

УДК: 614.8; 614.841.3; 632.123; 528.88

РАЗРАБОТКА КОМПЛЕКСНОЙ СИСТЕМЫ ПРОГНОЗНОГО МОНИТОРИНГА ФАКТОРОВ, ХАРАКТЕРИЗУЮЩИХ ПОЖАРНУЮ ОПАСНОСТЬ ТЕРРИТОРИИ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ, С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ СПУТНИКОВЫХ И НАЗЕМНЫХ ДАННЫХ

Кравцов С.Л., Радюкевич Г.И., Козел А.Л.,
Голубцов Д.В., Лапаник С.А., Лепесевич Е.В.

Территория Республики Беларусь характеризуется достаточно высокой пожарной опасностью – так, для лесных насаждений ее средний класс составляет 2,6. При этом традиционно используемые для оценки пожарной опасности территории комплексные (метеорологические) показатели рассчитываются на сутки и позволяют идентифицировать лишь особенности масштаба страны, слишком приблизительны для использования в масштабах района или даже области, что снижает эффективность проведения предупредительных мер, направленных на минимизацию последствий природных пожаров. В этой связи начата разработка системы прогнозного мониторинга факторов, характеризующих пожарную опасность территории, обеспечивающая (за счет использования множества наземных, спутниковых и иных данных) гибкость, динамичность, детальность и доступность результатов. Представлены результаты создания системы прогнозного мониторинга, включая сервис удаленного (интернет) доступа пользователей к результатам прогнозного мониторинга.

Ключевые слова: прогнозный мониторинг, пожарная опасность, природный пожар, спутниковые данные, наземные данные, детальность, динамичность, доступность.

(Поступила в редакцию 2 апреля 2018 г.)

Введение. Природные пожары чрезвычайно сложно предотвратить, однако их последствия могут быть значительно уменьшены (согласно данным российских ученых – от 10 до 20 %) осуществлением предупредительных мер за счет более качественного прогнозного мониторинга. Он позволяет своевременно обеспечить: прибытие спасательных служб; подготовку мероприятий по преодолению последствий; предупреждение населения, а при необходимости его эвакуацию; отгон и укрытие животных; вывоз материальных ценностей. Кроме того, снижение (за счет прогнозного мониторинга) масштаба и повышение эффективности мероприятий по ликвидации природных пожаров позволяет уменьшить экологические угрозы населению, атмосфере, гидросфере и литосфере. Учитывая, что общие потери от природных пожаров в Республике Беларусь за год измеряются десятками миллионов долларов, становится очевидной важность разработки и внедрения методов прогнозного мониторинга факторов, характеризующих пожарную опасность территории.

Традиционно для оценки пожарной опасности территории используется один из комплексных (метеорологических) показателей: Н.А. Диченкова – для Республики Беларусь, В.Г. Нестерова – для Российской Федерации. Однако подобные показатели рассчитываются на сутки, позволяя идентифицировать лишь особенности масштаба страны, и слишком приблизительны для использования в масштабах района или даже области. Действительно, пожарная опасность территории может значительно различаться на расстоянии лишь в несколько километров от метеостанции из-за изменения в рельефе, расстояния до ближайших водных объектов, вида поверхностных горючих материалов и др. Кроме того, комплексные показатели не учитывают изменение состояния поверхностных горючих материалов в течение суток. В этой связи для более объективной оценки пожарной опасности территории предлагается рассчитывать ряд дополнительных факторов, полученных по наземной информации (температура и влажность воздуха, количество осадков, скорость ветра и др.: интервал измерений на метеостанциях – 3 ч) (повышение динамичности оценки) и полученных по спутниковым данным (индексы состояния растительности) (повышение детальности оценки). Дополнительно повышение детальности предлагается достигать путем учета статических (относительно медленно меняющихся во времени) данных: категорий наземного покрова, рельефа, загрязнения радиоактивными элементами.

Описание функционирования системы прогнозного мониторинга факторов, характеризующих пожарную опасность территории. Общая схема функционирования си-

системы прогнозного мониторинга факторов, характеризующих пожарную опасность территории, с использованием спутниковых и наземных данных (далее – системы прогнозного мониторинга) представлена на рисунке 1.

