “Kazakhstan Climate Change” developed by the authors, the purpose of which is aimed at supporting research on spatial-temporal patterns of climate change in Kazakhstan. The data derived from CMIP5 models served as the source data. Based on the initial indicators such as temperature and precipitation, using the developed Python scripts and R Climact climate script packages, additional indicators such as evapotranspiration, drought indices, heat supply indices and indices of the length of the growing season were calculated in order to determine the impact of climate change on water resources and agriculture. The key advantages of the web application include time-series geo-visualization, interactive generation of diagrams and tables for analysis, in particular for selected units of water management zoning.

The geospatial web application “Kazakhstan Climate Change” responds to the challenges of presenting large climate datasets in the easy-to-perceive style and in an easily comprehensible way for geospatial analysis. The functionality of the web application allows users, without GIS skills, to explore climate change scenarios on their own, this opportunity is of practical value for scientific and educational community, for policymakers in the field of climate change and water resources management.

KEYWORDS: geospatial web-application, climate change, time-series, geo-visualization, Web Coverage Service WCS.

¹ JSC "Institute of Geography and Water Safety" Ministry of Education and Science of the Republic of Kazakhstan, Center for Geoinformation Technologies, 99 Pushkin St., 050010, Almaty, Kazakhstan, *e-mail:* dabiyeva@gmail.com

² Kazakh National University named after al-Farabi, Geographical Faculty, 71 Al-Farabi Avenue, 050040, Almaty, Kazakhstan, *e-mail:* ayman.nysanbaeva@kaznu.kz

³ RSE "KAZHYDROMET", Ministry of Ecology, Geology and Natural Resources of the Republic of Kazakhstan, 11/1 Mangilik Yel Avenue, 010000, Nur-Sultan, Kazakhstan, *e-mail:* abayev.nurlan@gmail.com

ВВЕДЕНИЕ

Проявления и последствия глобального изменения климата по-разному проявляются на региональном и местном уровнях [Nkoana et al., 2018; Ojha et al., 2018]. В седьмом национальном Сообщении и третьем двухгодичном Докладе Республики Казахстан по Рамочной конвенции ООН об изменении климата указывается, что процесс изменения климата в Казахстане происходит настолько быстро, что природные экосистемы не успевают адаптироваться. Изменение климата несет угрозу обеспечению водной и продовольственной безопасности страны. В перспективе изменение климата может вызвать проблемы, связанные с обеспечением водой водохозяйственных комплексов, поддержанием экологического равновесия, выполнением требований энергетических, рыбохозяйственных, судохозяйственных и других попусков¹.

Для лучшего понимания изменений климата и управления климатическими рисками, обоснования политических решений важно иметь доступ к согласованным и надежным данным и информационным продуктам, адаптированным к потребностям пользователей. Это требует глубокого понимания потребностей пользователей и контекста, в котором работают эти пользователи [Buontempo et al., 2020].

Достижения геоинформационных технологий позволяют выполнять геопространственные вычисления, моделирование, геовизуализацию и анализ данных, управлять пространственной информацией и извлекать новые знания [Katpatal, 2018]. Веб-картографирование представляет собой инструмент для интеграции и распространения разнообразной информации [Siles et al., 2018]. Популярности веб-приложений способствует интерактивность пользовательского интерфейса и возможность проведения операций с пространственными данными. Интерактивные визуализации, позволяют широкому кругу пользователей самостоятельно исследовать среды и сценарии изменения климата [Bennett et al., 2012], что позволяет использовать ГИС для поддержки принятия решений как в стратегическом планировании, так и в решении оперативных задач [Kitka et al., 2018].

Данные по климатическим параметрам изменения климата, находящиеся в открытом доступе, требуют определенных компетенций и вычислительных ресурсов для их преобразования и дальнейшего использования. В настоящее время доступны различные глобальные, региональные и национальные геопорталы и веб-приложения, связанные с изменением климата, которые предоставляют возможность геовизуализации климатических параметров изменения климата. Среди них можно выделить приложение «KNMI Climate Change Atlas» Всемирной метеорологической организации², портал Climate Change Knowledge Portal Всемирного банка³, портал данных Climate Change Scenarios Национального центра атмосферных исследований США⁴, приложения Климатического центра Росгидромета по сценарным прогнозам на основе глобальных⁵ и региональных⁶ моделей.

¹ Министерство энергетики Республики Казахстан, Программа Развития ООН в Казахстане, Глобальный Экологический Фонд. Седьмое национальное Сообщение и третий двухгодичный Доклад Республики Казахстан Рамочной конвенции ООН об изменении климата. Астана, 2017. 307 с.

² KNMI Climate Change Atlas. Электронный ресурс: https://climexp.knmi.nl/plot_atlas_form.py (дата обращения 08.04.2021).

