

Для цитирования: П.Г. Асалханов, Н.В. Бендик, Я.М. Иваньо. Интеллектуальная система моделирования изменчивости климатических явлений. Вестник Дагестанского государственного технического университета. Технические науки. 2020; 47(2): 30-39. DOI:10.21822/2073-6185-2020-47-2-30-39

For citation: P.G. Asalkhanov, N.V. Bendik, Ya.M. Ivanyo. Intelligent system for modelling climate variability. Herald of Daghestan State Technical University. Technical Sciences. 2020; 47 (2): 30-39. (In Russ.) DOI:10.21822/2073-6185-2020-47-2-30-39

**ИНФОРМАТИКА, ВЫЧИСЛИТЕЛЬНАЯ ТЕХНИКА И УПРАВЛЕНИЕ
COMPUTER SCIENCE, COMPUTER ENGINEERING AND MANAGEMENT**

УДК 004.89:551.583

DOI:10.21822/2073-6185-2020-47-2-30-39

**ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНАЯ СИСТЕМА МОДЕЛИРОВАНИЯ ИЗМЕНЧИВОСТИ
КЛИМАТИЧЕСКИХ ЯВЛЕНИЙ**

П.Г. Асалханов, Н.В. Бендик, Я.М. Иваньо

Иркутский государственный аграрный университет имени А.А. Ежевского,
664038, Иркутская обл., Иркутский р-н., п. Молодежный, 1/1, Россия

Резюме. Цель. В публикации описан проект интеллектуальной системы моделирования изменчивости климатических событий на основе базы данных многолетних рядов, а также базы знаний исторических свидетельств. Интеллектуальная система позволит моделировать климатические события по следующим направлениям: одно явление в одной точке; одно явление в пространстве; множество явлений в одной точке и множество явлений в пространстве. **Метод.** Методы обработки данных связаны со свойствами исходной информации и их объемом: ряды наблюдений за длительный, выборки за короткий период, историко-архивные материалы и т.д. **Результат.** В статье приведены основные функции интеллектуальной системы, расширяющие возможности оценки изменчивости климатических характеристик благодаря сочетанию количественной и качественной информации в виде историко-архивных свидетельств. К основным функциям системы относятся: формирование потоков событий; оценка вероятности появления события; физическая реконструкция данных с использованием геоинформационных систем; определение периода между двумя редкими событиями; управление аграрным производством в условиях рисков. **Вывод.** Преимуществом такой системы является увеличение информации об экстремальных событиях и повышение эффективности управления за счет снижения рисков.

Ключевые слова: интеллектуальная система, база данных, база знаний, климатическое событие

INTELLIGENT SYSTEM FOR MODELLING CLIMATE VARIABILITY

P.G. Asalkhanov, N.V. Bendik, Ya.M. Ivanyo

A.A. Ezhevsky Irkutsk State Agrarian University,
1/1 Str., Irkutsk region, Molodezhny village 664038, Russia

Abstract. Aim. The study describes a prototype of an intelligent system for modelling climate variability based on a database of multi-year series and historical evidence. The presented intelligent system allows climate events to be simulated as follows: one phenomenon at one point; one phenomenon in space; many phenomena at one point and many phenomena in space. **Methods.** The choice of research methods was determined by the properties of source information and its volume: a series of observations over a long period, sampling over a short period, historical and archival materials, etc. **Results.** The article describes the main functions of the presented intelligent system, which expand the

possibility of assessing the variability of climate characteristics by combining quantitative and qualitative information in the form of historical and archival evidence. The main functions of the system include the generation of event flows; estimation of the event probability; physical reconstruction of data using geoinformation systems; determination of the period between two rare events; and management of agricultural production under risk conditions. **Conclusion.** The advantage of the proposed system consists in increasing information about extreme events and improving the management efficiency by means of reducing risks.

Keywords: intelligent system, database, knowledgebase, climate event

Введение. Использование интеллектуальных систем в изучении климата повышает эффективность принятия решений на разных уровнях управления [8, 18]. Разновидностью интеллектуальных систем являются системы, основанные на знаниях, встраиваемые в системы управления [4]. Важным элементом таких систем является база знаний, которая состоит из множества систематизированных знаний, используемых для решения различных задач, в том числе задач управления.

Постановка задачи. При изучении изменчивости климата рассматривают два вида данных: многолетние материалы количественных наблюдений, экспериментов и полевых изысканий; косвенные сведения о физических, биологических, социальных и других процессах доинструментального периода, включающие в себя историко-архивные свидетельства [2, 3].

Интегрированное их применение является сложной задачей, решение которой возможно на стыке научных направлений: инженерия знаний и климатология. Помимо этого, многообразие и большой объем информации усложняет поиск необходимых знаний. Решение данной проблемы заключается в разработке интеллектуальной системы моделирования изменчивости климатических явлений на основе базы знаний и базы данных, с помощью которых осуществляется поддержка принятия решений [7, 20, 27].

В этой работе приведены основные функции интеллектуальной системы, расширяющие возможности оценки изменчивости климатических характеристик благодаря сочетанию количественной и качественной информации в виде историко-архивных свидетельств.