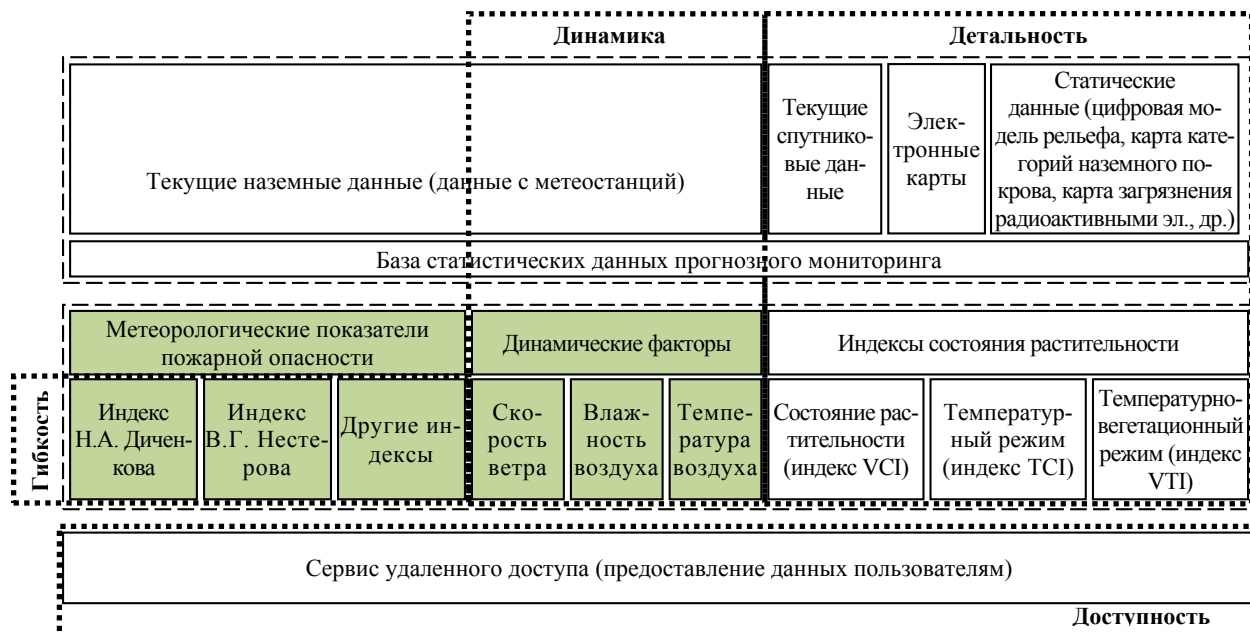


Рисунок 1. – Общая схема функционирования системы прогнозного мониторинга

Необходимым условием проведения прогнозного мониторинга является наличие высококачественных данных (как наземных, так и спутниковых) за долгосрочный период наблюдений, обычно не менее чем за 10-летний период (содержащий экстремальные погодные условия – как засушливые, так и влажные), удовлетворяющих следующим критериям:

- находящиеся в свободном доступе или в продаже по необременительной цене, без технологических или любых других ограничений;
- позволяющие свободное распространение;
- имеющие максимальную полноту (минимальную прерывность) рядов наблюдений;
- допускающие использование для создания производных продуктов.

Текущие наземные данные являются основой для вычисления комплексных показателей пожарной опасности, а также необходимы для калибровки и оценки эффективности алгоритмов обработки спутниковых данных. В качестве наземных будут использоваться, прежде всего, свободно доступные данные с метеостанций, которые в настоящее время являются действующими, имеют достаточную длительность функционирования и содержат минимум отсутствия данных.

Текущие спутниковые данные. Должны использоваться данные (полученные на их основе продукты) спутниковых сенсоров Terra/Aqua MODIS: содержащие вегетационные индексы (нормированный разностный вегетационный индекс NDVI (Normalized Difference Vegetation Index, NDVI) и улучшенный вегетационный индекс EVI (Enhanced Vegetation Index, EVI)) продукты MOD13 (MYD13) с пространственным разрешением 0,25 км, содержащие температуру земной поверхности продукты MOD11 (MYD11) с пространственным разрешением 1 км. С целью минимизации влияния облаков будут использоваться объединенные за 8-дневный период композиции ежедневных данных.

Электронные карты должны обеспечить адекватность получения и предоставления результатов прогнозного мониторинга. В соответствии с этим электронные карты должны охватывать всю территорию Республики Беларусь и прилегающих стран, а их содержание должно быть полным, достоверным и точным. В этой связи будут использоваться следующие наиболее распространенные электронные карты с последующим постоянным их совершенствованием доступными средствами: топографическая карта масштаба 1:100 000 Госкартгеоцентра, карта OpenStreetMap.