³ Climate Change Knowledge Portal. Электронный ресурс: <https://climateknowledgeportal.worldbank.org/> (дата обращения 17.06.2020).

⁴ Climate Change Scenarios. Электронный ресурс: <https://gisclimatechange.ucar.edu/> (дата обращения 17.09.2020).

⁵ Сценарные прогнозы на основе глобальных моделей. Электронный ресурс: <http://cc.voeikovmgo.ru/ru/klimat/izmenenie-klimata-rossii-v-21-veke> (дата обращения 12.03.2021).

⁶ Сценарные прогнозы на основе региональной модели. Электронный ресурс: <http://cc.voeikovmgo.ru/ru/klimat/lf-hr> (дата обращения 17.09.2020).

Веб-портал Climate Impacts Online Потсдамского Института Исследования Изменения Климата и Национальной Метеослужбы Германии был использован в качестве примера геовизуализации результатов по сценариям изменения климата. Данный веб-ресурс предоставляет данные по изменению климата на территории Германии, а также прогноза его влияния на различные сектора (сельское хозяйство, лесное хозяйство, гидрология, энергетика, здоровье и туризм). Данные доступны за период 1901–2010 гг. (наблюдаемые данные) и 2011–2100 гг. (прогнозные данные). Функционал карты представлен панелью фильтра для выбора сценария изменения климата (репрезентативные траектории концентраций (далее RCP), периода осреднения данных (10- и 30-летий), временного масштаба (сезонные и годовые данные), построения диаграмм по выбранной точке и выходных таблиц. Результаты прогноза изменения климата или его воздействия на сектора можно посмотреть в виде карт time-series с помощью бегунка времени.

Хотя глобальные геопространственные веб-приложения и геопорталы по изменению климата предоставляют данные и на территорию Казахстана, они не могут внести достаточный вклад для поддержки исследований по изменению климата Казахстана по нескольким причинам. Во-первых, картографические данные этих веб-ресурсов представлены в агрегированном виде на уровне страны или с низким разрешением. Во-вторых, приложения не предоставляют возможность их геовизуализации в виде карт time-series. В-третьих, возможности интерактивного анализа данных в рассмотренных глобальных приложениях значительно ограничены.

Цель данного исследования заключалась в разработке геопространственного веб-приложения для поддержки исследований пространственно-временных особенностей изменения климата Казахстана. Разработанное геопространственное веб-приложение «Kazakhstan Climate Change» решает задачу представления пользователям большого массива климатических данных в виде информации легкой для восприятия и геовизуального анализа.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

В качестве входных данных для геопространственного веб-приложения использовались векторный слой границ водохозяйственных бассейнов и участков (далее ВХУ) и наборы климатических данных (суточная максимальная и минимальная температуры, суточное количество осадков) ансамбля из 21 моделей, участвовавших в CMIP5. Анализ источников данных для прогноза изменения климата Казахстана показал, что данные моделей CMIP5, предоставленные платформой NASA NEX-GDDP на настоящий момент являются наиболее предпочтительными и скорректированными на системные ошибки на основе исторических данных¹. Данные представлены ретроспективными данными (1950–2005 гг.) и данными проекций климата для сценариев RCP 4.5 и RCP 8.5 (2006–2100 гг.). Пространственное разрешение данных 0,25 градуса. Межмодельный разброс средних годовых значений температуры воздуха для территории Казахстана [Белдеубаев, 2019], рассчитанный для исторического периода 1980–1999 гг. по ансамблю из 21 модели CMIP5 небольшой и составляет всего $\pm 0,25$ °C. Максимальные отклонения отмечаются в некоторых центральных и северных районах Казахстана, что соответствует районам с наибольшей изменчивостью температуры. Для температур зимнего и весеннего сезонов максимальные значения отклонений достигают $\pm 0,4$ °C, лет-

¹ NEX-GDDP: Global Daily Downscaled Projections for Studies of Climate Change Impacts. Электронный ресурс: https://esgf.nccs.nasa.gov/esgdoc/NEX-GDDP_Tech_Note_v0.pdf (дата обращения 20.04.2020).

него и осеннего – $\pm 0,3$ °C¹. Данные были скачаны с сайта NASA Center for Climate Simulation². Данные выгружались по экстенду, который охватывал все бассейны трансграничных рек Казахстана.

Объем скачанных данных составил примерно 60 млрд записей пространственно-временного формата NetCDF. Одной из техник анализа больших данных является ансамблевый анализ данных [Hong Shu, 2016]. Выгруженные в формате NetCDF климатические данные пересчитывались в осредненные данные ансамбля и загружались в СУБД. Затем суточные данные пересчитывались в среднемесячные, среднесезонные, среднегодовые показатели в разрезе периодов осреднения (десятилетий, двадцатилетий, тридцатилетий). На основе значений максимальной и минимальной температуры рассчитывались значения среднемесячной температуры.