Методы исследования. В книге [12] собраны историко-архивные свидетельства о различных природных событиях, имевших место на территории Иркутской области, начиная с середины XVII в. Эти сведения представляют собой описательные факты, которые зафиксированы в летописях, монографиях, дневниках, периодической печати и других источниках.

В таблице 1. приведены даты появления первых систематизированных и фрагментарных данных о характеристиках природных явлений Восточной Сибири [11].

Таблица 1. Даты появления первых систематизированных (С) и фрагментарных (Ф) данных о природных явлениях Восточной Сибири

Table 1. Dates of the appearance of the first systematized (C) and fragmented (F) data on the natural phenomena of Eastern Siberia

| № | Характеристики Characteristics | Год Year | Примечание Note |
|---|-------------------------------------|----------|-----------------|
| 1 | Ледостав Freezing | 1720 | С (s) |
| 2 | Уровень воды Water level | 1721 | Ф (f) |
| 3 | Температура воздуха Air temperature | 1808 | С (s) |
| 4 | Атмосферные осадки Precipitation | 1839 | С (s) |
| 5 | Расход воды Water consumption | 1885 | Ф (f) |

Помимо историко-архивных свидетельств собраны данные по температурам воздуха, количеству осадков, максимальным расходам воды весеннего половодья и дождевых паводков, а также другим гидрометеорологическим характеристикам за годы наблюдений в Иркутской области.

Особое место уделено исследованию данных об экстремальных событиях, которые могут использоваться для реконструкции климатических ситуаций исторического прошлого на основе зафиксированных свидетельств [9, 10].

При проектировании интеллектуальной системы использованы методы создания информационных систем, математического моделирования, математической статистики и теории вероятностей.

Интеллектуальная система моделирования изменчивости климатических явлений предназначена для сотрудников промышленных и сельскохозяйственных организаций, гидрометеорологических служб и других. Ее основное назначение – предоставление полной и систематизированной информации по разным аспектам экстремальных природных явлений с одновременным раскрытием возможных сценариев развития.

Проектируемая система основывается на базе данных характеристик климатических событий и базе знаний историко-архивных свидетельств [26].

База данных представлена многолетними рядами, описывающими события: температура воздуха, скорость ветра, количество осадков, интенсивность дождя, уровень воды, толщина льда, максимальный расход воды и др. База знаний содержит историко-архивные свидетельства, которые классифицируются по следующим признакам: происхождению, источникам описания, экономическим потерям, эпохам, возможности преобразования факта в событие, количеству информации [15].

Интеллектуальная система позволит моделировать климатические события по следующим направлениям: одно явление в одной точке; одно явление в пространстве; множество явлений в одной точке и множество явлений в пространстве.

Кроме того, методы обработки данных связаны со свойствами исходной информации и их объемом: ряды наблюдений за длительный, выборки за короткий период, историко-архивные материалы и т.д.

Обсуждение результатов. Одним из важных элементов интеллектуальной системы является база знаний исторических свидетельств о климатических событиях.

Процесс разработки базы знаний состоит из 4 этапов [14].

1. Проектирование базы знаний:

- организация классов в онтологии [23];
- определение классов в иерархию;
- выявление слотов и их допустимых значений.

2. Настройка формы ввода данных экземпляров.

3. Заполнение экземпляров класса.

4. Проверка целостности и согласованности базы знаний.

Классы в онтологии интеллектуальной системы представлены следующей иерархией:

- явление;
- тип явления;
- характеристики;
- историко-архивные свидетельства;
- критерии;
- ущербы;
- пункт наблюдения;
- период наблюдения.

Таким образом, база знаний содержит в себе знания о явлениях, типах явлений, характеристиках и исторических свидетельствах.

На рис. 1 показаны основные классы проектируемой базы знаний.

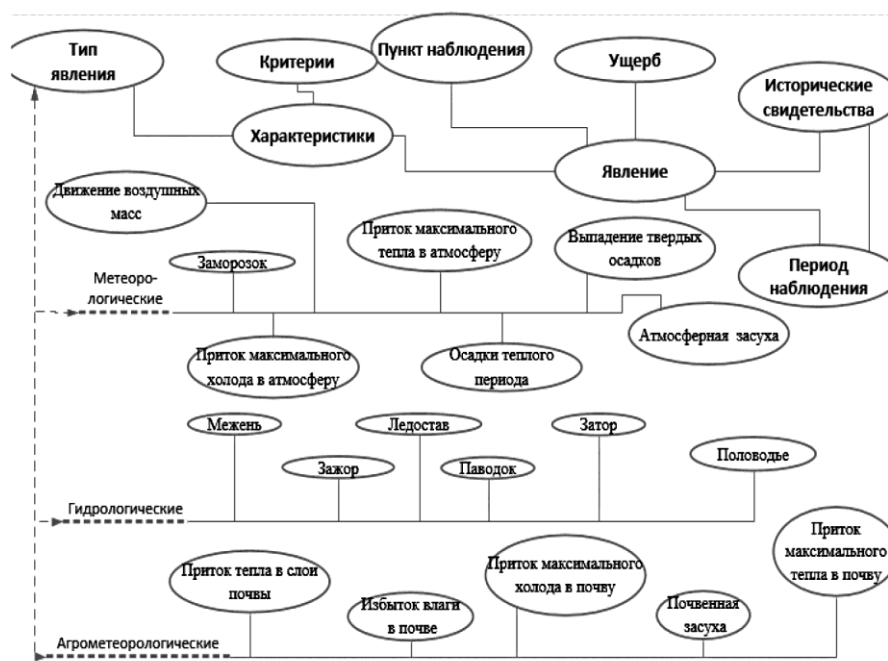


Рис. 1. Классы базы знаний
 Fig.1. Knowledge base classes

Рассмотрим основные функции интеллектуальной системы моделирования климатических явлений.