Статические данные. Множество статических (относительно медленно меняющихся во времени) данных являются основой (в дополнение к вычисляемым по спутниковым данным ин-

дексам состояния растительности) повышения детальности мониторинга факторов, характеризующих пожарную опасность территории. В качестве статических данных будут использоваться:

– карта категорий наземного покрова: создана в рамках проекта «Инициативы в области изменения климата – категории наземного покрова» CCI-LC (Climate Change Initiative – Land Cover, CCI-LC) Европейского космического агентства с пространственным разрешением 300 м [1];

– цифровая модель рельефа: сведения международной миссии по получению данных цифровой модели рельефа территории Земли SRTM (Shuttle Radar Topographic Mission, SRTM) с пространственным разрешением 90 и 250 м;

– карта загрязнения радиоактивными элементами: информация «Атласа современных и прогнозных аспектов последствий аварии на Чернобыльской АЭС на пострадавших территориях России и Беларуси», созданного министерствами по чрезвычайным ситуациям Республики Беларусь и Российской Федерации.

База статистических данных прогнозного мониторинга. Производительность, функциональность и ценность системы прогнозного мониторинга будет во многом зависеть от базы статистических данных. Она позволит систематизировать данные, обеспечить их быстрый поиск и извлечение.

В базе статистических данных должно содержаться следующее [2]:

– базовые пространственные данные:

1) векторные – электронные карты;

2) векторные – данные с метеостанций;

3) растровые – данные спутниковых сенсоров Terra/Aqua MODIS, полученные на их основе продукты;

4) растровые – цифровая модель рельефа местности;

– производные пространственные данные:

5) растровые – индексы состояния растительности;

6) растровые – карты значений факторов;

– непозиционные данные:

7) некоординированные данные (тематическая информация) в виде растра, текста, таблиц.

Комплексные показатели пожарной опасности. Динамика пожарной опасности определяется климатическими и погодными условиями, под влиянием которых формируется «пожарная зрелость» поверхностных горючих материалов. Поэтому ежедневная оценка и прогноз пожарной опасности проводятся путем вычисления комплексных показателей, являющихся функциями метеорологических данных, измеренных в 13–15 ч местного времени: дневной температуры воздуха, точки росы, скорости ветра и др. При необходимости по данным наземных наблюдений будут вычислены отличные от традиционных комплексные показатели пожарной опасности, которые могут учитывать различные факторы и их сочетания, иметь разные масштабы во времени и пространстве, и др.

Динамические факторы. Комплексные (метеорологические) показатели пожарной опасности (Н.А. Диченкова, В.Г. Нестерова) рассчитываются по данным наземных наблюдений на сутки и не принимают во внимание динамические факторы, оказывающие влияние на состояние поверхностных горючих материалов. Для более объективной оценки пожарной опасности территории дополнительно будет отражен ряд динамических факторов, полученных по наземной информации: температура и влажность воздуха, количество осадков, скорость ветра и др.

Индексы состояния растительности. Повышение детальности оценки пожарной опасности территории возможно с использованием вычисляемых по спутниковым данным индексов:

– индекс состояния растительности VCI (Vegetation Condition Index, VCI): индикатор определенного погодными условиями состояния растительности относительно обусловленных ресурсами экосистемы минимальных и максимальных пределов (которые представляют соответственно лучшие и худшие условия роста растительности за период долгосрочных наблюдений) для некоторого интервала времени [3];

– индекс температурного состояния TCI (Temperature Condition Index, TCI): индикатор определенного погодными условиями состояния растительности относительно минимальных и максимальных пределов (за период долгосрочных наблюдений) для некоторого интервала времени [3]. Индекс TCI позволяет дифференцировать изменения VCI вследствие засушливых

