

Интернет-журнал «Наукovedение» ISSN 2223-5167 <http://naukovedenie.ru/>

Том 8, №6 (2016) <http://naukovedenie.ru/vol8-6.php>

URL статьи: <http://naukovedenie.ru/PDF/102TVN616.pdf>

Статья опубликована 31.01.2017

Ссылка для цитирования этой статьи:

Кулешов С.Л. Вероятностная оценка возникновения заторных наводнений на реках // Интернет-журнал «НАУКОВЕДЕНИЕ» Том 8, №6 (2016) <http://naukovedenie.ru/PDF/102TVN616.pdf> (доступ свободный). Загл. с экрана. Яз. рус., англ.

УДК 627.01:556.5

Кулешов Сергей Леонидович

ФГБОУ ВО «Российский государственный аграрный университет - МСХА имени К.А. Тимирязева», Россия, Москва¹

Заведующий лабораторией

E-mail: 5323737@mail.ru

РИНЦ: http://elibrary.ru/author_profile.asp?id=823344

Вероятностная оценка возникновения заторных наводнений на реках

Аннотация. Обзор исследований, посвященных прогнозам весенних заторов на реках, показал, что большинство существующих методов базируется на эмпирических зависимостях, построенных для конкретного русла. Прогнозы, выполненные с помощью геоинформационных систем, основываются на построении цифровых моделей рельефа и нанесением на них уровней воды для половодий заданной обеспеченности.

Впервые предложено выполнять прогнозы на основании построения дерева событий (отказов), применяемого в теории техногенного риска. Ледовое наводнение предложено рассматривать как событие, возникающее при определенном сочетании случайных факторов. События, в отличие от анализа надежности технических систем, будут представлять собой внешние исходные события, связанные с природными явлениями и их сочетаниями. К таким событиям отнесены опасные условия формирования, протекания и прекращения ледостава. На нижних уровнях дерева происшествий расположены факторы, влияющие на головные события. Возможные варианты протекания процесса описаны с помощью логических операторов.

На основании анализа данных по факторам, влияющим на возникновение затора, разработаны сценарии его возможного возникновения. По каждому сценарию построено дерево происшествий и получены теоретические формулы вероятностей их возникновения. Прогноз возможно выполнить на основании данных о статистических характеристиках событий, входящих в дерево происшествий.

Ключевые слова: инженерная гидрология; ледовые явления на реках; заторы; прогнозы; вероятностные методы

¹ 127550, Россия, г. Москва, ул. Б. Академическая, дом 44

Введение

Одной из причин катастрофических наводнений на реках побережья моря Лаптевых, Восточно-Сибирского, Карского, Чукотского и Охотского морей является возникновение ледовых заторов. В период весеннего половодья скопление крупных и мелких льдин препятствует смещению кромки ледяного покрова при вскрытии рек вниз по течению. При прохождении ледохода уровень воды выше створа скопления льдин может иметь резкий подъем на несколько метров в течение достаточно короткого промежутка времени. Повторяемость заторов в отдельных створах имеет значения 70-100%, заторные подъемы могут достигать величины 5 метров и более. Только на территории Иркутской области более 60-ти населенных пунктов подвержены негативным последствиям заторных наводнений. При отсутствии защитных гидротехнических сооружений основным способом предотвращения чрезвычайных ситуаций или смягчения их последствий является своевременный прогноз возможности образования затора и его параметров [10].

Качественные долгосрочные прогнозы для реки Лена, позволяющие дать оценку такого явления, как выход воды на пойму, были разработаны В.В. Кильмяниновым [6]. В последнее время широкое применение нашли модели масштабов и зон затопления, построенные с использованием ГИС-технологий [2, 3]. Система мониторинга и прогнозирования, действующая на территории Сибирского федерального округа, использующая оперативную информацию Росгидромета и ГИС-моделирования, позволяет прогнозировать зоны затопления при прохождении весенних паводков [5].