Расчет отклонений значений параметров каждого периода осреднения от средних многолетних значений базовых периодов проведен для ретроспективных данных с 1950 г. по 2005 г., а также для двух климатических сценариев для периода с 2006 по 2100 гг. Согласно Руководящим указаниям ВМО по расчету климатических норм³ в качестве опорного периода для долгосрочной оценки изменения климата по 30-летним осреднениям определен период с 1961 по 1990 гг. В связи с тем, что с 2000 по 2005 гг. – ретроспективная проекция климата, с 2006 г. – прогнозная проекция, в качестве базового периода для 10-летнего осреднения определен период 1991–2000 гг., для 20-летнего – 1981–2000 гг.

Для изучения влияния изменения климата на формирование водных ресурсов, кроме показателей температуры и осадков, требуются данные по суммарному испарению – эвапотранспирации (ET).

Методика расчета эвапотранспирации. Эвапотранспирация (ET) – это сочетание двух отдельных процессов, при которых почва теряет воду через испарение, а растения – через транспирацию. Основными метеорологическими параметрами, влияющими на эвапотранспирацию, являются: температура воздуха, радиация, скорость ветра влажность. Испаряющая сила атмосферы выражается эталонной эвапотранспирацией (ET₀), которая представляет собой эвапотранспирацию со стандартной растительной поверхности.

Следовательно, ET₀ является климатическим параметром и может быть подсчитана, исходя из метеоданных. ET₀ выражает испаренную силу атмосферы в конкретной местности и для конкретного времени года и не зависит от сельхозкультур или типа почвы.

В мае 1990 г. Продовольственная и сельскохозяйственная организация ООН (ФАО) в сотрудничестве с Международной комиссией по ирригации и дренажу (МКИД) и Всемирной метеорологической организацией (ВМО), рекомендовали принять комбинированный метод Пенмана-Монтейта (Penman-Monteith) за новый стандарт расчета эталонной эвапотранспирации. Метод Пенмана-Монтейта рекомендован как единственный метод определения ET₀, так как он хорошо аппроксимирует ET₀ для травы исследуемой местности к физически обоснованным, физиологическим и аэродинамическим параметрам⁴.

¹ Седьмое национальное Сообщение и третий двухгодичный Доклад Республики Казахстан Рамочной конвенции ООН об изменении климата. Программа Развития ООН в Казахстане. Электронный ресурс: http://sustainable.eep.kz/upload/RUS_Saulet_Report_12-2017_RUS.pdf (дата обращения 20.04.2020).

² NASA Earth Exchange Global Daily Downscaled Projections (NEX-GDDP). Электронный ресурс: <https://www.nccs.nasa.gov/services/data-collections/land-based-products/nex-gddp> (дата обращения 20.04.2020).

³ Руководящие указания ВМО по расчету климатических норм ВМО-№ 1203. Электронный ресурс: https://library.wmo.int/doc_num.php?explnum_id=4168. (дата обращения 23.09.2019).

⁴ Food and Agriculture Organization of the United Nations. Rome, 1998. 300 с. (FAO irrigation and drainage paper; 56). ISBN 92-5-104219-5.

Для повышения совместимости метеорологических данных, замеры должны производиться на высоте 2 м (или преобразованы для этой высоты) над обширной поверхностью зеленой травы, затеняющей поверхность и хорошо увлажненной. Уравнение Пенмана-Монтейта (по методике ФАО) может быть выведено из комбинированного уравнения Пенмана-Монтейта и уравнений аэродинамического и поверхностного сопротивлений. Уравнение Пенмана-Монтейта:

$$ET_0 = \frac{0.408\Delta(R_n - G) + \gamma \frac{900}{T + 273} u_2 (e_s - e_a)}{\Delta + \gamma(1 + 0.34u_2)}$$

- ET_0 - эталонная эвапотранспирация [мм сут⁻¹];
- R_n - чистая радиация на поверхности растений [МДж м⁻² сут⁻¹];
- G - плотность теплового потока почвы [МДж м⁻² сут⁻¹];
- T - среднесуточная температура воздуха на высоте 2 м [°C];
- u_2 - скорость ветра на высоте 2 м [м с⁻¹];
- e_s - давление пара насыщения [кПа];
- e_a - фактическое давление [кПа];
- $(e_s - e_a)$ - дефицит давления пара насыщения [кПа];
- Δ - уклон кривой давления пара [кПа °C⁻¹];
- γ - психрометрическая постоянная [кПа °C⁻¹].

Уравнение Пенмана-Монтейта требует данных по температуре и влажности воздуха, солнечной радиации и скорости ветра для суточных, недельных и месячных расчетов.