1. *Формирование дат событий.* При наличии данных формируются экстремальные годовые значения многолетних рядов. После этого осуществляется выделение событий. Для этого можно использовать два алгоритма:

- а) двухуровневая организация: события и их отсутствие [22];
- б) многоуровневая организация хронологической последовательности параметров с учетом переломных точек [6].

В первом алгоритме из рядов максимальных или минимальных значений выбирают характеристику как значение, превышающее или находящееся ниже критического уровня [11, 15, 22]. Наивысшие значения событий за историческое прошлое представляют собой редкое событие или явление.

Во втором алгоритме хронологические годовые максимальные и минимальные значения параметров влаги и тепла образуют собой ряды, которые характеризуют разные уровни состояния природной среды.

Таким образом, ежегодные величины делимы на четыре нижние и четыре верхние уровни, для которых формируются ряды значений климатических характеристик. Каждая следующая ступень иерархии характеризует более высокое значение экстремумов по сравнению с предыдущей. Когда увеличивается уровень иерархии, то уменьшается количество значений, которые образуют ряд. Метод определения вершины или ложбины основывается на установлении монотонно изменяющихся ординат до смены их направленностей. Описанные подходы для определения явлений в базе знаний представлены в виде продукций с разработанным алгоритмическим обеспечением.

Выделив события на основе первого алгоритма, нетрудно сформировать последовательность лет им соответствующую. Затем на основе историко-архивных свидетельств можно увеличить полученный ряд.

2. *Потоки событий.* В вероятностном отношении события находятся в хвостовых частях распределений, поэтому для их обработки необходимо использование специальных методов. Для описания потока событий на практике часто применяют пуассоновское распределе-

ние. Используя закон Пуассона можно оценить вероятность возникновения n событий за время t . Кроме того, для обработки рядов применимы метод наложения эпох и анализ периодограмм [11]. Для оценки периодичности возникновения событий также целесообразно использовать метод спектра мощности Рэлея. Этот метод подробно описан в работе К. Мардиа [19]. Согласно этому методу, вероятность равномерного распределения событий описывается экспонентой:

$$p(T) = e^{-z}, \quad (1)$$

где z - функция, связанная с количеством событий n , моментами явлений t_i и периодом T . Функция z имеет вид

$$z = \left[\left(\sum_{i=1}^n \cos 2\pi t_i / T \right)^2 + \left(\sum_{i=1}^n \sin 2\pi t_i / T \right)^2 \right] / n. \quad (2)$$

При наличии периодичности наступления событий значения вероятностей должны приближаться к нулю. Иначе, при $p(T) \rightarrow 1$ возникновение явлений случайно. Иначе, при $p(T) \rightarrow 1$ события являются случайными. В спектрах мощности Рэлея, которые рассчитываются по датам высоких паводков за исторический период, выделяются пробные периоды 10, 38, 67 лет.

Оценка цикличности не всегда приводит к положительному результату. Часто последовательность рядов климатических событий является случайной. В таком случае для оценивания потока событий используют законы распределения вероятностей. Помимо этого, целесообразно распределять события по эпохам, привязываясь, например, к 11-летним циклам солнечной активности.

В работе [15] для выявления статистической структуры последовательностей климатических экстремумов высших и низших уровней предлагается использовать формулу экспоненциального распределения

$$p(0, \bar{n}) = e^{-\bar{n}}, \quad (3)$$

где \bar{n} – среднее число событий за время T .

Для разных значений скорости убывания функции $p(0, \bar{n})$ она имеет разный вид:

$$p(0, \bar{n}) = (1 + \bar{n})^{-1} \quad (4)$$

или

$$p(0, \bar{n}) = (1 + 0,5\bar{n})^{-2}. \quad (5)$$

Для оценки вероятности появления природных событий предлагается использовать функцию [4]

$$p(0, \bar{n}) = \left(1 - \frac{\bar{n}}{a} \right)^k, \quad (6)$$

где $p(\bar{n})$ – вероятность не появления явления, a – среднее количество явлений, которое соответствует не переменному его появлению ($p(\bar{n})=0$), k – показатель степени, который характеризует скорость убывания функции.

Примером использования формулы (6) является описание засухи на территории Иркутской области [5]. На основе эмпирических данных показано, что потоки этого экстремального явления характеризуются функцией с учетом периода обязательного появления события со значением $a=2$.