Очевидно, что в условиях глобального потепления климата **актуальными** являются вопросы своевременного прогноза заторных наводнений, характерных для большинства сибирских рек.

Методы исследований

Большинство существующих методов прогноза максимальных заторных уровней базируется на эмпирических зависимостях, полученных для конкретного водотока и использующих данные наблюдений на гидрологических постах за длительный промежуток времени [1]. Впервые предлагается для прогнозов использовать вероятностные методы, нашедшие применение в анализе рисков сложных систем, и, в частности, в гидротехническом строительстве [9]. В данном случае интенсивность отказов технических элементов и систем, в которые они входят, будет заменена вероятностями наступления неблагоприятных гидрологических и климатических событий, способствующих возникновению затора (отказа) в створе, морфометрические характеристики которого способствуют его возникновению. Прогноз возникновения затора может быть выполнен для конкретного участка речного русла, имеющего ряд препятствий: достаточно крутые повороты или стеснения потока, острова, конусы выноса, уменьшения уклонов водной поверхности и т.д., способствующие торошению льда под воздействием напора руслового потока [8]. Возможные места возникновения заторов достаточно изучены и приведены в каталоге заторных и зажорных участков рек СССР (Гидрометеиздат, 1976 год).

Целью исследований стали разработка возможных сценариев возникновения затора в створе и построение «Деревьев происшествий (отказов)» по каждому из сценариев с применением дедуктивного метода (FTA - Fault Tree Analysis), в котором факторы, способствующие возникновению заторов, и их комбинации, сгруппированы логически.

Классический термин «Дерево отказов», используемый при исследовании риска технических систем, в предлагаемом методе прогноза будет соответствовать термину «Дерево происшествий», по которому возможна оценка вероятности возникновения затора в створе с

определенной морфометрией. Прогноз будет выполнен на основании данных о статистических характеристиках включенных в дерево происшествий событий [7]. События, в отличие от анализа надежности технических систем, будут представлять собой внешние исходные события, связанные с природными явлениями и их сочетаниями.

Анализ факторов, влияющих на возникновение затора в створе, позволил автору разработать сценарии возникновения затора, приведенные на рисунке 1.