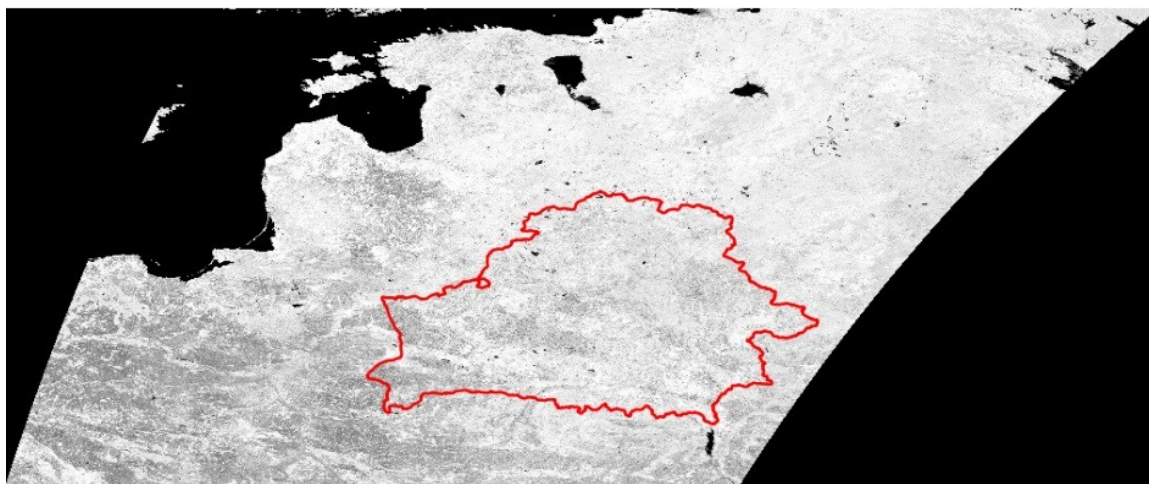
явлений от схожих отклонений в результате других экосистемных явлений (наводнений, инвазий вредителей и т. д.);

– вегетационно-температурный индекс VTI (Vegetation-Temperature Index, VTI) объединяет индексы VCI и TCI и разработан для раннего обнаружения, мониторинга и оценки воздействия засухи на состояние растительности [4].

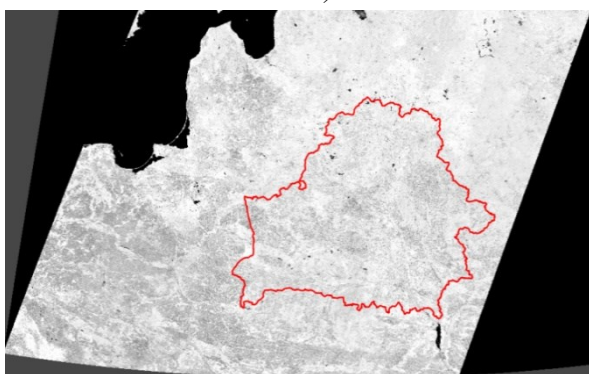
Достоинством индексов VCI, TCI и VTI является то, что для их вычисления требуются только данные спутниковых сенсоров Terra/Aqua MODIS [3].

Сервис удаленного доступа (предоставление данных пользователям) обеспечивает возможности удаленного выбора и просмотра пользователем результатов прогнозного мониторинга.

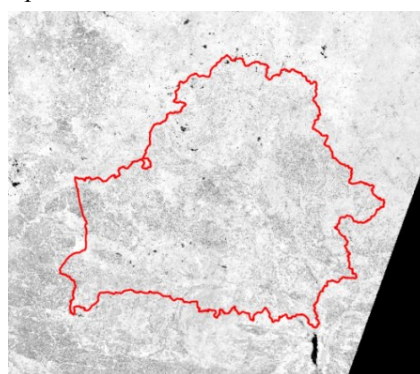
Результаты создания системы прогнозного мониторинга. Результаты подбора данных для прогнозного мониторинга. С метеостанций Республики Беларусь и приграничных стран за 2006–2017 годы собрана следующая наземная информация: количество осадков (за сутки), влажность и температура воздуха, скорость ветра. Также за 2002–2017 годы систематизированы спутниковые данные сенсоров Terra/Aqua MODIS (8-дневные композиции индекса NDVI и температуры земной поверхности LST (Land Surface Temperature, LST) с пространственным разрешением 0,25 и 1 км соответственно). Над спутниковыми данными проведены следующие операции (рис. 2): изменение картографической проекции (из синусоидальной в СК-95), «обрезка» (по территории Республики Беларусь и приграничных стран), сохранение в формате GeoTiff. Кроме того, составлена электронная карта OpenStreetMap в формате Shape территории Республики Беларусь и прилегающих стран.