Алгоритм расчета эвапотранспирации по историческим данным и по данным климатических прогнозов (сценарий климата). В связи с тем, что прогностические данные имеются только по температуре воздуха и количества осадков, нами предлагается проведение расчетов по процедуре с недостающими данными. Таким образом, расчеты по ретроспективным данным и данным климатических прогнозов могли быть сопоставимы между собой. Уравнение Пенмана-Монтейта определяет эвапотранспирацию с гипотетической эталонной травяной поверхности, с которой можно сопоставлять эвапотранспирацию для различных периодов года или других регионов, а также других культур.

Процедура расчета состоит из следующих шагов: **1.** Расчет температурно-влажностных параметров (средняя месячная температура T_{mean} ; градиент кривой давления пара Δ ; атмосферное давление в зависимости от высоты местности P ; давление пара насыщения e_s) из суточной максимальной (T_{max}) и минимальной (T_{min}) температуры воздуха, абсолютной отметки местоположения (z) и средней скорости ветра (u_2). **2.** Для определения эвапотранспирации необходимы данные скорости ветра на высоте 2 м над поверхностью Земли. Чтобы скорректировать данные по скорости ветра, измеренной на другой высоте, согласно предложенной методике, используется логарифмический ветровой профиль для измерений над поверхностью с коротким травяным покровом или же рассчитанный переводной множитель¹⁵. **3.** Расчет дефицита давления пара ($e_s - e_a$). Давление пара насыщения (e_s) рассчитываются из T_{max} и T_{min} , а фактическое давление пара (e_a) может быть выведено из температуры точки росы (T_{dew}), максимальной (RH_{max}) и минимальной (RH_{min}) относительной влажности, из максимальной (RH_{max}) или средней (RH_{mean}) относительной влажности. **4.** Определение чистой радиации (R_n) как разницы между чистой коротковолновой (R_{ns}) и чистой длинноволновой (R_{nl}) радиациями. Влияние почвенного теплового потока (G) для суточных расчетов игнорируется,

поскольку его величина сравнительно мала. Чистая радиация, выраженная в МДж м-2сут-1, преобразуется в мм/сут (эквивалентное испарение) в уравнении Пенмана-Монтейта с помощью преобразующего коэффициента 0,408.

В рамках исследования определен перечень расчетных показателей, характеризующих прямое и опосредованное влияние изменения климата на сельское хозяйство. Для расчета значений следующих групп показателей – индексы засушливости, показатели теплообеспеченности и продолжительности вегетационного периода использованы готовые климатические пакеты скриптов R Climpact^{1, 2}.

Полученные расчетные показатели изменения климата с помощью скриптов Python конвертированы в растровые наборы для последующей публикации в виде веб-сервисов покрытий WCS (Web Coverage Service) для поддержки визуализации time-series.

Веб-приложение «Climate change» использует компоненты геопортала, созданного на платформе GeoNode – GeoServer как пространственного сервера и СУБД PostgreSQL+PostGIS как пространственную базу данных. Реализация основного бэкенда веб-приложения «Climate change» написана на C#, который передает функции, связанные с бизнес-логикой бэкенду GeoNode – Django. В качестве картографического клиента использует OpenLayers.

Серверная часть приложения отвечает за создание директории хранения растров, загрузку растров и создание из них мозаики пространственно-временных наборов растров с таблицей индексов в базе PostgreSQL+PostGIS и файлами конфигурации свойств, определение поля атрибута измерения времени, назначения стиля отображения и публикации в виде картографических сервисов и сервисов покрытия, расчеты средних значений параметров для пользовательских и предопределенных территориальных единиц – ВХУ.

Для интерпретации данных карт разработаны шкалы градаций показателей на основе естественных границ, определяемых автоматически на основе анализа всего массива значений или на основе принятых в климатологии градаций данных. На основе шкал градаций для каждой мозаики наборов данных разработана легенда для визуализации в формате SLD файла и загружена на GeoServer для оформления картографических веб-сервисов.

Используемые технологии, методы обработки и извлечения данных, позволяют автоматизировать формирование большого массива геопространственных данных, их хранение и управление с целью веб-представления знаний по изменению климата Казахстана.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Веб-приложение «Kazakhstan Climate Change» предоставляет возможность визуализации тематических карт time-series по изменению климата Казахстана и сопредельных территорий с 1950 по 2100 г. и их геовизуального анализа, в том числе интерактивное формирование диаграмм и таблиц, агрегирования и выгрузки данных.

В общей сложности в растровое хранилище приложения на GeoServer загружено 16 196 среднемесячных, сезонных и годовых растровых карт по периодам осреднения данных и сценариям проекций по RCP 4.5 и 8.5, из которых сформированы 306 мозаик для публикации веб-сервисов покрытий WCS в виде time-series.

Веб-приложение представлено двумя пользовательскими интерфейсами, которые условно назовем картографическим и аналитическим интерфейсом.