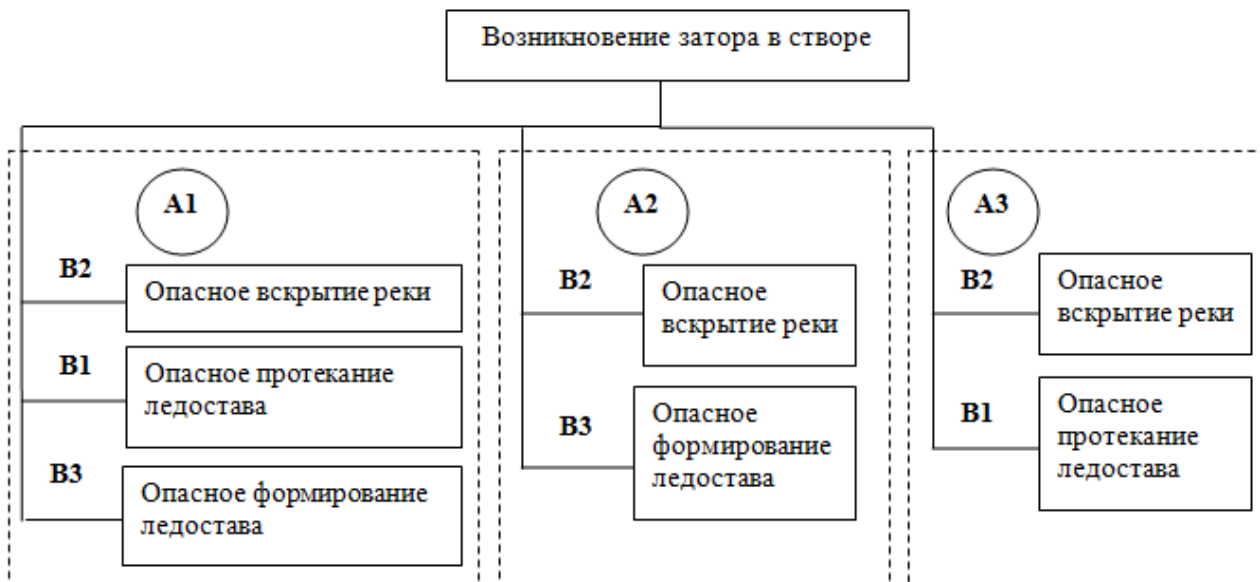


Рисунок 1. Возможные сценарии образования затора в створе с неблагоприятной морфометрией

Среди всех возможных сценариев выделено три наиболее характерных, соответствующих неблагоприятным условиям формирования, протекания и прекращения ледостава и их комбинациям. Наиболее неблагоприятным с точки зрения прогнозов является сценарий A1, при котором все три указанных условия реализуются один за другим во временной последовательности: опасное формирование ледостава, за которым следует опасное протекание ледостава и опасное вскрытие реки. С точки зрения гидрологических и метеорологических характеристик в данном случае, как правило, в осенний период наблюдалось возникновение зажорных явлений, зима характеризовалась длительными низкими температурами, а весной половодье было достаточно дружным. Наименее неблагоприятными с точки зрения вероятности возникновения затора являются сценарии A2 и A3, в которых перечисленные факторы действуют не вместе, а в определенных сочетаниях.

Результаты исследований

Для каждого из трех возможных сценариев образования затора автором впервые построены «Деревья происшествий», примеры которых приведены на рисунках 2 - 4.