а) данные в исходной синусоидальной проекции



б) изменение исходной проекции данных на СК-95



в) «обрезка»

Рисунок 2. – Предварительная обработка продукта MOD13A1 за 06.09.2000

Результаты разработки системы прогнозного мониторинга. Система прогнозного мониторинга разрабатывается на базе некоммерческой геоинформационной системы с открытым кодом QGIS (Quantum Geographic Information System, QGIS) на языке Python. В частности разработаны программные модули: вычисления индекса состояния растительности VCI, индекса температурного состояния TCI и вегетационно-температурного индекса VTI (по данным со спутников Terra/Aqua MODIS); построения карт скорости ветра, температуры и влажности воздуха, количества осадков (за сутки), значений

комплексного показателя пожарной опасности В.Г. Нестерова (по данным с метеостанций); сервис удаленного доступа (igmass.bas-net.by).

Веб-интерфейс (клиентская часть) сервиса удаленного доступа обеспечивает:

- работу с большими архивами данных;
- достаточно простое и легко понимаемое управление данными (выбор, поиск, отображение и др.);
- быстрый выбор и отображение различных видов данных (растровых, векторных) из достаточно емких архивов;
- базовые функции работы с геопространственными данными.

Веб-интерфейс работает в браузерах Internet Explorer 11 и выше, Firefox, Google Chrome, Safari и Opera. Структура веб-интерфейса интуитивно понятна и удобна (рис. 3). В верхней части веб-интерфейса размещена навигационная панель, слева – панель управления геопространственными данными, а справа от нее – геопространственные данные. В веб-интерфейсе поддержан необходимый набор управления отображением геопространственных данных.

