

УДК 004:005.584.1:502/504

## Современные подходы к прогнозированию чрезвычайных ситуаций

### Modern approaches to forecasting of emergencies

**Ничепорчук В.В.**

*канд. тех. наук*

*Институт вычислительного моделирования Сибирского отделения РАН*

*valera@icm.krasn.ru*

**Nichiporchuk V.V.**

*Ph.D. of Engineering Sciences*

*Institute of computational modeling of Siberian branch of RAS*

#### **Аннотация:**

Приведён анализ методов прогнозирования, используемых в органах управления МЧС России и взаимодействующих ведомств. Предложена методика краткосрочного прогнозирования, интегрирующая прогнозы погоды, средства статистического анализа архивов событий, формализованные характеристики территорий и методы картографической визуализации результатов предиктивного анализа.

**Ключевые слова:** информационное обеспечение прогнозов, предиктивный анализ, факторы влияния.

#### **Abstract:**

This paper presents an analysis of prediction methods of emergency. These methods used now in the management bodies of EMERCOM of Russia. The method of prediction that integrates weather forecasts, statistical analysis, archives of events, formal characteristics of the territories is proposed. The methods of cartographic visualization of analytical results are described.

**Key words:** information support of predictions, predictive analysis, of influence factors.

#### **Введение:**

Процесс прогнозирования является неотъемлемой частью информационной поддержки практически всех видов управления, включая управление природно-техногенной безопасностью территорий. Прогнозирование рисков развития сложных, труднопредсказуемых процессов, возникающих в социально-природно-техногенных системах, описываемых некорректными условиями при постановке задач, является одной из интенсивно развивающихся областей математического моделирования [1]. Это связано с появлением недорогих приборов контроля обстановки, с созданием систем комплексного мониторинга окружающей среды, технологических и социальных процессов, а также новых технологий интеллектуальной обработки данных, распределённых вычислений, методов машинного обучения [2].

Значимость вопросов прогнозирования ЧС подтверждается большим количеством нормативных и методических документов, регламентирующих деятельность ведомственных систем мониторинга, порядок информационного обмена в целях совершенствования профилактической деятельности в области предупреждения ЧС природного и техногенного характера [3]. Эффективность управления природно-техногенной безопасностью территорий, возможность проведения превентивных

мероприятий напрямую зависит от полноты и достоверности прогнозов ЧС.

Сложность проблемы прогнозирования требует проведения научных междисциплинарных исследований в широком спектре областей, снятия межведомственных барьеров обмена оперативной и архивной мониторинговой информацией, формирования баз знаний сценариев реагирования на различных уровнях управления. В работе предложена методика краткосрочного прогнозирования, интегрирующая прогностическую метеоинформацию, средства статистического анализа архивов событий, формализованные характеристики территорий и методы картографической визуализации результатов предиктивного анализа.

#### **Анализ существующих методов прогноза:**

В отличие от гидрометеорологии, имеющей полтора века инструментальных наблюдений и постоянно совершенствующихся климатически, синоптических, гидрологических моделей, наука прогнозирования ЧС находится в стадии становления. Подходы, используемые Всероссийским центром мониторинга и прогнозирования «Антистихия», основываются на экспертных оценках и носят фоновый характер, непригодный для использования на муниципальном уровне. Методики оценки последствий реализации опасных ситуаций природного и техногенного характера [4], расчёты необходимых сил и средств ликвидации ЧС [5] относятся больше к информационной поддержке принятия решений по экстренному реагированию, а не к области прогнозов.

Наиболее обоснованным считается подход, сочетающий генетический анализ причин, способствующих реализации опасных событий, со статистическими методами обработки данных оперативного мониторинга и архивов наблюдений [6]. Интеграция больших объёмов данных, различных методов их обработки с формализованными сценариями развития событий позволяет минимизировать управленческие риски, связанные как с неполнотой и нечёткостью информации о ситуации, так и с отсутствием опыта у лиц, принимающих решения. При этом решения, формируемые автоматизированной системой, на основе обработки данных мониторинга, должны представлять в зависимости от ситуации либо детерминированный алгоритм с чёткой последовательностью действий, либо набор альтернатив с объяснением преимуществ и недостатков их реализации.