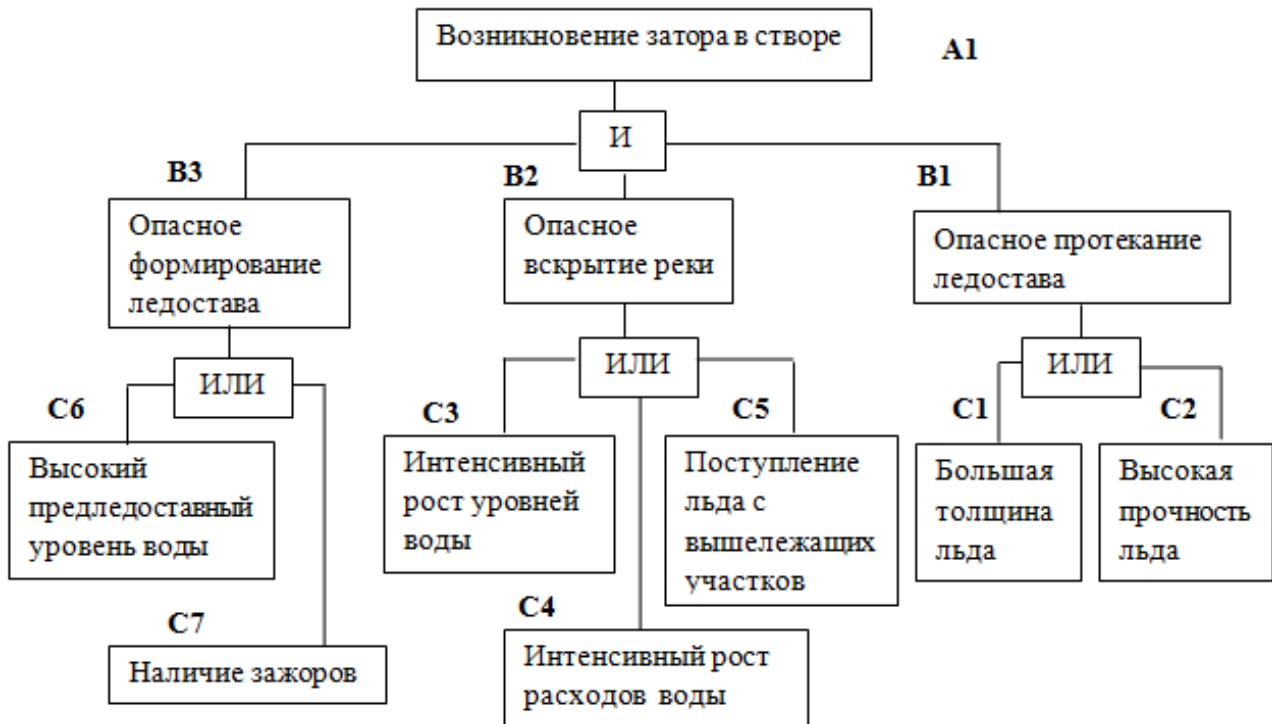


Рисунок 2. Дерево происшествий для возникновения затора по сценарию А1

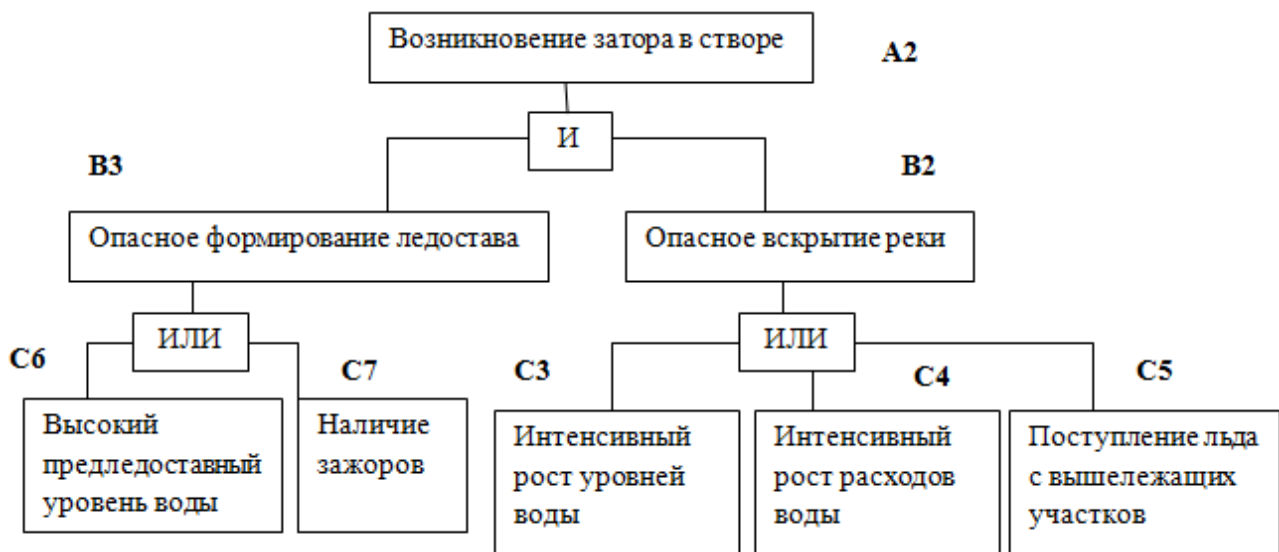


Рисунок 3. Дерево происшествий для возникновения затора по сценарию А2

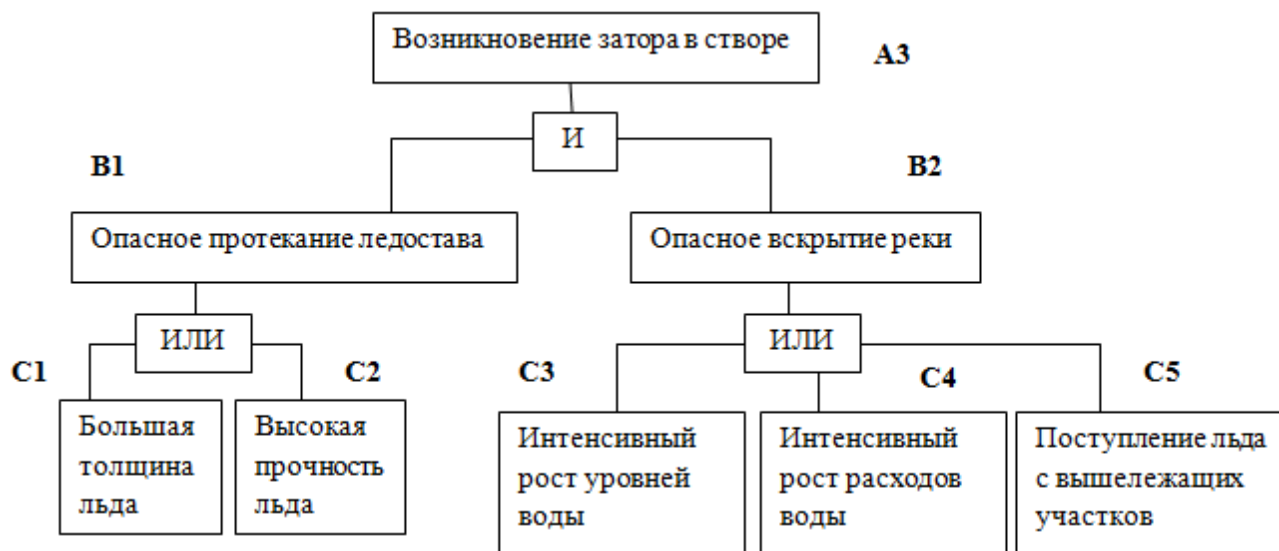


Рисунок 4. Дерево происшествий для возникновения затора по сценарию А3

Условные обозначения:

- Логическое «И» - событие-следствие возникает при наступлении всех исходных событий
- Логическое «ИЛИ» - событие-следствие возникает при наступлении хотя бы одного из исходных событий
- Разрабатываемое событие

События, включенные в построенные деревья, являются случайными. Они могут быть описаны случайными величинами, значения которых принадлежат определенному диапазону, характерному для каждого конкретного створа (например, толщина льда колебаться в пределах от 0,8 до 1,2 метра в зависимости от года наблюдений и т.д.).

Оценка среднегодовой вероятности возникновения каждого из событий, входящего в сценарий, требует наличия информации о реализации затора по каждому из сценариев. Применение к построенным деревьям основных законов теории вероятностей позволило