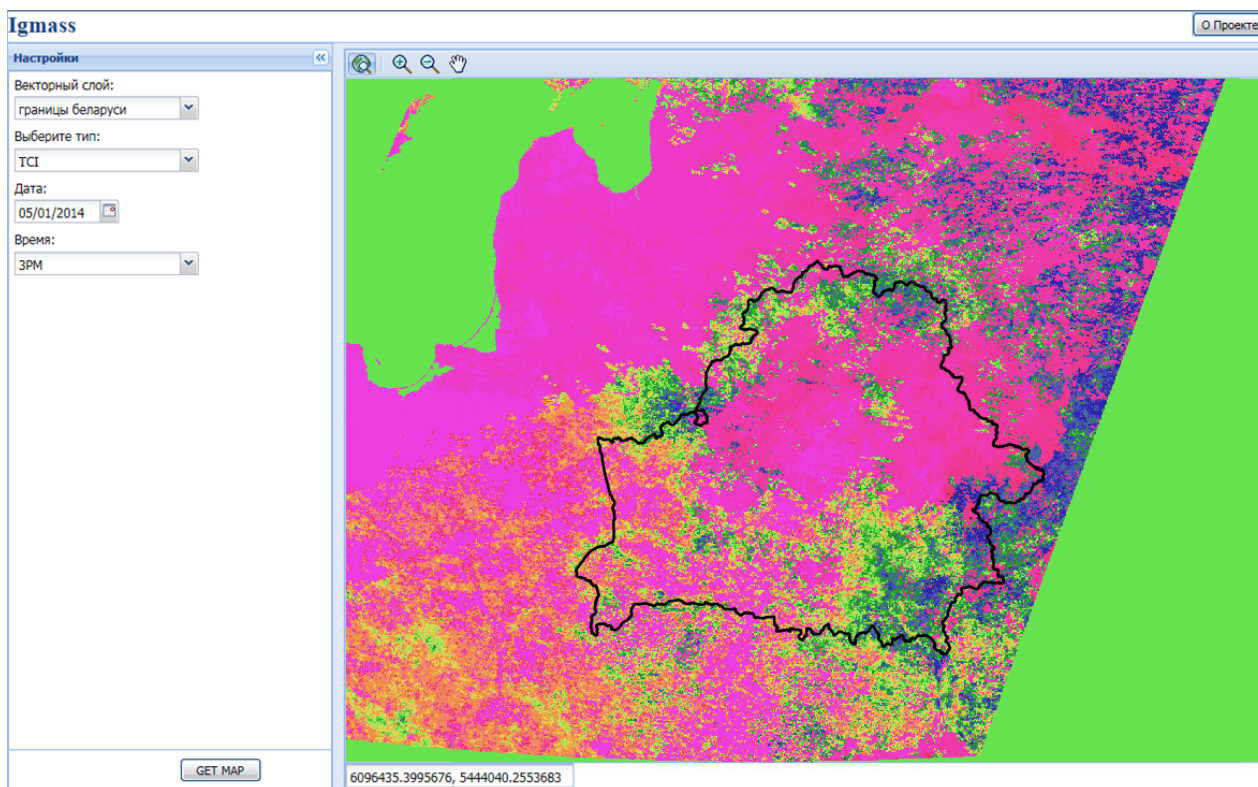


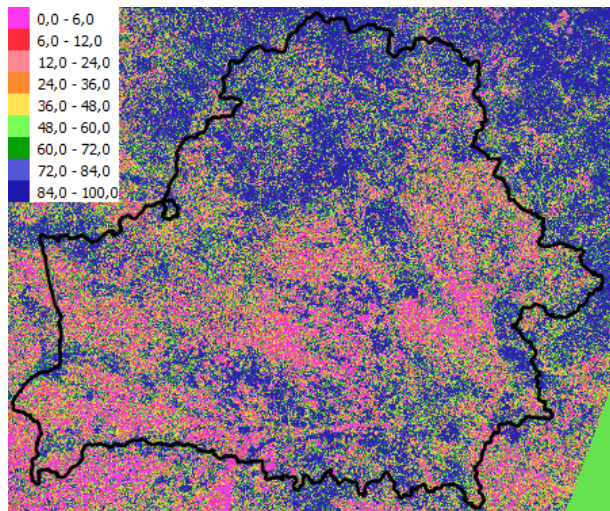
Рисунок 3. – Веб-интерфейс сервиса удаленного доступа к результатам работы системы прогнозного мониторинга

Результаты вычисления карт распределения значений факторов, характеризующих пожарную опасность территории. По спутниковым данным сенсоров Terra/Aqua MODIS за 2006–2017 годы для территории Республики Беларусь и приграничных стран вычислены (временной масштаб – 8 дней):

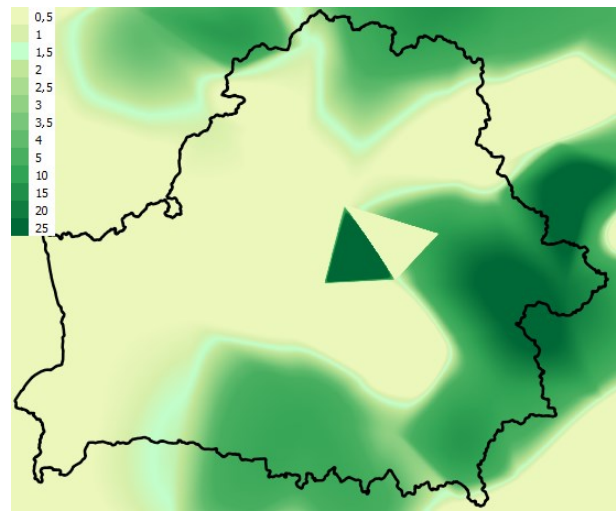
- индекс состояния растительности VCI (пространственное разрешение – 0,25 км);
- индекс температурного состояния TCI (пространственное разрешение – 1 км);
- вегетационно-температурный индекс VTI (пространственное разрешение – 0,25 км).

По данным с метеостанций за 2002–2017 годы путем нелинейной интерполяции на территорию Республики Беларусь и приграничных стран построены карты значений (интервал измерений – 3 ч, пространственное разрешение – 0,25 км):

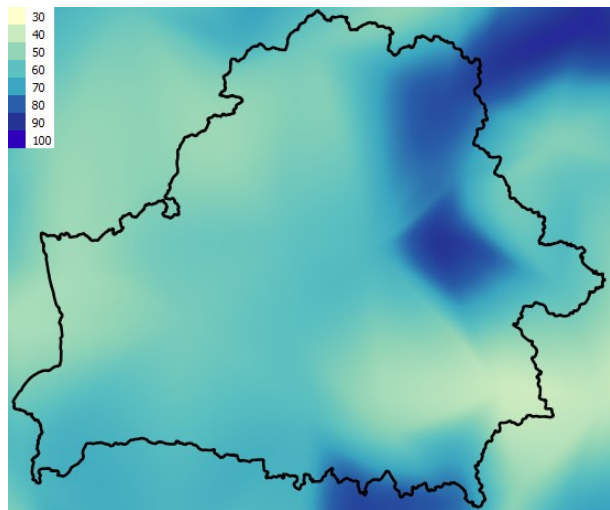
- количества осадков (за сутки);
- температуры и влажности воздуха;
- скорости ветра;
- комплексного показателя пожарной опасности В.Г. Нестерова (рис.4).