¹ Providing climate science basis for climate adaptation and mitigation activities. Электронный ресурс: <https://climateinformation.org/> (дата обращения 20.05.2020).

² Climpact Indices. Электронный ресурс: <https://climpact-sci.org/indices/> (дата обращения 20.05.2020).

В картографическом интерфейсе, согласно запросу пользователя, формируются для отображения карты изменения климата. На верхней панели пользователю предоставляется возможность выбора показателя изменения климата. Показатели сгруппированы по следующим разделам: температура воздуха, осадки, эвапотранспирация, агроклиматические показатели, последний из которых разделен на индексы засушливости и термические ресурсы (рис. 1). На левой боковой панели пользователю предоставляется возможность формирования запроса на отображение слоев по следующим параметрам: тип периода осреднения данных (10-, 20- или 30-летний периоды); временное разрешение данных (среднегодовое, среднесезонное (выбор из выпадающего списка сезонов – весна, лето, осень, зима) или среднемесячное (выбор месяца из выпадающего списка месяцев)); сценария прогноза (RCP 4.5 или RCP 8.5).

Название карты динамически генерируется на основе выбранного климатического параметра, сценария прогноза климата, отображаемого на текущий момент периода осреднения данных и временного разрешения.

Инструмент TimeSlider («Бегунок времени») предоставляет возможность в ручном или автоматизированном режиме (анимации) просматривать карты изменения климата по десяти-, двадцати- или тридцатилетиям по выбранным параметрам. Шаг инструмента «Бегунок времени» меняется в зависимости от выбранного типа периода осреднения данных. При выборе в качестве параметра отклонений значений показателей от значения базового периода, автоматически переопределяется базовый период, соответствующий выбранному периоду осреднения данных.

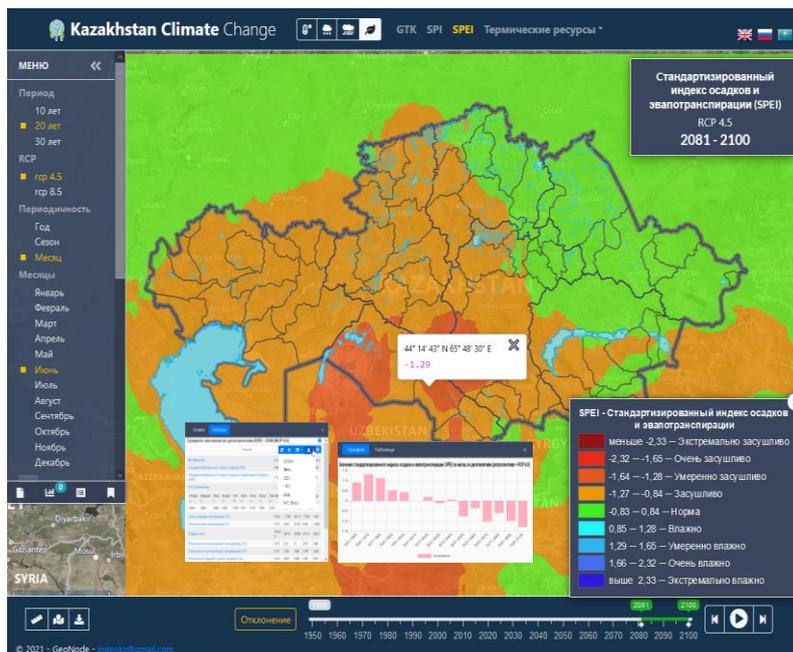


Рис. 1. Картографический интерфейс веб-приложения «Kazakhstan Climate Change»

Fig. 1. Cartographic interface of the web application “Kazakhstan Climate Change”

При клике на карте в всплывающем окне отображается информация о координатах точки и значение показателя выбранного климатического параметра с выбранным разрешением на период, установленный на TimeSlider выбранного показателя, а также дополнительное окно с вкладками интерактивных диаграмм и таблиц. Картографический вьювер включает инструменты измерения и выборки данных для экспорта в пределах выбранного пользователем экстенда на карте.

Переход на аналитический интерфейс осуществляется при выборе объекта из слоя ВХУ с помощью инструмента «Выбрать объект на карте». В интерфейсе реализована возможность проведения сопряженного сравнительного анализа двух выбранных показателей изменения климата, значения которых агрегированы в пределах выбранного ВХУ. Сопряженный анализ выполняется в картографических выюверах, которые навигационно связаны и синхронно масштабируемы (рис. 2). Каждый картографический выювер имеет свой фильтр, где из ниспадающего списка выбирается климатический параметр, сценарий прогноза климата, периодичность данных. Фильтры работают автономно, что позволяет выбирать для сравнения карты разных показателей, или одного показателя при разных сценариях. Инструмент TimeSlider работает синхронно на два картографических выювера в ручном или автоматизированном режиме, шаг инструмента управляется выборкой периода осреднения данных.