Прогноз ЧС различного характера и закономерности развития опасных процессов и явлений могут

быть описаны с помощью различных математических методов, в том числе: статистические оценки возникновения, повторяемости, цикличности ЧС; выявления аналогий, комплексного подхода в оценке влияния различных факторов. Для отдельных видов техногенных аварий используются методы оценки рисков, теории катастроф, нелинейной механики [7]. Однако перечисленные методы пока не нашли применения в территориальных центрах мониторинга и прогнозирования ЧС по субъектам РФ. Используемые методические материалы Всероссийского центра мониторинга и прогнозирования «Антистихия» основаны на эмпирических рассуждениях, их программная реализация обеспечивает фоновый прогноз возникновения ЧС. Согласно этим прогнозам, уровень риска ЧС любого вида не изменяется на всей территории субъекта РФ, что неприемлемо для обширных регионов Сибири. Практически отсутствуют необходимые объёмы данных, не проработан процесс формирования рекомендаций, увязанный с результатами прогнозирования. Дефицит информации, отсутствие информационно-аналитических систем сбора, обработки и визуализации результатов комплексного мониторинга обстановки в сочетании с недостаточностью управленческого опыта не позволяют снизить уровни территориальных рисков ЧС до приемлемых значений [8].

#### **Информационное обеспечение прогнозирования:**

Предиктивный анализ вероятности возникновения ЧС определенного вида и масштаба основан на следующих источниках информации:

- краткосрочный прогноз погоды (на 1-10 суток) обновляемый 1 раз в 2-6 часов из внешних интернет-ресурсов (GRIB - Росгидромет, Яндекс-погода, Ecmwf, OpenWeatherMap и других);
- каталог зарегистрированных опасных событий, использующийся для анализа распределения рисков во времени, пространстве и по шкале масштабов [9];
- характеристики территорий, представленные в виде формализованных паспортов безопасности, атласов рисков, статистических баз данных [10].

#### **Методика прогнозирования ЧС на краткосрочный и среднесрочный периоды**

Предлагаемая методика прогнозирования ЧС предназначена для информационной поддержки проведения мероприятий по предупреждению ЧС

на уровне муниципальных образований. Для оценки возникновения ЧС в методике используется трёхинтервальная шкала, аналогичная «методу семафора». Шкала имеет значения «норма», «угроза» и «опасность», в зависимости от которых определяется режимы функционирования сил и средств, а также органов управления. Использование такой шкалы удобнее, чем выражение вероятности возникновения каждого вида ЧС в интервале 0-100% используемой в настоящее время. Кроме того, в методике не используются сложные математические модели природных и техногенных процессов, требующих сбора большого количества входных параметров.

Результаты прогнозирования визуализируются на картограмме региона, содержащей контуры муниципальных образований в виде зелёного и жёлтого цветов, соответствующих значениям бинарной шкалы. Факт ЧС или опасной ситуации показывается как точечный объект красного цвета. Опасная ситуация может быть идентифицирована системами мониторинга как выход контролируемых показателей за установленные пределы [11]. Опасное событие – ситуация, сопровождающаяся ущербом или потерями, данные о которой вносятся в реестр событий с использованием средств распределённого сбора данных [9, 12].

В случае получения прогноза по какому-либо виду рисков со значением «повышенный» необходимо проведение мероприятий по предупреждению ЧС. Мероприятия заключаются в информировании населения и руководителей служб ТП РСЧС по всем доступным средствам передачи информации, подготовке резервов на случай реализации ЧС и других опасных ситуаций, усилении боевых расчётов аварийно-спасательных формирований и т.п. Полный перечень мероприятий должен быть описан в Планах предупреждения ЧС. Регламентация порядка разработки Планов предупреждения ЧС муниципальных образований на основе сценарного подхода, анализа прецедентов с последующим формированием базы знаний описана в [13].

В качестве основы формирования перечня рисков в методике использован классификатор видов событий МЧС России [14] представленный трёхуровневой иерархией. Верхние уровни классификатора: «Техногенные ЧС», «Природные ЧС», «Биолого-социальные ЧС». Введён четвёртый класс – «Прочие опасные события» на которые обязаны реагировать формирования ТП РСЧС. Фрагмент перечня приведён в таблице 1.

