
**ПРИРОДНЫЕ
И ТЕХНОПРИРОДНЫЕ ПРОЦЕССЫ**

УДК 504;502.64

**ОЦЕНКА УЯЗВИМОСТИ ТЕРРИТОРИЙ
ДЛЯ ОПАСНЫХ ПРИРОДНЫХ ПРОЦЕССОВ
(НА ПРИМЕРЕ НАВОДНЕНИЯ)**

© 2015 г. **Е. В. Булдакова, В. Г. Заиканов, Т. Б. Минакова**

*Институт геоэкологии им. Е.М. Сергеева РАН,
Уланский пер., д. 13, стр. 2, Москва 101000 Россия. E-mail: zaikanov@geoenv.ru*

Поступила в редакцию 20.10.2014 г.

Рассматривается подход к оценке уязвимости территорий для наводнений. Приводится алгоритм операций оценки уязвимости и определен набор необходимых параметров. Базовая элементарная единица оценки уязвимости территорий – урболандшафтный участок. За интегральный показатель оценки уязвимости принимается разница показателей природно-ресурсного потенциала до и после события. Предлагаемый подход является унифицированным при оценке уязвимости для наводнения как урбанизированных, так и природных систем.

Ключевые слова: оценка уязвимости, параметры наводнения, геосистема, урболандшафтный участок, природно-ресурсный потенциал.

ВВЕДЕНИЕ

Одно из наиболее часто возникающих стихийных бедствий по сравнению с другими экстремальными природными событиями – наводнение. Оно причиняет существенный материальный и экологический ущерб. По удельному материальному ущербу наводнения уступают лишь землетрясениям.

Статистические данные Всемирной метеорологической организации о последствиях опасных природных явлений свидетельствуют о том, что за XX в. в мире во время наводнений погибло около 10 млн человек, а территории, подверженные наводнениям, на которых проживают около одного миллиарда человек, сравнимы с площадью Европы [1].

В России общая площадь земель, подвергающихся затоплениям при наводнениях, составляет более 88 тыс. км² (около 5% территории страны). Потенциальная угроза затопления существует более чем для 40 крупных городов и нескольких тысяч других населенных пунктов [12]. По материалам МЧС РФ ежегодно со 100%-ной вероятностью в Российской Федерации затопливаются около 50 тыс. км².

Многие авторы, анализирувавшие причины и последствия наводнений на территории Рос-

сии в XX в. и начале XXI в., отмечают, что в последние годы увеличилась частота опасных наводнений [16, 18]. По данным В.А. Семенова и А.А. Коршунова [16], в первые годы XXI в. повторяемость высоких и катастрофических наводнений возросла в среднем на 15%, по сравнению с последним десятилетием прошлого столетия. В августе–сентябре 2013 г. наводнение на Дальнем Востоке было самым большим по площади, тогда пострадали тысячи жителей Амурской области, Еврейской автономной области, Хабаровского края. В 2014 г. на территории Алтайского края из-за обильных проливных дождей наводнение по масштабу и интенсивности воздействия на инфраструктуру и население превзошло по размеру все ранее отмечавшиеся на этой территории за всю историю наблюдений.

Среднегодовой ущерб от наводнений в России оценивается примерно в 40 млрд руб. [20]. Однако общая сумма ущерба от наводнения на Дальнем Востоке составила 527 млрд руб. [21], а на Алтае – 11.3 млрд руб. [22].

Сокращению этих величин в перспективе может способствовать предварительная оценка уязвимости территорий для возможного наводнения.

ПОДХОДЫ К ОЦЕНКЕ УЯЗВИМОСТИ ТЕРРИТОРИЙ ДЛЯ ОПАСНЫХ ПРИРОДНЫХ ПРОЦЕССОВ

Известно, что воздействие опасных природных процессов может приводить к разрушению инженерно-технических объектов, полному или частичному уничтожению природных компонентов, ухудшению продуктивности сельскохозяйственных и лесных угодий, изменению состава флоры и фауны и в конечном итоге негативно сказываться на условиях жизнедеятельности человека. Практическим отражением уязвимости являются последствия воздействия процессов, которые зависят как от свойств самого реципиента (объект экономики, природный компонент), его способности противостоять негативным воздействиям, так и от характера и интенсивности воздействий [4, 13, 19].

В настоящее время в основном известны примеры и методики оценки ущербов от наводнений применительно только к объектам экономики. Чаще всего ущерб от наводнения определяется функцией от плотности населения и максимального уровня воды. Однако анализ данных о величине материального ущерба от наводнений в различных регионах европейской части России показал, что такая оценка ущерба в денежном выражении может быть лишь весьма приближенной: при высокой плотности населения значения ущерба будут завышены, при низкой, даже при наличии дорогостоящих инженерных сооружений – занижены [2]. Менее разработан подход к оценке ущерба от затопления, причиняемого отдельным природным компонентам и особенно территории в целом.