Для увеличения информации о событиях при коротких рядах наблюдений применим метод аналогии, широко используемый для восстановления гидрологических характеристик, основанный на свойстве синхронности многолетних колебаний в створах разных рек. Синхронность характеризуется коэффициентом парной корреляции между рядом значений характеристик предполагаемого аналога и всеми остальными рядами в рассматриваемых пунктах.

Метод аналогии применим для выбора оптимальных аналогов среди наблюдательных пунктов на определенной территории, что приносит значительный информационный эффект. Благодаря этому методу можно восстанавливать не только значения коротких рядов, но и годы проявления событий, что позволяет строить распределения потоков событий и оценивать их

цикличность. В работах [11, 12] приведены результаты восстановления минимальных зимних температур воздуха и максимальных расходов воды дождевых паводков на средних реках Ангарского бассейна.

3. *Физическая реконструкция данных с использованием геоинформационных систем.* ГИС можно использовать как механизм интеграции историко-архивных свидетельств и геопространственных данных для оценки охвата территорий экстремальными явлениями, в частности, паводками и половодьями. Во многих источниках исторического прошлого описывается влияние явления на окружающую среду и пространство распространения. Применение ГИС-технологий для решения подобного рода задач позволит дополнить методы реконструкции климатических событий.

В интеллектуальной системе моделирования климатических событий предусмотрен механизм интеграции с ГИС «Панорама» для моделирования зон затоплений (рис.2).

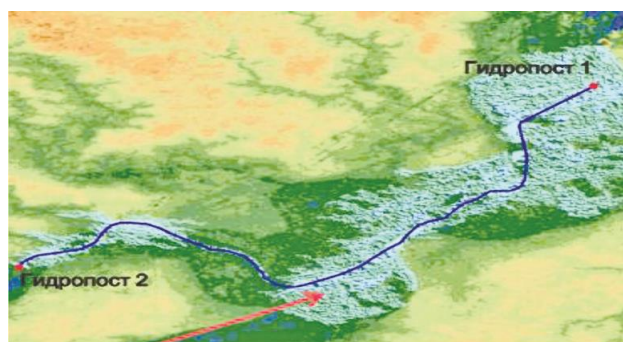


Рис.2. Моделирование зоны затопления

Fig. 2. Flood zone modeling

4. *Определение периода между двумя редкими событиями.* Интерес вызывает оценка интервала времени между такими редкими событиями, как сильная засуха, чрезвычайный подъем воды, необычные ливни, ураганы и другие явления [16]. Эта статистическая величина обозначает возможную эмпирическую повторяемость редкого события [13]. Значение периода между двумя близкими редкими событиями требуется для вычисления аналитической вероятности появления события и оценки рисков, связанных с его формированием.

В работе [17] на основе гипотезы стационарности гидрометеорологического процесса для оценки средних значений периода непревышения природного явления \bar{X} и коэффициента вариации C_v предложено использовать методом моментов:

$$\bar{X} = \left[X_N + (N-1) / m \sum_{i=1}^m X_i \right] / N \quad (7)$$

$$C_v = \sqrt{\frac{\left[\left(\frac{X_N}{\bar{X}} - 1 \right)^2 + \frac{N-2}{m-2} \sum_{i=1}^{m-1} \left(\frac{X_i}{\bar{X}} - 1 \right)^2 \right]}{N-1}}, \quad (8)$$

где m - период инструментального наблюдения регистрации ежегодных экстремальных явлений X_i . Приведенные формулы вошли в нормативный документ по определению расчетных гидрологических характеристик [25], по которых проектируются защитные сооружения [24]. В этой формуле используется период непревышения редкого гидрологического явления с учетом историко-архивных данных N .

Очевидно, что эта поправка влияет на результаты оценки повторяемости редкого явления. Полученное значение будет отличаться от результата оценки среднего и коэффициента вариации при использовании исключительно периода наблюдений m .

Например, для вероятностного описания и расчета метеорологических и гидрологических величин в интеллектуальной системе моделирования климатических событий реализованы законы распределения с учетом или без учета исторических свидетельств (рис.3).

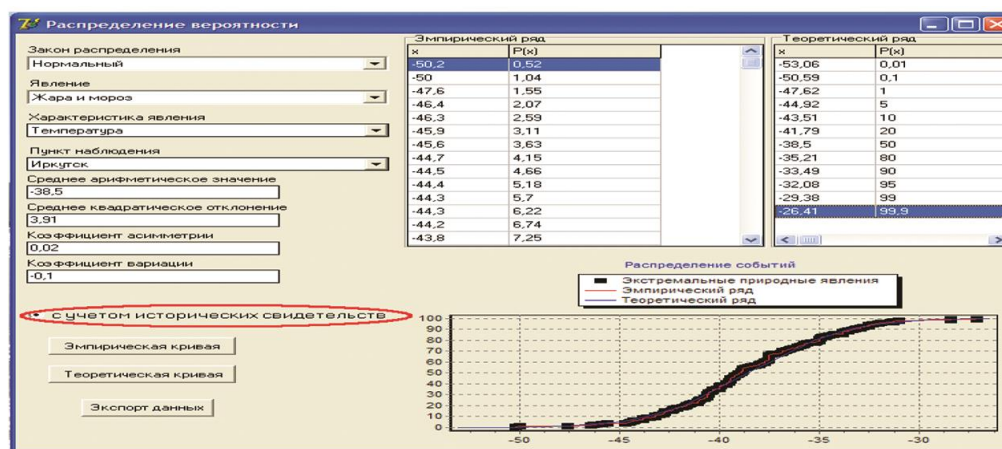


Рис.3. Определение законов распределения с учетом исторических свидетельств
 Fig. 3. Defining distribution laws based on historical evidence