**Таблица 1 – Факторы, составляющие основу прогноза ЧС, упорядоченные в соответствии с классификатором событий и перечнем рисков региона**

Уровень	Вид ситуации	Риски	V	T1	T2	P1	P2	C1	C2
1	ТЕХНОГЕННЫЕ ЧС								
2	Транспортные аварии								
3	Поездов грузовых	Риски возникновения ЧС на объектах железнодорожного транспорта	1	0	0	1	0	0	
3	Поездов пассажирских и метрополитена	Риски возникновения ЧС на объектах железнодорожного транспорта							
3	Судов грузовых	Риски возникновения ЧС на объектах речного транспорта	1	0	0	1	0	1	
		Риски возникновения ЧС на объектах морского транспорта							
3	Судов пассажирских	Риски возникновения ЧС на объектах речного транспорта	1	1	0	1	0	0	
		Риски возникновения ЧС на объектах морского транспорта							
3	Авиационные в аэропортах и населенных пунктах	Риски возникновения ЧС на объектах воздушного транспорта	1	0	0	1	0	0	
3	Авиационные вне аэропортов и населенных пунктов	Риски возникновения ЧС на объектах воздушного транспорта							
3	На автодорогах	Риск возникновения ЧС на объектах автомобильного транспорта	0	0	0	1	1	1	
3	Аварии транспорта на мостах, в тоннелях, горных выработках, ж/д переездах	Риск возникновения ЧС на объектах автомобильного транспорта							
1	ПРИРОДНЫЕ ЧС								
2	Опасные гидрологические явления								

Уро- вень	Вид ситуации	Риски	V	T1	T2	P1	P2	C1	C2
3	Высокие уровни воды (наводнения, половодья, дожд. паводки, заторы)	Риски подтоплений	0	1	0	1	1	1	
		Риск весеннего половодья (все затопления снегового и снего-дождевого характера)	0	1	0	1	1	1	
		Риск наводнений, формируемый интенсивными дождями и таянием снега в горах (только дождевого характера)	0	1	0	1	1	1	
3	Низкие уровни вод	Риски возникновения ЧС, связанные с дефицитом водоснабжения	1	1	0	1	0	1	
2	Природные пожары								
3	Лесные пожары	Риски возникновения природных пожаров	0	1	0	1	1	1	
		Риски возникновения природных пожаров на особо охраняемых территориях							
2	Опасные геофизические явления								
3	Землетрясения		1	0	0	1	1	0	1
1	ПРОЧЕЕ								
2	Поиск и спасение людей								
3	В лесу								
3	В горах								
3	На акваториях	Риски выхода людей на лед	0	1	1	1	1	1	
		Риски массового выхода людей на водные объекты	0	1	1	1	1	1	
2	Обнаружение								
3	Утопленников	Риски массового выхода людей на водные объекты							
3	Взрывных устройств								
3	Ртути								

Каждому виду ЧС присвоены атрибутивные значения (0 – отсутствует, 1 – учитывается), используемые для формирования прогнозов:

V – событие данного вида маловероятно, риск < 10<sup>0</sup> год<sup>-1</sup>;

T1 – события происходят сезонно (циклически);

T2 – события зависят от дней недели (будни, выходные, праздники);

P1 – распределение событий отображается в виде Атласа рисков ЧС;

P2 – распределение событий отображается в виде динамической карты (слоя) оперативной обстановки;

C1 – реализация события зависит от состояния погоды;

C2 – реализация события зависит от других факторов.

В качестве других факторов прогноза могут быть использованы, например, космические факторы. В работе [15] показано влияние положения барицентра Земля – Луна на вероятность землетрясений. Величину солнечной и магнитной активности можно учитывать при прогнозировании видов ЧС с большим влиянием человеческого фактора. Однако подтвердить влияние какого-либо фактора на вероятность реализации и масштаб событий можно на основе статистического анализа длительных рядов наблюдений.

Последовательность выполнения предиктивного анализа проиллюстрирована на рисунке 1.

Краткосрочный прогноз погоды, представленный в виде регулярной сетки с шагом 50 км и менее, анализируется на предмет наличия опасностей и угроз. Показатели погоды сравниваются с критериями опасности, приведёнными в нормативных документах [16].