Фильтр выбора объекта (ВХУ) связан не только с картографическими выюверами, но и с окном диаграмм, которое имеет вкладки: график и таблица. Панель фильтра графиков включает возможности выбора климатического параметра, сценария проекции климата, срока периода осреднения данных, одного или нескольких периодов осреднения данных.

Через вкладки окна графика настраивается отображение периодичности данных (год, по месяцам, по сезонам), типы статистического показателя агрегированных данных по ВХУ (максимум, минимум, медиана). Исследование диаграмм годового хода значений отдельных показателей позволяет выявить особенности смещений изменений по месяцам при разных проекциях сценариев RCP. Вкладка таблицы позволяет выбрать показатели по заданным параметрам и экспортировать результаты выборки в различных форматах (JSON, XML, txt, csv, MS Excel и др.).

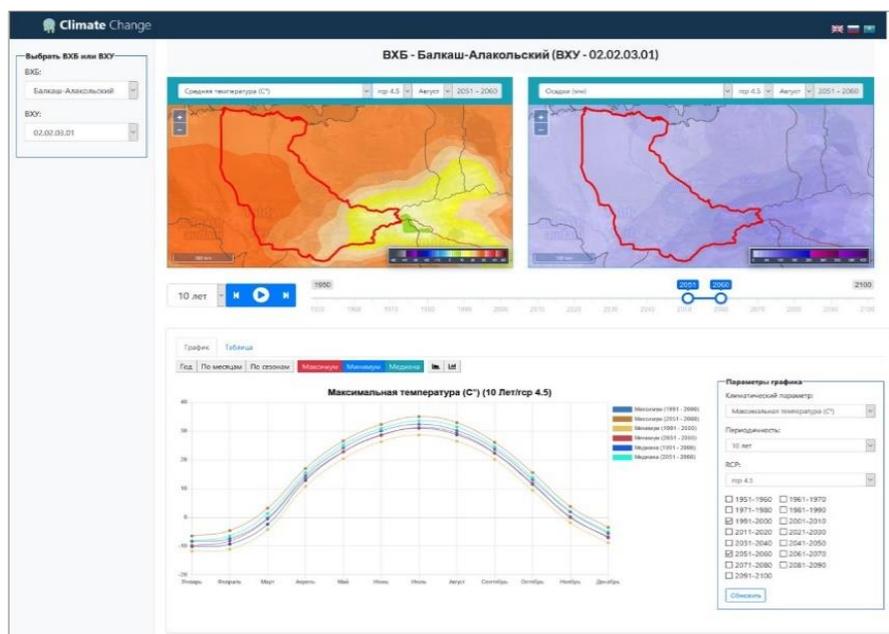


Рис. 2. Аналитический интерфейс веб-приложения «Kazakhstan Climate Change»

Fig. 2. Analytical interface of the web application “Kazakhstan Climate Change”

На основе сравнения функционала приложения, характеристик исходных данных, визуального представления данных с вышерассмотренными аналогичными веб-ресурсами, определены преимущества разработанного геопространственного веб-приложения «Kazakhstan Climate Change». К основным преимуществам разработанного нами приложения относятся разрешение сетки исходных данных $0,25^\circ$ против 1° исходных данных гло-

бальных веб-приложений порталов, расширение набора показателей за счет расчетных показателей эвапотранспирации, засушливости, теплообеспеченности и продолжительности вегетационного периода, а также их отклонений от значений базового периода, реализация геовизуализации в виде изображений time-series и интерактивность взаимодействия с данными. Веб-приложение портала Climate Impacts Online по изменению климата Германии и его воздействию на различные сектора безусловно оказывает большую геоинформационную поддержку исследованиям изменения климата за счет широкого набора показателей, полученных в том числе в результате моделирования. Однако можно отметить, что функционал приложения «Kazakhstan Climate Change» позволяет пользователю экспортировать данные для их дальнейшей обработки в различных программах, а также выполнять сопряженный геовизуальный анализ агрегированных данных в пределах ВХУ, что способствует эффективности использования приложения для прогнозных расчетов климатически-обусловленного стока в разрезе единиц водохозяйственного районирования.

Использование в качестве исходных данных приложения «Kazakhstan Climate Change» данных моделей СМIP6 возможно увеличит ценность приложения для исследования изменения климата Казахстана. Результаты современных моделей СМIP6 стали доступны недавно и еще нет опубликованных данных об эффективности ансамблевых данных моделей СМIP6 по сравнению с моделями СМIP5 для Казахстана. В исследованиях по Китаю [Luo et al., 2020], Канаде [Bourdeau-Goulet et al., 2021], Бангладешу¹ приводятся данные об отсутствии явного превосходства отдельных моделей СМIP6 над соответствующими моделями СМIP5. Исследователи данных СМIP6 по Канаде также отмечают, что средние значения многомодельного ансамбля СМIP5 и СМIP6 почти одинаковы. Однако представление в приложении «Kazakhstan Climate Change» данных по альтернативным сценариям SSP (Shared Socio-Economic Pathways – Общие пути социально-экономического развития) может внести существенный вклад в повышение ценности приложения как источника данных для формирования представления о возможных изменениях климата Казахстана.