5. *Управление аграрным производством в условиях рисков.* В историко-архивных свидетельствах встречается описание ущербов, наносимых климатическими событиями населению региона. Эти данные характеризуют воздействие события на окружающую среду, что косвенно определяет его уровень среди других событий. Очевидно, что данные исторического прошлого об ущербах должны использоваться в качестве информации для сравнения с событиями, которые зарегистрированы в период наблюдений.

В работе [21] показано влияние климатических событий на производство сельскохозяйственной продукции. Для оптимизации аграрного производства в условиях рисков предложены модели математического программирования с неопределенными параметрами. Экстремальные климатические явления оказывают влияние на параметры математической модели. В частности, это касается цен на получаемую продукцию, урожайность сельскохозяйственную культур, трудозатраты, а также использование ресурсов сельскохозяйственного предприятия.

Рассмотрены ситуации, когда деятельность товаропроизводителя может быть полностью парализована. Примером такой ситуации является гидрологическое событие 2019 года, наблюдавшееся на реке Ия. Между тем часто имеют место случаи, когда хозяйство производит продукцию, но при этом терпит ущербы. При решении задач, связанных с производством сельскохозяйственной продукции в условиях рисков, имеет место ситуация влияния одного климатического события в течение года. Вместе с тем наблюдаются случаи формирования двух событий одного или разного происхождения за год.

Применение модели производства аграрной продукции в условиях формирования одного или двух климатических событий способствует минимизации ущербов за счет повышения эффективности управления. В подобных моделях для оценки некоторых параметров [1] используют экспертные оценки. К таким параметрам относятся: своевременность посева сельскохозяйственных культур; коэффициенты, характеризующие загрязнение и деградацию почв другие. Таким образом, проектируемая интеллектуальная информационная система содержит в базе знаний экспертные оценки, описывающие производство аграрной продукции в условиях природных и техногенных рисков.

Вывод. В работе описан проект интеллектуальной системы моделирования климатических явлений, которая включает в себя базу данных и знаний с функцией автоматического об-

новления, аналитический пакет, архив и справочник. Интеллектуальная информационная система на основе числовой и описательной информации позволяет решать следующие задачи:

- формирование последовательности лет событий;
- построение распределений потока событий и оценки цикличности колебаний;
- физическую реконструкцию данных с использованием геоинформационных систем;
- определение периода между двумя редкими событиями для оценки вероятности проявления и рисков;
- учет рисков в управлении аграрным производством.

Преимуществом такой системы является увеличение информации об экстремальных событиях и повышение эффективности управления за счет снижения рисков. В дальнейшем планируется создание и наполнение слотов подклассов, а также разработка правил продукций базы знаний для перевода исторических свидетельств о событиях в количественную информацию.

Библиографический список:

1. Asalkhanov P.G. Management of the agro-industrial enterprise: optimization, uncertainty, expert assessments / P.G. Asalkhanov, N.V. Bendik, Ya.M. Ivan'o // International Multi-Conference on Industrial Engineering and Modern Technologies 2019 (FarEastCon 2019), 1-4 October 2019.
2. Борисенков Е.П., Пасецкий В.М. Экстремальные природные явления в русских летописях XI-XVII вв. [Текст] - Л.: Гидрометеиздат, 1983 г. 240 с.
3. Будыко М.И., Голицын Г.С., Израэль Ю.А. Глобальные климатические катастрофы [Текст] - М.: Гидрометеиздат, 1986. - 159 с.
4. Vasil'ev V.I., Il'jasov B.G. "Intellectual control systems. The theory and practice": the manual // The radio engineering, Moscow: 2009, 392 p.
5. Вашукевич Е.В. Математические модели аграрного производства с вероятностными характеристиками засух и гидрологических событий / Е.В. Вашукевич, Я.М. Иванько. - Иркутск: Изд-во ИрГСХА, 2012. - 150 с.
6. Дружинин, И.П. Динамика многолетних колебаний речного стока [Текст] / И.П. Дружинин, В.Р. Смага, А.Н. Шевнин. - М.: Наука, 1991.- 176 с.
7. Dursun Delen, Ramesh Sharda, "Artificial Neural Networks in Decision Support Systems". In Handbook on Decision Support Systems 1. SpringerVerlag, 2008, pp 557-580
8. Иванько Я.М. Информация об экстремальных природных явлениях в управлении производственными объектами / Я.М. Иванько, Н.В. Старкова // Научно-практический журнал «Вестник ИрГСХА». - Иркутск. ИрГСХА. – 2010. – №39 – С.49-53.
9. Ivan'o Y.M. Model of formation of a database about the extreme phenomenon on the basis of the hydrometeorological and historical-archival information / Y.M. Ivan'o N.V. Starkova // The 11th International Workshop on Computer Science and Information Technologies (CSIT'2009). - Crete, Greece, 2009. - P. 187-191.
10. Иванько, Я.М. Моделирование природных событий для управления региональными народнохозяйственными объектами [Текст] / Я.М. Иванько, Н.В. Старкова. – Иркутск: Изд-во ИрГСХА, 2011. – 160 с.
11. Иванько Я.М. Экстремальные природные явления: методология, моделирование и прогнозирование [Текст] / Я.М. Иванько. – Иркутск: Изд-во ИрГСХА, 2007. -266 с.
12. Иванько Я.М. Экстремальные природные явления исторического прошлого на территории Иркутской области [Текст]. - Иркутск: Изд-во Иркут. ун-та, 1997. – 96с.
13. Калинин, Г.П. Расчет повторяемости гидрологических явлений на основе анализа их формирования / Г.П. Калинин, З.И. Дарман // Метеорология и гидрология. – 1953. - №1. – С. 46-50.
14. Klimenko A.V., Bobrjakov A.V., Zernov M.M. «The Basic classes of fuzzy models and kinds of knowledge used in them» // Magazine " Neurocomputers ", №8, 2011, PP. 10-17.
15. Кренке А.Н. Изменчивость климата Европы в историческом прошлом [Текст] /А.Н. Кренке, М.И. Чернавская, Р. Браздил и др. - Москва: Наука, 1995. – С.224.
16. Кремер, Л.К. Микроклиматические закономерности [Текст] / Л.К. Кремер // Природные режимы и топогеосистемы Приангарской тайги. - Новосибирск: Наука, 1975. - С.71-108
17. Крицкий С.Н. Гидрологические основы управления речным стоком. /С.Н. Крицкий, М.Ф. Менкель. – М.: Наука, 1981. - 255 с.
18. Курзаева Л. В. К вопросу об актуальности разработки базы знаний интеллектуальной системы поддержки управления требованиями к результатам обучения ИТ-специалистов // Фундаментальные исследования. – 2016. – № 12-3. – С. 513-517
19. Мардиа, К. Статистический анализ угловых наблюдений / К. Мардиа. - М.: Наука, 1978. - 239 с.
20. L.V. Massel, A.G. Massel, "Technologies and tools for intelligent support of decision-making in extreme situations in energy", Computational Technologies, Vol. 18, No. S1, 2013, pp. 37-44.

21. Оптимизационные модели аграрного производства в решении задач оценки природных и техногенных рисков. Монография /Я.М. Иваньо, С.А. Петрова. Иркутск: Изд-во Иркутского ГАУ, 2015. - 180 с.
22. Раунер, Ю.Л. Динамика экстремумов увлажнения за исторический период [Текст] / Ю.Л. Раунер. - Изв. АН СССР Сер. геогр. 1981. N 6. - С.5-22.
23. Смирнов С.В. Онтологический анализ предметных областей моделирования/ С.В. Смирнов // Известия Самарского научного центра РАН. 2001. Т.3. No1. –С. 62–70.
24. СНиП 2.06.15-85. Инженерная защита территории от затопления и подтопления [Текст] /Госстрой СССР. – М.: ЦИТП Госстроя СССР, 1986. – 20 с.
25. СНиП 2.01.14-83. Определение расчетных гидрологических характеристик [Текст] - М.: Стройиздат, 1985., – 36 с.
26. Старкова Н.В. Информация и база знаний об экстремальных природных явлениях / Н.В. Старкова // Труды XII Байкальской Всероссийской конференции «Информационные и математические технологии в науке и управлении». – Иркутск: ИСЭМ СО РАН, 2007. -Ч. 3.- С.100-105.
27. Stylios, C. Knowledge based decision support system for flood risk assessment. / C. Stylios, V. Reppa, P. Groumpos// The 11th International Workshop on Computer Science and Information Technologies (CSIT'2009). Crete, Greece, 2009. P. 7-12.

References:

1. P.G. Asalkhanov, N.V. Bendik, and Ya.M. Ivanyo, “Management of the agro-industrial enterprise: optimization, uncertainty, expert assessments”, in International Multi-Conference on Industrial Engineering and Modern Technologies 2019 (FarEastCon 2019), 1-4 October 2019.
2. E.P. Borisenkov and V.M. Pasetskiy. “Extreme natural phenomena in Russian chronicles of the XI-XVII centuries”. Leningrad: Gidrometeoizdat, 1983, 240 p [“Ekstremal'nyye prirodnyye yavleniya v russkikh letopisyakh XI-XVII vv.”, Leningrad, Gidrometeoizdat, 1983, 240 p(In Russ)].
3. M.I. Budyko, G.S. Golitsyn, and Yu.A. Israel, “Global Climate Disasters”, Moscow: Gidrometeoizdat, 1986, 159 p [“Global'nyye klimaticheskiye katastrofy”, Moscow, Gidrometeoizdat, 1986, 159 p] (In Russian).
4. V.I. Vasil'ev and B.G. Il'jasov, “Intellectual control systems. The theory and practice: the manual”, The radio engineering, Moscow: 2009, 392 p [“Intellektual'nyye sistemy upravleniya. Teoriya i praktika: uchebnoye posobiye”, Radiotekhnika, Moscow, 2009, 392 p.(In Russ)].
5. E.V. Vashukevich, and Y.M. Ivanyo, “Mathematical models of agricultural production with probabilistic characteristics of droughts and hydrological events”, Irkutsk: Publishing House of the Irkutsk State Agricultural Academy, 2012, 150 p [“Matematicheskiye modeli agrarnogo proizvodstva s veroyatnostnymi kharakteristikami zasukh i gidrologicheskikh sobytiy”, Irkutsk: Izd-vo IrGSKHA, 2012, 150 p. (In Russ)].
6. I.P. Druzhinin, V.R. Smaga, and A.N. Chevnin, “Dynamics of long-term fluctuations of river flow”, Moscow: Nauka, 1991, 176 p [“Dinamika mnogoletnikh kolebaniy rechnogo stoka”, Moscow: Nauka, 1991, 176 p. (In Russ)].
7. D. Dursun and Sh. Ramesh, “Artificial Neural Networks in Decision Support Systems”, in Handbook on Decision Support Systems, SpringerVerlag, 2008, pp 557-580.
8. Ya.M. Ivanyo, “Information on extreme natural phenomena in the management of production facilities”, Scientific and practical journal “Bulletin of the Irkutsk State Agricultural Academy”. Irkutsk: IRGSHA, 2010, №. 39, pp. 49-53 [“Informatsiya ob ekstremal'nykh prirodnnykh yavleniyakh v upravlenii proizvodstvennymi ob'yektami”, Nauchno-prakticheskiy zhurnal “Vestnik IrGSKHA”, Irkutsk: IrGSKHA, 2010, № 39, pp. 49-53] (In Russian).
9. Ya.M. Ivanyo and N.V. Starkova, “Model of formation of a database about the extreme phenomenon on the basis of the hydrometeorological and historical-archival information”, in The 11th International Workshop on Computer Science and Information Technologies (CSIT'2009), Crete, Greece, 2009, pp. 187-191.
10. Ya.M. Ivanyo and N.V. Starkova, “Modeling of natural events for the management of regional national economic objects”, Irkutsk: Publishing House of the Irkutsk State Agricultural Academy, 2011, 160 p [“Modelirovaniye prirodnnykh sobytiy dlya upravleniya regional'nymi narodno-khozyaystvennymi ob'yektami”, Irkutsk: Izd-vo IrGSKHA, 2011, 160 p. (In Russ)].
11. Ya.M. Ivanyo, “Extreme natural phenomena: methodology, modeling and forecasting”, Irkutsk: Publishing House of the Irkutsk State Agricultural Academy, 2007, 266 p [“Ekstremal'nyye prirodnyye yavleniya: metodologiya, modelirovaniye i prognozirovaniye”, Irkutsk: Izd-vo IrGSKHA, 2007, 266 p. (In Russ.)].
12. Ya.M. Ivanyo, “Extreme natural phenomena of the historical past in the territory of the Irkutsk region”, Irkutsk: Publishing house Irkut. University, 1997, 96 p [“Ekstremal'nyye prirodnyye yavleniya istoricheskogo proshlogo na territorii Irkutskoy oblasti”, Irkutsk: Izd-vo Irkut. un-ta, 1997, 96 p. (In Russ)].
13. G.P. Kalinin and Z.I. Darman, “The calculation of the frequency of hydrological phenomena based on the analysis of their formation”, Meteorology and Hydrology, 1953, № 1, pp. 46-50 [“Raschet povtoryayemosti gidrologicheskikh yavleniy na osnove analiza ikh formirovaniya”, Meteorologiya i gidrologiya, 1953, № 1, pp. 46-50. (In Russ)].
14. A.V. Klimenko, A.V. Bobryakov, and M.M. Zernov, “The Basic classes of fuzzy models and kinds of knowledge used in them”, Magazine "Neurocomputers", № 8, 2011, pp. 10-17 [“Osnovnyye klassy nechetkikh modeley i ispol'zuyemyye v nikh vidy znaniy”, Zhurnal «Neyrokomp'yutery», № 8, 2011, pp. 10-17.(In Russ)].

15. A.N. Krenke, M.I. Chernavskaya, and R. Brezdil, "European climate variability in the historical past", Moscow: Nauka, 1995, 224 p ["Izmenchivost' klimata Yevropy v istoricheskom proshlom", Moskva, Nauka, 1995, 224 p. (In Russ)].

16. L.K. Kremer, "Microclimatic laws", Natural regimes and topographic systems of the Angara taiga, Novosibirsk: Nauka, 1975, pp. 71-108 [Prirodnyye rezhimy i topogeosistemy Priangarskoy taygi. - Novosibirsk: Nauka, 1975, pp. 71-108. (In Russ)].

17. S.N. Kritsky, M.F. Menkel, "Hydrological basics of river flow management", Moscow: Nauka, 1981, 255 p ["Gidrologicheskiye osnovy upravleniya rechnym stokom", Moscow: Nauka, 1981, 255 p] (In Russian).