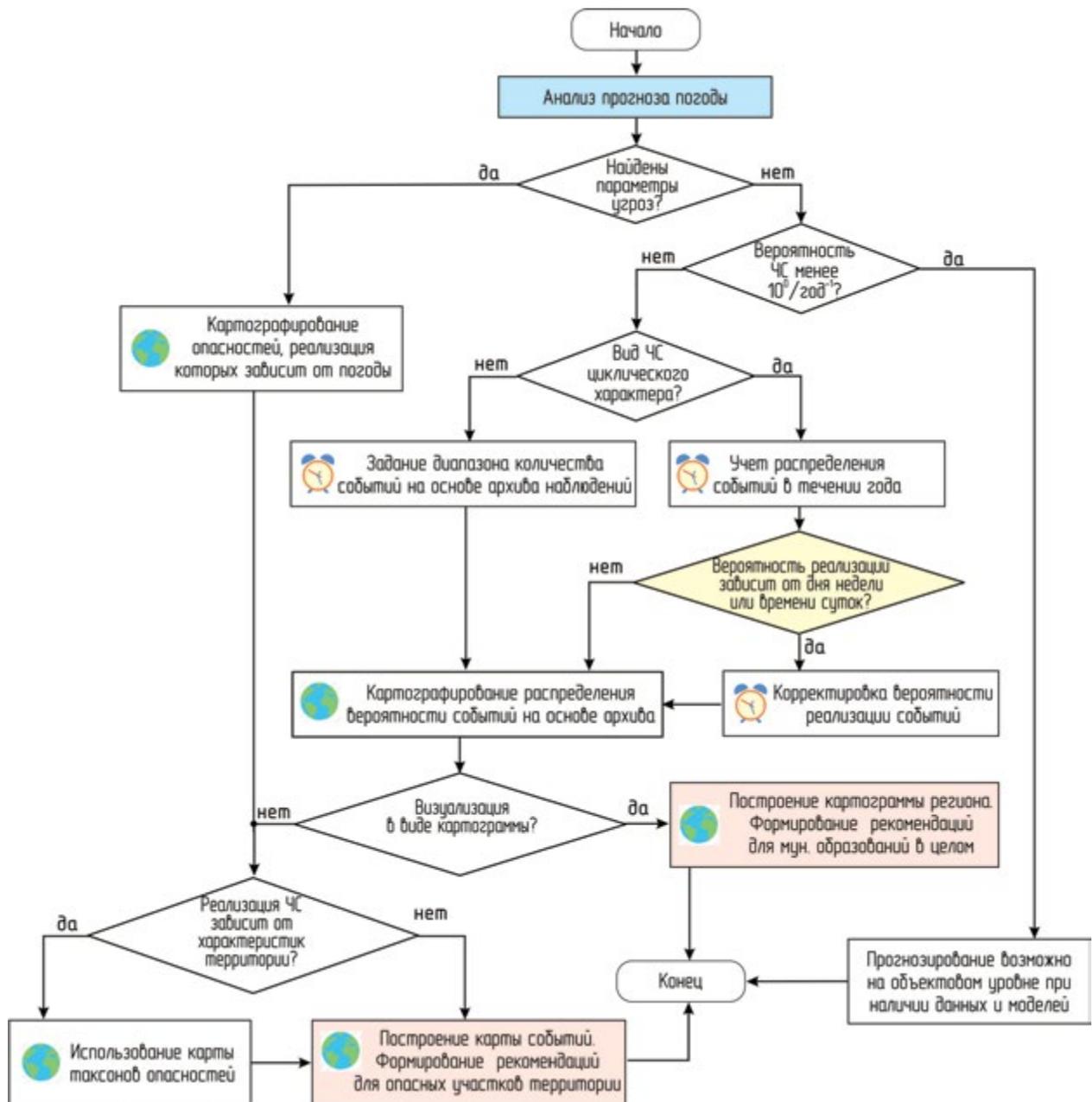


Рисунок 1 – Алгоритм прогнозирования ЧС

Для маловероятных событий  $V=0$  прогнозирование может быть реализовано с использованием данных локального мониторинга потенциально опасных объектов и специальных расчётных моделей. Например, вероятность обрушения зданий и сооружений рассчитывается для каждого узла по модели напряжённо-деформированных состояний с использованием пакета ANSYS.