Для оценки уязвимости на первоначальном этапе важно определить вид и интенсивность ожидаемого наводнения и выделить границы территории – зоны его воздействия. Выбираемые для оценки параметры процесса должны отражать силу воздействия, способную привести к чрезвычайным ситуациям (ЧС), и быть приемлемыми для оценки уязвимости всех реципиентов.

В качестве наиболее унифицированной базой территориальной единицы оценки уязвимости в исследованиях авторов принята геосистема. Она, как основная единица территориального деления земной поверхности, включает природные компоненты: атмосферу, литогенную основу, поверхностные и подземные воды, почвы, растительность и животный мир, а также в ее преде-

лах могут размещаться объекты экономики [13]. В зависимости от вида геосистем последствия воздействий будут существенно различаться, несмотря на то, что состав реципиентов во всех геосистемах постоянный. При этом биотическая группа служит индикатором уровня воздействия процесса. В отличие от абиотических показателей биоиндикаторы суммируют действие биологически важных факторов. Изменения качественных и количественных характеристик растительного покрова могут быть определены в сравнении с естественным состоянием растительных сообществ.

Оценка уязвимости осуществляется для каждого объекта: здание, сооружение, авто- и железные дороги и т.д., природный компонент, геосистема, совокупность геосистем, а в итоге сложный многокомпонентный объект оценки уязвимости – территория.

Несмотря на то, что природные системы и их компоненты могут адаптироваться к часто повторяющимся наводнениям, продолжительное воздействие процесса на неустойчивую геосистему часто заканчивается ее разрушением. Инженерно-технические объекты к подобному воздействию еще более чувствительны.

В зависимости от характера воздействия наводнения его последствия будут существенно различаться между собой. Основные различия в получаемых значениях уязвимости будут связаны с параметрами затопления, в основном – с его продолжительностью. Естественно, что при катастрофическом половодье процесс затопления будет более спокойным, но наводнение более продолжительным, чем при прорыве плотины. Размеры же зон затопления могут быть одинаковыми.

ВЫБОР ПАРАМЕТРОВ И АЛГОРИТМ ОЦЕНКИ

Общий алгоритм оценки уязвимости территории для наводнения включает несколько взаимосвязанных блоков (рисунки).

В **первый блок** входят переменные: параметры процесса – скорость, глубина, продолжительность, а также границы зон затопления, определяемые с учетом гидрологических характеристик и цифровой модели рельефа. Создается предварительная картографическая модель зон затопления с их параметрами. Привлечение к моделированию геоинформационных технологий обеспечивает

создание многослойной электронной карты, в которой опорный слой – топография территории, а каждый из других – изменяемый компонент при затоплении.

Второй блок – определение операционных единиц и оценка их состояния до затопления. Поскольку в основу оценки уязвимости территории положен геосистемный принцип, в первую очередь выполняется природное районирование территории, подлежащей затоплению – поймы, в катастрофических ситуациях (при прорыве плотины) – террас [7]. Далее на основе сопряженного картографического анализа границ геосистем, функциональных зон и зон ожидаемого затопления выделяются границы территориальных оценочных единиц уязвимости – урболандшафтных участков (УЛУ) [9]. Затем проводится их типизация, в основе которой лежит изучение структуры и выявление всех составляющих УЛУ элементов (например, прирусловая пойма с лугом, тип почв и растительности, объекты экономики и т.п.).

Учитывая, что устойчивость реципиентов к затоплению в большой степени зависит от их исходного состояния и репродуктивной способности, на следующем этапе проводится анализ и оценка состояния природных компонентов каждого типа УЛУ. Приняв условие, что УЛУ находится в квазистационарном состоянии, его интегральным показателем будут численные оценки значений системообразующих факторов – ресурса. Это – природный экономический ресурс – компонент природной среды, представляющий материальную (коммерческую) ценность и используемый в технологических процессах производства продукции и услуг, а также и геосистемный ресурс, отражающий жизнеспособность УЛУ как системы. В итоге интегральным показателем может быть оценка природно-ресурсного потенциала УЛУ (B_{rm}):

$$B_{rm1} = \sum_i S_{ijm} \cdot Q_{ijm} \cdot k_{\delta i}, \quad (1)$$

где S_{ijm} – площадь i -го реципиента с j -ми параметрами в m -м УЛУ; Q_{ijm} – кадастровая стоимость i -го реципиента с j -ми параметрами в m -м УЛУ; $k_{\delta i}$ – коэффициент приведения к годовой размерности стоимостной оценки i -го реципиента.