определить в теоретическом виде вероятности возникновения каждого из событий, входящих в соответствующие сценарий, вероятности реализации каждого из сценариев и вклад факторов в процесс возникновения затора.

Оцененные на основании среднегодовых частот вероятности возникновения сценариев по каждому графу приведены ниже:

Сценарий А1

$$\begin{aligned}
 P_{A1} &= P_{B1} \cdot P_{B2} \cdot P_{B3} \\
 P_{B1} &= 1 - (1 - P_{C1}) \cdot (1 - P_{C2}) \\
 P_{B2} &= 1 - (1 - P_{C3}) \cdot (1 - P_{C4}) \cdot (1 - P_{C5}) \\
 P_{B3} &= 1 - (1 - P_{C6}) \cdot (1 - P_{C7})
 \end{aligned}$$

Сценарий А2

$$P_{A2} = P_{B3} \cdot P_{B2}$$
$$P_{B3} = 1 - (1 - P_{C6}) \cdot (1 - P_{C7})$$
$$P_{B2} = 1 - (1 - P_{C3}) \cdot (1 - P_{C4}) \cdot (1 - P_{C5})$$

Сценарий А3

$$P_{A3} = P_{B1} \cdot P_{B2}$$
$$P_{B1} = 1 - (1 - P_{C1}) \cdot (1 - P_{C2})$$
$$P_{B2} = 1 - (1 - P_{C3}) \cdot (1 - P_{C4}) \cdot (1 - P_{C5})$$

где: P_{A1} - вероятность возникновения затора в створе по сценарию А1;

где: P_{A2} - вероятность возникновения затора в створе по сценарию А2;

где: P_{A3} - вероятность возникновения затора в створе по сценарию А3;