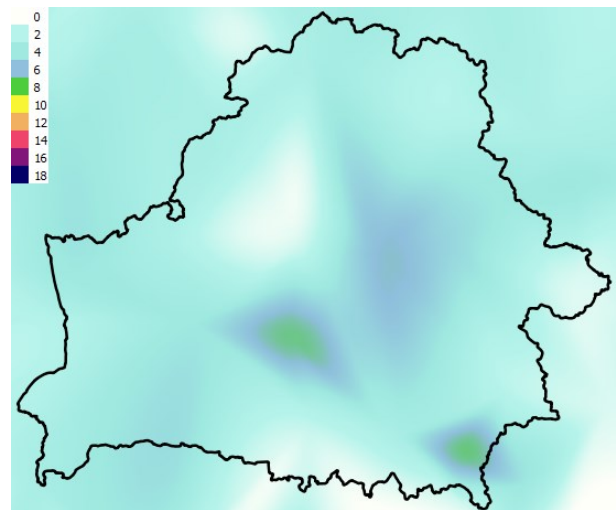
а) индекс состояния растительности VCI



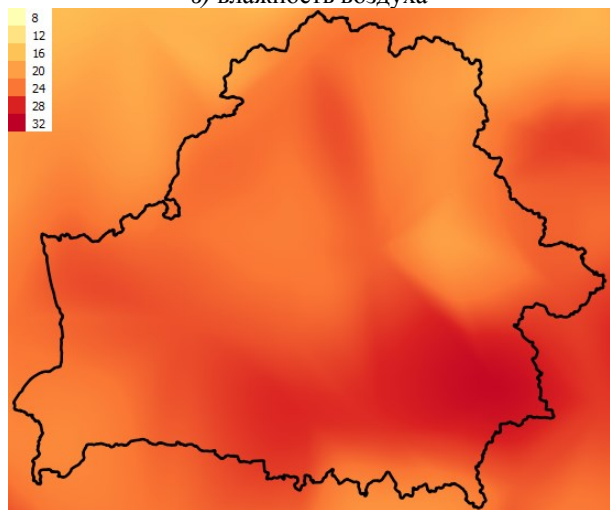
б) количество осадков (за сутки)



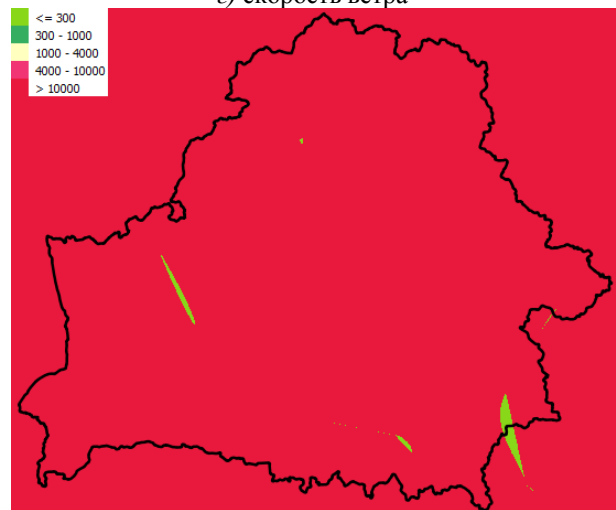
в) влажность воздуха



г) скорость ветра



д) температура воздуха



е) комплексный показатель пожарной опасности В.Г. Нестерова

Рисунок 4. – Карты распределения значений факторов, характеризующих пожарную опасность территории на 18 ч 13.08.2015

Все рассчитанные карты распределения значений факторов получены в формате GeoTiff, размер одного файла составляет около 100 Мб.

Заключение. Разработка системы прогнозного мониторинга факторов, характеризующих пожароопасность территории, явилась началом нового прогнозного этапа в развитии механизмов реагирования на чрезвычайные ситуации природного и техногенного характера в Республике Беларусь. Примененный при разработке системы прогнозного мониторинга подход обеспечивает: гибкость (возможность дополнения, изменения, введения новых факторов, комплексных показателей и индексов пожарной опасности), динамичность (учет изменения состояния поверхностных горючих материалов в течение суток), детальность (до пространственного разрешения использованных для вычисления индексов состояния растительности спутниковых данных) и доступность (для пользователей результатов прогнозного мониторинга посредством сервиса удаленного доступа). Следует, однако, отметить, что система дистанционного прогнозного мониторинга находится в начале разработки, и введение ее в оперативный режим требует значительных усилий.