В случае циклических рисков  $T1$ , необходима реализация статистической обработки архивов данных событий аналогичного вида. Для среднесрочного прогноза ЧС используются следующие показатели: даты начала и окончания сезона (ранняя, средняя, поздняя), год-аналог по числу событий. Краткосрочный прогноз допустимо строить на основе тренда на несколько предыдущих дней, при этом количество «опорных точек» может выбираться как вручную, так и автоматически. Математические методы, применяемые для экстраполяции графика исследуемого показателя, также выбираются путём вычислительного эксперимента. Это могут быть простейшие регрессионные модели, например, метод наименьших квадратов, или многослойные нейросети и другие новейшие методы машинного обучения [17].

Поправки в методе статистической обработки мониторинговых данных делаются, если вид ЧС зависит от дней недели  $T2$ . В случае неравномерности распределения риска по территории  $P2$ , вычисления тренда

повторяются для каждого фрагмента территории, например, лесного квартала или виртуальной расчётной сетки. В результате расчётов формируется динамическая карта оперативной обстановки Р2 на период прогнозирования.

### Реализация информационной системы:

Как показывает опыт внедрения информационных систем, наиболее перспективной реализацией средств визуализации прогностической информации является технология геопорталов. Веб-реализация результатов обработки данных комплексного мониторинга позволяет представить информацию для лиц, принимающих решения в виде интерактивных карт, содержащих динамические ссылки на кросс-таблицы, графическую аналитику, рекомендации и др. Разнообразие задач управления, необходимость обеспечения разных групп пользователей (руководитель, эксперт, оператор) требует разработки сервисов, обладающих максимальной гибкостью. Кроме того, интеграция технологий геопорталов для мобильных приложений со средствами геопозиционирования даёт возможность получения прогнозов и оперативных предупреждений конкретному человеку в зависимости от места нахождения.

В Главном управлении МЧС России по Красноярскому краю ведутся разработки геопортала, позволяющего отображать различные данные, необходимые для территориального управления безопасностью на мультимасштабных картах с возможностью смены подложек, переключения тематических слоёв, динамических переходов от пространственных объектов к таблицам атрибутов и наблюдений, диаграммам различного вида и текстовым описаниям. Серверная часть реализуется на языке java, обеспечивающим поддержку широкого круга архитектур, средство Leaflet используется для публикации карт. Конфигурирование приложений с наполнением их модулями анализа, моделирования и визуализации, обеспечением регламентированного доступа разрабатывается с использованием современного стека технологий Spring. Клиентская часть системы реализуется с использованием фреймворков – Bootstrap 3, Metro UI CSS, позволяющим автоматически перестраивать сервис в зависимости от устройства, используемого пользователем.

Информационное обеспечение геопортала реализуется на основе хранилища данных Территориального центра мониторинга и прогнозирования ЧС. Для наполнения данными мониторинга разрабатываются сервисы консолидации данных из раз-

ных информационных систем, эксплуатирующихся в органах управления РСЧС. При этом учитывается неопределенность конечного перечня источников информации, разнообразие способов хранения, обработки и представления информационных ресурсов. Хранилище данных содержит большие объёмы данных ежедневного мониторинга продолжительностью 5-25 лет.

### Заключение:

Несмотря на то, что большинство научных дисциплин уже прошли последовательность этапов: описание – классификация – концептуальное моделирование и качественный анализ – математическое моделирование и количественный анализ – прогноз, работы в области прогностического обеспечения комплексной безопасности территорий можно назвать пионерскими [18]. Для информационной поддержки планирования и проведения превентивных мероприятий необходимо дальнейшее накопление данных мониторинга, апробация методик анализа и моделирования, внедрение новых информационных технологий. Реализация изложенного в работе подхода может иметь синергетический эффект при организации многостороннего межведомственного обмена информацией и совместного взаимодействия по предотвращению техногенных катастроф и смягчению последствий стихийных бедствий.