18. L.V. Kurzaeva, "On the relevance of developing a knowledge base of an intellectual system for supporting the management of requirements for the learning outcomes of IT specialists", Basic Research, 2016, №. 12-3, pp. 513-517 ["K voprosu ob aktual'nosti razrabotki bazy znaniy intellektual'noy sistemy podderzhki upravleniya trebovaniyami k rezul'tatam obucheniya IT-spetsialistov", Fundamental'nyye issledovaniya, 2016, №. 12-3, pp. 513-517. (In Russ)].

19. K. Mardia, "Statistical analysis of angular observations", Moscow: Nauka, 1978, 239 p ["Statisticheskii analiz uglovykh nablyudeniy", Moscow: Nauka, 1978, 239 p. (In Russ)].

20. L.V. Massel, A.G. Massel, "Technologies and tools for intelligent support of decision-making in extreme situations in energy", Computational Technologies, Vol. 18, №. S1, 2013, pp. 37-44.

21. Ya.M. Ivanyo and S.A. Petrova, "Optimization models of agricultural production in solving the problems of assessing natural and technological risks. Monograph", Irkutsk: Publishing house of the Irkutsk State Agrarian University, 2015, 180 p ["Optimizatsionnyye modeli agrarnogo proizvodstva v reshenii zadach otsenki prirodnykh i tekhnogennykh riskov. Monografiya", Irkutsk: Izd-vo Irkutskogo GAU, 2015, 180 p] (In Russian).

22. Yu.L. Rauner, "The dynamics of the extremes of humidification over the historical period", Izv. USSR Academy of Sciences Ser. geogr. 1981, № 6, pp. 5-22 ["Dinamika ekstremumov uvlazhneniya za istoricheskiy period", Izv. AN SSSR Ser. geogr. 1981, № 6, pp. 5-22. (In Russ)].

23. S.V. Smirnov, "Ontological analysis of subject areas of modeling", Bulletin of the Samara Scientific Center of the Russian Academy of Sciences, 2001, vol. 3, № 1, pp. 62-70 ["Ontologicheskii analiz predmetnykh oblastey modelirovaniya/ S.V. Smirnov", Izvestiya Samarskogo nauchnogo tsentra RAN, 2001, vol. 3, № 1, pp. 62-70] (In Russ)].

24. "SNiP 2.01.14-83. Determination of calculated hydrological characteristics", Moscow: Stroyizdat, 1985, 36 p ["SNiP 2.01.14-83. Opredeleniye raschetnykh gidrologicheskikh kharakteristik", Moscow: Stroyizdat, 1985, 36 p] (In Russ)].

25. "SNiP 2.06.15-85. Engineering protection of the territory from flooding and flooding", Gosstroy of the USSR, Moscow: TsITP Gosstroy of the USSR, 1986, 20 p ["SNiP 2.06.15-85. Inzhenernaya zashchita territorii ot zatopleniya i podtopleniya", Gosstroy SSSR, Moscow: TSITP Gosstroya SSSR, 1986. 20 p. (In Russ)].

26. N.V. Starkova, "Information and knowledge base about extreme natural phenomena", Proceedings of the XII Baikal All-Russian Conference "Information and Mathematical Technologies in Science and Management", Irkutsk: ISEM SB RAS, 2007, № 3, pp. 100-105 ["Informatsiya i baza znaniy ob ekstremal'nykh prirodnykh yavleniyakh, Trudy XII Baykal'skoy Vserossiyskoy konferentsii "Informatsionnyye i matematicheskiye tekhnologii v nauke i upravlenii", Irkutsk, ISEM SO RAN, 2007, № 3, pp. 100-105 (In Russ)].

27. C. Stylios, V. Reppa, and P. Groumpos, "Knowledge based decision support system for flood risk assessment", in The 11th International Workshop on Computer Science and Information Technologies (CSIT'2009), Crete, Greece, 2009, pp. 7-12.

Сведения об авторах:

Асальханов Петр Георгиевич, кандидат технических наук, доцент, кафедра информатики и математического моделирования; e-mail: asalkhanov@mail.ru

Бендик Надежда Владимировна, кандидат технических наук, доцент, кафедра информатики и математического моделирования; e-mail: starkovan@list.r

Иванов Ярослав Михайлович, доктор технических наук, профессор, кафедра информатики и математического моделирования; e-mail: iymex@rambler.ru

Information about authors:

Peter G. Asalkhanov, Cand. Sci. (Technical), Ass. Prof., Department of Informatics and Mathematical Modeling; e-mail: asalkhanov@mail.ru

Nadezhda V. Bendik, Cand. Sci. (Technical), Ass. Prof., Department of Informatics and Mathematical Modeling; e-mail: starkovan@list.r

Yaroslav M. Ivan'o, Dr. Sci. (Technical), Prof., Department of Informatics and Mathematical Modeling. e-mail: iymex@rambler.ru

Конфликт интересов.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Поступила в редакцию 10.05.2020.

Принята в печать 18.06.2020.

Conflict of interest.

The authors declare no conflict of interest.

Received 10.05.2020.

Accepted for publication 18.06.2020.