P_{B1} - вероятность опасного протекания ледостава;

P_{B2} - вероятность опасного вскрытия реки;

P_{B3} - вероятность опасного формирования ледостава;

P_{C1} - вероятность большой толщины льда в конце ледостава;

P_{C2} - вероятность высокой прочности льда в конце ледостава;

P_{C3} - вероятность интенсивного роста уровней воды в створе;

P_{C4} - вероятность интенсивного роста расходов воды;

P_{C5} - вероятность поступления льда с вышележащих участков;

P_{C6} - вероятность формирования высокого предледоставного уровня воды;

P_{C7} - вероятность возникновения зажоров в рассматриваемом створе.

Уровни графов, представленных на деревьях происшествий, пронумерованы сверху вниз латинскими буквами. В пределах одного уровня буквенное обозначение не изменяется.

Обсуждение

В представленных деревьях происшествий для каждого случайного события уровня С1..С7 представляется возможным по данным наблюдений выяснить закон распределения случайной величины с целью последующего ее включения в модель. При наличии сведений о прохождении заторных наводнений в створе за достаточное количество лет подобные расчеты вполне осуществимы [4]. Например, среди, рекомендованных ГОСТ Р 50.1.037-2002 «Прикладная статистика. Правила проверки опытного согласия с теоретическим. Непараметрические асимптотические критерии» критерии Крамера-Мизеса-Смирнова и Андерсона-Дарлингга могут давать надежные результаты при объеме выборочных наблюдений от 16-ти вариантов и более при проверке сложных гипотез.

Преимущества выполненного автором построения и анализа «Дерева происшествий (отказов)» заключаются в возможности определения вероятности (частоты) не только головного события - возникновения затора, но и выяснения частот событий на каждом из его уровней. Это количественные, и, следовательно, более информативные оценки. Прогноз

может быть выполнен на любом из этапов - с момента формирования ледостава до разрушения ледяного покрова.

ЛИТЕРАТУРА

1. Агафонова С.А., Фролова Н.Л. Особенности ледового режима рек бассейна Северной Двины // Водные ресурсы. 2007. №2. С. 141 - 149.
2. Аргунов П.М. Применение ГИС-технологий для комплексного использования и управления водными ресурсами рек бассейна р. Алдан // Наука и образование. 2010. №3. С. 25 - 29.
3. Галахов В.П., Кошелева Е.Д., Вагнер А.А. Предотвращение вредного воздействия вод реки Лена: оценка рисков затопления и анализ ущербов на примере города Киренска Иркутской области // Известия АО РГО. 2015. №4 (39). С. 36 - 42.
4. Ботавин Д.В., Кузнецова Ю.С., Фингерт Е.А. Формирование базы данных по водному режиму рек и русловым процессам в Ленском бассейне // Маккавеевские чтения. 2014. Географический факультет МГУ. С. 4 - 16.
5. Елфимова М.В., Мещеряков С.С. Наземный сегмент мониторинга пожаров на территории Сибирского федерального округа // Интернет-журнал «НАУКОВЕДЕНИЕ» Том 8, №4 (2016) <http://naukovedenie.ru/PDF/35TVN416.pdf> (доступ свободный). Загл. с экрана. Яз. рус., англ.
6. Кильмянинов В.В. О масштабах и прогнозах наводнений на р. Лене // Наука и техника в Якутии. 2011. №1 (20). С. 19 - 22.
7. Кулешов С.Л., Козлов Д.В. К вопросу оценки риска возникновения зимних наводнений на реках // Динамика и термика рек, водохранилищ и прибрежной зоны морей. Труды VIII Международной научно-практической конференции: в 2 томах. Москва, Российский университет дружбы народов, 2014. С. 463-468.
8. Опасные ледовые явления на реках и водохранилищах России: Монография. Козлов Д.В., Бузин В.А., Фролова Н.Л. и др. М.: РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева, 2015. 348 с.
9. Снежко В.Л. Использование геоинформационных систем для получения оценок надежности технического состояния сооружений низконапорных гидроузлов // Естественные и технические науки. 2010. №6 (50). С. 654-658.
10. Тимофеева С.С. Заторные наводнения в Иркутской области и возможности их ликвидации комбинированными методами // Безопасность в техносфере. 2015. Т. 4, №1. С. 38-44.