### Литература:

1. Ахметханов Р.С., Дубинин Е.Ф., Куксова В.И. Применение нечётких методов в оценки рисков при наличии террористических угроз // Проблемы безопасности и чрезвычайных ситуаций, 2018. – № 1. – С. 38-55.
2. Бринк Хенрик, Ричардс Джозеф, Феверолф Марк. Машинное обучение. – СПб.: Питер, 2017. – 336 с.
3. Указ Президента РФ от 11 января 2018 г. № 12 «Об утверждении Основ государственной политики Российской Федерации в области защиты населения и территорий от чрезвычайных ситуаций на период до 2030 года».
4. Сборник методических документов, применяемых для независимой оценки рисков в области пожарной безопасности, гражданской обороны и защиты населения и территорий от чрезвычайных ситуаций. Союз организаций, осуществляющих экспертную деятельность в области защиты населения и территорий от чрезвычайных ситуаций, промышленной, пожарной и эко-

- логической безопасности. Часть 1. – М.: ООО «Типография Полимаг», 2008. – 704 с.
5. Наставление по организации управления и оперативного (экстренного) реагирования при ликвидации чрезвычайных ситуаций. Под. ред. С.К. Шойгу. – М.: МЧС России, 2010. – 138 с.
  6. Бураков Д.А., Космакова В.Ф., Гордеев И.Н. О результатах оперативных испытаний методов гидрологических прогнозов на реках Восточной Сибири в период весеннего половодья / Результаты испытания новых и усовершенствованных технологий, моделей и методов гидрометеорологических прогнозов, 2015. – № 42. – С. 50-59.
  7. Отчёт по НИР «Разработка методов прогноза рисков возникновения многофакторных и комплексных чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера с учётом природно-климатических особенностей регионов страны на примере Сибирского Федерального округа». – М.: ВНИИ ГОЧС, 2013. – 400 с.
  8. Москвичёв В.В., Бычков И.В., Потапов В.П., Тасейко О.В., Шокин Ю.И. Информационная система территориального управления рисками развития и безопасностью // Вестник РАН, 2017. – том 87, №8. – с. 696-705.
  9. Москвичёв В.В., Ничепорчук В.В., Потапов В.П., Тасейко О.В., Фалеев М.И. Информационное обеспечение мониторинга и рисков развития социально-природно-техногенных систем // Проблемы анализа риска. – 2018. – Т.15. – №2. – С. 56-77.
  10. Ничепорчук В.В., Пенькова Т.Г. Паспорт территории – динамический инструмент анализа опасностей // Научные и образовательные проблемы гражданской защиты. – 2014. – №1. – с. 3-8.
  11. Tatiana Penkova, Valeriy Nicheporchuk, and Anna Metus. Comprehensive Operational Control of the Natural and Anthropogenic Territory Safety Based on Analytical Indicators // International Joint Conference, IJCRS 2017. Olsztyn, Poland, July 3–7, 2017. Proceedings, Part I. P. 263-270, DOI 10.1007/978-3-319-60837-2.
  12. Коробко А.А., Ничепорчук В.В., Ноженков А.И. Динамическое формирование интерфейса WEB-системы сбора данных мониторинга чрезвычайных ситуаций // Информатизация и связь. – 2014. – №3. – стр. 59-64.
  13. Морозов Р.В., Ничепорчук В.В. Редактор баз знаний для адаптивного управления ликвидацией чрезвычайных ситуаций // Известия Кыргызского государственного технического университета им. И. Раззакова. – 2011. №24. – С. 150-154.
  14. Приказ МЧС России от 8.07.2004 № 329 «Критерии информации о чрезвычайных ситуациях».
  15. Забродин С.М., Перетокин С.А., Салагаева А.В. Влияние солнечной активности на генерацию импульсов радиоволн земной коры // Инженерная экология, 2012. – № 6. – С. 18.
  16. ОДМ 218.8.001-2009. Методические рекомендации по специализированному гидрометеорологическому обеспечению дорожного хозяйства. Распоряжение Росавтодора от 26.11.2009 № 499-р Постановление Правительства РФ от 29.06.1995 № 647 (ред. от 04.09.2012) «Об утверждении Правил учета дорожно-транспортных происшествий».
  17. Бринк Хенрик, Ричардс Джозеф, Феверолф Марк. Машинное обучение. – СПб.: Питер, 2017. – 336 с.
  18. Иванов В.В., Малинецкий Г.Г. Россия: XXI век. Стратегия прорыва: Технологии. Образование. Наука. № 26. – М.: URSS, 2017. – 304 с.