ВЫВОДЫ

Приведенное выше описание геопространственного веб-приложения и его сравнение с аналогичными веб-продуктами, позволяет сделать вывод о возможностях разработанного приложения оказывать геоинформационную поддержку исследованиям изменения климата Казахстана. Результаты картирования изменения климата, представленные в приложении, могут быть использованы при прогнозной оценке водных ресурсов Казахстана, включая сток, формирующийся за пределами страны. Широкий спектр агроклиматических показателей, в совокупности с функционалом приложения, оказывает картографическую и аналитическую поддержку принятия решения по адаптации сельского хозяйства к изменению климата, как основного климато-зависимого сектора экономики Казахстана. Данные также могут быть использованы для прогноза изменения экосистемных услуг, например, будущего депонирования углерода.

В дальнейшем планируется рассмотреть возможность обновления или включения в приложение новых данных, созданных на основе обработки данных СМIP6, а также развития аналитического функционала приложения.

¹ Kamruzzaman M., Shahid Sh., Islam A., Hwang S., Cho J., Zaman Md., Ahmed M., Rahman Md., Hossain Md. (2021). Comparison of CMIP6 and CMIP5 Model Performance in Simulating Historical Precipitation and Temperature in Bangladesh: A Preliminary Study. DOI:10.21203/rs.3.rs-233789/v1. Электронный ресурс: https://assets.researchsquare.com/files/rs-233789/v1_stamped.pdf (дата обращения 06.05.2021).

Веб-приложение «Kazakhstan Climate Change» может служить примером перевода больших открытых данных из информации, требующей мощных вычислительных ресурсов для обработки, специальных знаний для понимания процессов обработки и анализа, в легкодоступную, легко воспринимаемую широким кругом пользователей информацию. Функционал веб-приложения позволяет пользователям, без навыков работы в ГИС, исследовать пространственно-временные особенности изменения климата, что позволяет предположить его практическую ценность для научного и образовательного сообщества, для лиц, определяющих политику в области изменения климата, управления водными ресурсами.

БЛАГОДАРНОСТИ

Работа выполнена в АО «Институт географии и водной безопасности» в рамках программно-целевого финансирования Комитета науки Министерства образования и науки Республики Казахстан. Авторы выражают огромную благодарность разработчикам программного обеспечения веб-приложения «Kazakhstan Climate Change» И.А. Переливскому, Н.А. Кенжебекову, К.А. Аюпову.

ACKNOWLEDGEMENTS

The work was carried out at the JSC “Institute of Geography and Water Security” within the framework of earmarked funding provided by the Committee of Science of the Ministry of Education and Science of the Republic of Kazakhstan. The authors express their deep gratitude to the software developers of the web application “Kazakhstan Climate Change” I.A. Perelivsky, N.A. Kenzhebekov, K.A. Ayupov.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Белдеубаев Е., Смирнова Е., Долгих С.* Подходы и результаты оценки вероятного изменения климата Казахстана. Международная молодежная школа и конференция по вычислительно-информационным технологиям для наук об окружающей среде. CITES '2019, 27 мая – 6 июня 2019. Москва, Россия. С. 321–323.
2. *Bennett R., Senot H., Pettit C. J., Aurambout J.-P., Sheth F., Soste L., Sposito V.* Using digital globes to visualize climate change impact. *Advances in geo-spatial information science (ISPRS book series)*. CRC Press, 2012. P. 205–218.
3. *Bourdeau-Goulet S., Hassanzadeh E.* Comparisons Between CMIP5 and CMIP6 Models: Simulations of Climate Indices Influencing Food Security, Infrastructure Resilience, and Human Health in Canada. *Earth's Future*, 2021. V. 9. DOI: 10.1029/2021EF001995.
4. *Buontempo C., Hutjes R., Beavis P., Berckmans J., Cagnazzo C., Vamborg F., Thépaut J., Bergeron C., Almond S., Amici A., Ramasamy S., Dee D.* Fostering the development of climate services through Copernicus Climate Change Service (C3S) for agriculture applications. *Weather and Climate Extremes*, 2020. V. 27:100226. DOI: 10.1016/j. wace.2019. 100226.
5. *Hong Shu.* Big data analytics: six techniques. *Geo-spatial Information Science*, 2016. V. 19. P. 119–128. DOI: 10.1080/10095020.2016.1182307.
6. *Katpatal Y.B.* Geospatial Applications in Water Resource Management with Special Reference to Climate Change. *Geospatial Technologies in Land Resources Mapping, Monitoring and Management book series (GEOTECH, volume 21)*. 2018. P. 587–601.
7. *Kitka G., Kovács-Győri A., Tátrai J., Oroszi V.G.* Application of GIS for a Climate Change Prepared Disaster Management in Csongrád County, Hungary. *Journal of Environmental Geography*, 2018. V. 11 (3–4). P. 49–56. DOI: 10.2478/jengeo-2018-0012.
8. *Luo N., Guo Y., Gao Zh., Chen K., Chou J.* Assessment of CMIP6 and CMIP5 model performance for extreme temperature in China. *Atmospheric and Oceanic Science Letters*, 2020. V. 13:6. P. 589–597. DOI: 10.1080/16742834.2020.1808430.