Таким образом, этот блок включает подблоки на входе – параметрические описания исходного состояния отдельных типов УЛУ, вычислитель-

ный подблок – расчет оценки исходного состояния УЛУ, на выходе – результаты оценки исходного состояния (оценка природно-ресурсного потенциала).

Наиболее сложный этап – оценка ожидаемых изменений состояния отдельных природных компонентов и объектов экономики при их затоплении (**третий блок**). Реакция различных реципиентов в пределах одного УЛУ на воздействие процесса с конкретными параметрами будет неодинаковой, так как для различных природных компонентов и объектов экономики приоритетным окажется тот или иной параметр наводнения. Вид и масштабы последствий наводнения зависят от параметров воздействующего процесса. Так, разрушение объекта экономики и гибель деревьев зависит главным образом от силы удара волны (скорости и высоты волны), гибель урожая на полях – от продолжительности затопления и т.д. Поэтому целесообразно разделить последствия как минимум на две категории: *деградация* (например, непродолжительное затопление поймы вызывает повреждение и задержку роста растений) и *уничтожение* (гибель) природных компонентов (например, длительное застаивание воды приводит к полной гибели растений и др.); для объектов экономики, соответственно – *деформация* (повреждение) и *разрушение*.

Заключительная операция в третьем блоке – вычисление оценки измененного состояния УЛУ по формуле (1), но с учетом снижения стоимостных показателей пропорционально сокращению количества и ухудшению свойств (качества) реципиентов в зоне затопления. На выходе – результаты оценки измененного природно-ресурсного потенциала по каждому УЛУ в зоне затопления (B_{rm2}). При этом природно-ресурсный потенциал оценивается с привлечением нормативных стоимостных величин [8]. После затопления территории, когда очень сложно рассчитывать его таким же путем, стоимостные оценки в зависимости от характера и степени изменения состояния отдельных природных компонентов можно устанавливать путем введения поправочных коэффициентов или привлечения величин затрат, необходимых для возврата данного компонента в исходное или близкое к первоначальному состояние.

Пример сочетания структуры реципиентов, натуральных показателей и поправочных коэффициентов применительно к одному из УЛУ модельной территории отражен в таблице.

Данные для расчета последствий затопления одного УЛУ в долине р. Клязьма*

Параметры затопления <i>m</i> -го УЛУ (поймы прирусловой)	Показатели	Реципиенты			
		Зеленые насаждения в малоэтажной застройке	Дачные участки	Леса	Огороды
Глубина затопления 6 м, скорость 3 м/с, продолжительность 2 суток	Площадь, га	0.2	1.2	4.9	1.2
	Кадастровая стоимость реципиента, руб./м ²	496	896	283	471
	k_1 – доля озеленения дворовой территории	0.25	0.7	1	1
	k_2 – доля площади с деградацией	0.5	0.7	0.4	0.5
	k_3 – доля площади с гибелью	–	0.2	0.15	0.2
	k_4 – доля потери стоимости в результате деградации	0.7	0.7	0.7	0.5
	k_5 – доля потери стоимости в результате гибели	–	1	1	1
k_6 – коэффициент приведения к годовой размерности	0.03	0.03	0.03	0.07	
k_7 – коэффициент продолжительности затопления	2	2	2	2	

* Значения натуральных показателей площадей снимаются с карты функционального зонирования территории в границах данного УЛУ; при определении значений коэффициентов использованы нормативные документы и литературные источники [3, 5, 6, 10, 11, 13–18].

Предлагаемый подход обеспечивает сопоставимость оценок природно-ресурсного потенциала любых систем, несмотря на значительные различия в их структуре и характере использования.

Четвертый блок – оценка последствий негативного воздействия наводнения, измеряемых величиной экономического ущерба, которую можно определить как разницу природно-ресурсного потенциала до и после затопления. Таким образом, сущность оценки уязвимости различных геосистем состоит в сравнении исходного состояния отдельных природных компонентов и объектов экономики – с изменениями, произошедшими в результате воздействия процесса.

В случаях, когда очень сложно осуществить расчет по формуле (1), расчет ущерба может проводиться по стоимости затрат на стабилизацию состояния геосистем, по объемам страхования, инвестициям в надежность инфраструктуры, а также путем введения соответствующих коэффициентов.