Kuleshov Sergey Leonidovith

Russian state agricultural university named after K.A. Timiryazev, Russia, Moscow

E-mail: 5323737@mail.ru

Probabilistic assessment of the occurrence of ice-dam floods on the rivers

Abstract. A review of studies on the forecasts of the spring jams on the rivers showed that most of the existing methods are based on empirical dependences are constructed for a specific channel. Predictions made using geographic information systems, based on building of digital elevation models and applying them to the water levels for floods of a given security.

For the first time invited to perform predictions on the basis of building a tree of events (failures) used in the theory of man-made risks. Ice floods are considered as the event that occurs when a certain combination of random factors. Events, in contrast to reliability analysis of technical systems, will be an external source of events associated with natural phenomena and their combinations. Events in assigned threat conditions of formation, development and termination of the freeze-up. On the lower levels of the tree incident located the factors influencing head of the event. Possible variants of the process described by logical operators.

On the basis of the analysis of the factors affecting the occurrence of congestion, developed scenarios of its possible occurrence. For each scenario, a tree of accidents and the theoretical formulas of the probabilities of their occurrence. The forecast may be performed based on information about the statistical characteristics of the events included in the tree incident.

Keywords: engineering hydrology; ice phenomena on the rivers; congestion; forecasts; probabilistic methods

REFERENCES

1. Agafonova S.A., Frolova N.L. Features of the ice regime of the rivers of pool of Northern Dvina river // Water resources. 2007. No. 2. P. 141 - 149.
2. Argunov P.M. Application of GIS technologies for complex use and water resources management of the rivers of the basin of the Aldan // Science and education. 2010. No. 3. P. 25 - 29.
3. Galakhov V.P., Kosheleva E.D., Wagner, A.A., Prevention of harmful effects of waters of the Lena river: risk assessment of flooding and analysis of damages by the example of the city of Kirensk in Irkutsk region // Izvestiya of JSC RGO. 2015. №4 (39). P. 36 - 42.
4. Botvin D.V., Kuznetsova Yu.S., Fingert, E.A. the Formation of a database on water regime of rivers and channel processes in the Lena basin // Makkaveisky reading. 2014. Geographical faculty of Moscow state University. P. 4 - 16.
5. Elfimova M.V., Meshcheryakov S.S. Ground segment monitoring fires in the Siberian Federal district // Internet-journal "Science of Science" Vol. 8, No. 4 (2016) <http://naukovedenie.ru/PDF/35TVN416.pdf> (access is free). Tit. screen. Yaz. eng., eng.
6. Gilmanov V.V. On the scope and projections of floods on the Lena river // Science and technics in Yakutia. 2011. No. 1 (20). P. 19 - 22.
7. Kuleshov, S.L., Kozlov D.V. To the question of assessing the risk of winter floods on the rivers Dynamics and thermal of rivers, reservoirs and coastal areas of the seas. Proceedings of the VIII International scientific-practical conference: in 2 volumes. Moscow, Russian University of friendship of peoples, 2014. P. 463-468.
8. Dangerous ice phenomena on rivers and reservoirs of Russia: Monograph. Kozlov D.V., Buzin V.A., Frolova N.L. etc. M.: Russian state agrarian University-MTAA named after K.A. Timiryazev, 2015. 348 p.
9. Snezhko V.L. the Use of geographic information systems to estimate the reliability of a technical condition of buildings, low-pressure hydrosystems // Natural and technical Sciences. 2010. No. 6 (50). P. 654-658.
10. Timofeeva S.S. ice-dam floods in the Irkutsk region and the possibility of their elimination by the combined // Safety in the technosphere. 2015. Vol. 4, No. 1. P. 38-44.