9. *Nkoana E. M., Verbruggen A., Hugé J.* Climate Change Adaptation Tools at the Community Level: An Integrated Literature Review. *Journal of Sustainability*, 2018. V. 10, 796. DOI: 10.3390/su10030796.
10. *Ojha A., Pattnaik A., Rout J.* Climate change impacts on natural resources and communities: A geospatial approach for management. *Lakes & Reservoirs: Science, Policy and Management for Sustainable Use*, 2018. V. 23 (1). P. 34–42. DOI: 10.1111/lre.12209.
11. *Siles G., Voirin Y., Bénié G.B.* Open-source based geo-platform to support management of wetlands and biodiversity in Quebec. *Journal of Ecological Informatics*, 2018. V. 43. P. 84–95. DOI: 10.1016/j.ecoinf.2017.11.005.

REFERENCES

1. *Beldeubaev E., Smirnova E., Dolgikh S.* Approaches and results of assessing the likely climate change in Kazakhstan. *International Youth School and Conference on Computational Information Technologies for Environmental Sciences. CITES '2019, May 27 – June 6, 2019. Moscow, Russia.* P. 321–323 (in Russian).
2. *Bennett R., Senot H., Pettit C. J., Aurambout J.-P., Sheth F., Soste L., Sposito V.* Using digital globes to visualize climate change impact. *Advances in geo-spatial information science (ISPRS book series).* CRC Press, 2012. P. 205–218.
3. *Bourdeau-Goulet S., Hassanzadeh E.* Comparisons Between CMIP5 and CMIP6 Models: Simulations of Climate Indices Influencing Food Security, Infrastructure Resilience, and Human Health in Canada. *Earth's Future*, 2021. V. 9. DOI: 10.1029/2021EF001995.
4. *Buontempo C., Hutjes R., Beavis P., Berckmans J., Cagnazzo C., Vamborg F., Thépaut J., Bergeron C., Almond S., Amici A., Ramasamy S., Dee D.* Fostering the development of climate services through Copernicus Climate Change Service (C3S) for agriculture applications. *Weather and Climate Extremes*, 2020. V. 27:100226. DOI: 10.1016/j.wace.2019.100226.
5. *Hong Shu.* Big data analytics: six techniques. *Geo-spatial Information Science*, 2016. V. 19. P. 119–128. DOI: 10.1080/10095020.2016.1182307.
6. *Katpatal Y.B.* Geospatial Applications in Water Resource Management with Special Reference to Climate Change. *Geospatial Technologies in Land Resources Mapping, Monitoring and Management book series (GEOTECH, volume 21)*, 2018. P. 587–601.
7. *Kitka G., Kovács-Győri A., Tátrai J., Oroszi V.G.* Application of GIS for a Climate Change Prepared Disaster Management in Csongrád County, Hungary. *Journal of Environmental Geography*, 2018. V. 11 (3–4). P. 49–56. DOI: 10.2478/jengeo-2018-0012.
8. *Luo N., Guo Y., Gao Zh., Chen K., Chou J.* Assessment of CMIP6 and CMIP5 model performance for extreme temperature in China. *Atmospheric and Oceanic Science Letters*, 2020. V. 13:6. P. 589–597. DOI: 10.1080/16742834.2020.1808430.
9. *Nkoana E.M., Verbruggen A., Hugé J.* Climate Change Adaptation Tools at the Community Level: An Integrated Literature Review. *Journal of Sustainability*, 2018. V. 10, 796. DOI: 10.3390/su10030796.
10. *Ojha A., Pattnaik A., Rout J.* Climate change impacts on natural resources and communities: A geospatial approach for management. *Lakes & Reservoirs: Science, Policy and Management for Sustainable Use*, 2018. V. 23 (1). P. 34–42. DOI: 10.1111/lre.12209.
11. *Siles G., Voirin Y., Bénié G.B.* Open-source based geo-platform to support management of wetlands and biodiversity in Quebec. *Journal of Ecological Informatics*, 2018. V. 43. P. 84–95. DOI: 10.1016/j.ecoinf.2017.11.005.