ЛИТЕРАТУРА

1. Santoro, M. Land Cover CCI Product User Guide. Version 2.0 / M. Santoro at al. / UCL-Geomatics 2017. – Belgium, 2017. – 105 p.
2. Ботавин, Д.В. Обоснование структуры и содержания баз данных для изучения и картографирования русел и пойм равнинных: автореф. дис. ... канд. геогр. наук: 25.00.35 / Д.В. Ботавин; МГУ им. М.В. Ломоносова. – СПб. – 2009. – 26 с.
3. Щербенко, Е.В. Дистанционные методы выявления сельскохозяйственной засухи / Е.В. Щербенко / Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. – 2007. – Т. 2. – № 4. – С. 408–419.
4. Kogan, F. Operational space technology for global vegetation assessment / F. Kogan / Bulletin of the American meteorological society. – Vol. 82. – № 9. – 2001. – P. 1949–1964.

DEVELOPMENT OF COMPLEX FORECAST MONITORING SYSTEM OF THE FACTORS, CHARACTERIZING THE FIRE DANGER OF THE TERRITORY OF THE REPUBLIC OF BELARUS WITH USE OF SATELLITE AND GROUND DATA

Siarhei Krautsou, PhD in Technical Sciences

Galina Radziukevich

Anton Kozel

Dzmitry Golubtsov

Sviatlana Lapanik

Katsiaryna Lepiasevich

The State Scientific Institution «The United Institute of Informatics Problems of the National Academy of Sciences of Belarus», Minsk, Belarus

Purpose. Article is devoted to the development of complex forecast monitoring system of the factors, characterizing the fire danger of the territory of the Republic of Belarus with use of satellite and ground data. The results of the work of the created forecast monitoring system will allow to increase the efficiency of preventive measures aimed at reducing the consequences of natural fires.

Methods. In order to obtain a qualitatively new result an approach of «Big data», including static (relatively slowly changing in time) data, traditional ground information from meteorological stations and satellite data over a long period of time, is applied. An important feature of the «Big data» approach used in forecast monitoring system development is the flexibility i.e. a possibility to add, change, introduce new factors, complex indicators and indexes of fire danger.

Findings. Development of the forecast monitoring system of the factors characterizing the fire danger of the territory was the beginning of a new forecast stage in the development of mechanisms of response to natural and technogenic emergency situations in the Republic of Belarus.

Application field of research. The forecast monitoring system can be integrated into the existing activities on reducing the damage caused by emergency situations of natural and technogenic character. The expected economic effect of forecast monitoring of the factors characterizing the fire danger of the territory will be determined by the prevented damage from natural fires and reduction of costs (10-20 % according to the estimation of the Russian scientists) on the elimination of their consequences due to timely taken measures.

Conclusions. The approach applied at the development of the forecast monitoring system provides: flexibility (possibility to add, change, introduce new factors, complex indicators and indexes of fire danger), dynamism (taking into consideration the change of a condition of surface combustible materials within a day), detail (up to spatial resolution of satellite data used for calculation the indexes of vegetation condition) and availability (results of forecast monitoring can be available for users by means of remote access service). It should be noted, however, that the remote forecast monitoring system is at the beginning of the development, and its introduction into the operational mode requires considerable efforts.

Keywords: forecast monitoring, fire danger, satellite data, ground data, detail, dynamism, availability.

(The date of submitting: April 2, 2018)

REFERENCES

1. Santoro M. et al. *Land Cover CCI Product User Guide. Version 2.0. UCL-Geomatics 2017.* Belgium, 2017. 105 p.
2. Botavin D.V. *Obosnovanie struktury i sodержaniya baz dannykh dlya izucheniya i karto-grafirovaniya rusel i poym ravninnykh* [Substantiation of the structure and content of databases for study and mapping of channels and flood plains]. PhD. geograph. sci. diss. Synopsis. Sankt-Peterburg: 2009. 26 p. (rus)
3. Shcherbenko E.V. *Distantionnye metody vyyavleniya sel'skokhozyaystvennoy zasukhi* [Remote sensing methods for detection of an agricultural drought]. *Sovremennye problemy distantionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa.* Moscow: OOO «Azbuka-2000», 2007. Vol. 2. No. 4. Pp. 408–419. (rus)
4. Kogan F. Operational space technology for global vegetation assessment. *Bulletin of the American meteorological society*, 2001. Vol. 82, No 9. Pp. 1949-1964.