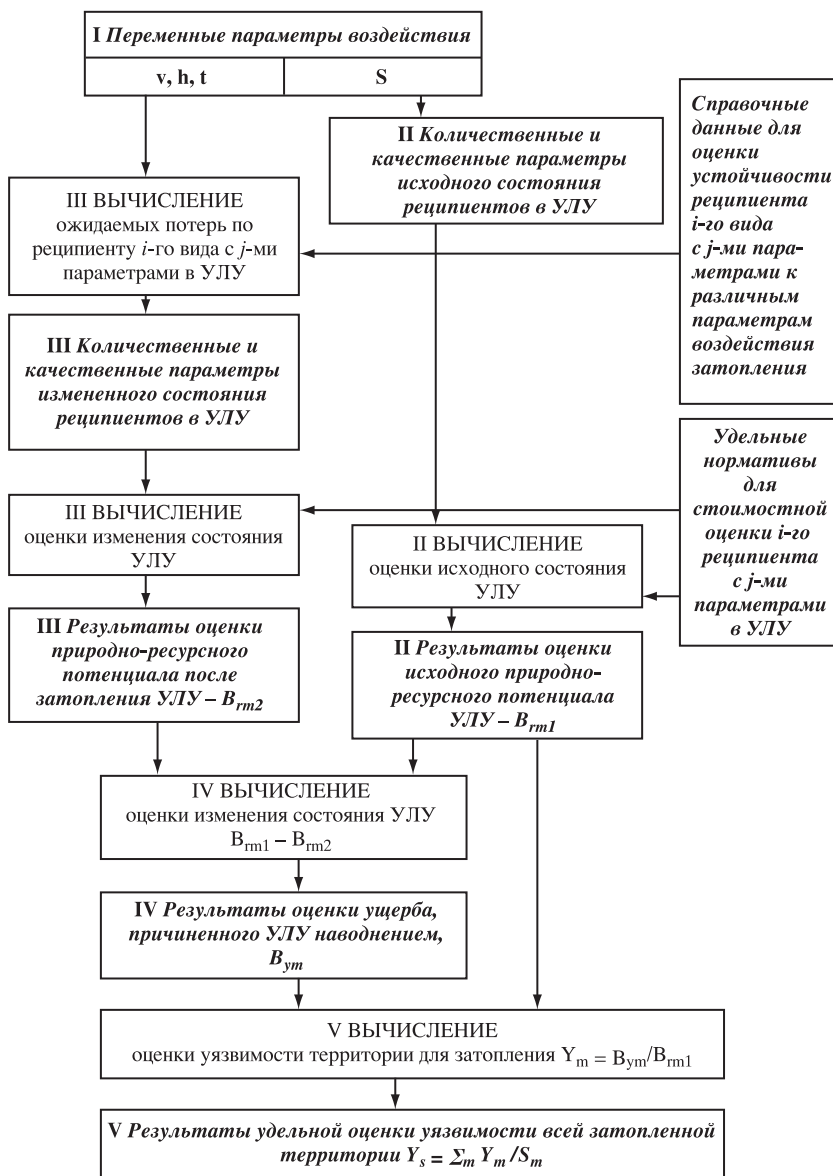
Такие коэффициенты должны отражать долю потерь (или улучшения) от оценки исходного состояния с учетом устойчивости реципиентов к затоплению и способности к адаптации и восстанов-

лению. Значения этих коэффициентов опираются на выявленные закономерности во взаимосвязи между отдельными природными компонентами, а также между природными компонентами и объектами экономики. Поправочные коэффициенты должны быть самостоятельными применительно к площадным и стоимостным величинам.

В таком варианте значение экономического ущерба, причиненного затоплением геосистеме – УЛУ (B_{ym}) предлагается определять по выражению:

$$B_{ym} = \sum_i (S_{im} k_{1i} k_{2im} Q_{ijm} k_{4im} k_{6im} + S_{im} k_{1i} k_{3im} Q_{im} k_{5im} k_{6i}) k_{7m}, \quad (2)$$

где S_{im} – площадь i -го реципиента с j -ми параметрами в m -м УЛУ; Q_{ijm} – кадастровая стоимость i -го реципиента с j -ми параметрами в m -м УЛУ; k_{1i} – коэффициент внутриквартального озеленения в i -м реципиенте; k_{2im} и k_{3im} – коэффициенты площади, подвергшейся соответственно деградации или гибели i -го реципиента с j -ми параметрами в m -м УЛУ; k_{4im} и k_{5im} – коэффициенты экономических потерь соответственно в зависимости от степени деградации или гибели i -го реципиента с j -ми параметрами в m -м УЛУ; k_{6i} – коэффициент



Алгоритм оценки уязвимости территории для воздействия наводнения.

приведения к годовой размерности стоимостной оценки *i*-го реципиента; k_{7m} – коэффициент продолжительности затопления *m*-го УЛУ.

Основные различия в получаемых значениях уязвимости будут связаны с характером затопления, в основном – с его продолжительностью. Отсюда существенна роль коэффициента продолжительности затопления.

Пятый блок включает вычисление оценки уязвимости каждой геосистемы (УЛУ) и всей затопленной территории.

Вид и масштабы последствий наводнения зависят от высоты и продолжительности стояния опасных уровней воды, скорости водного потока,

площади затопления, сезона, плотности населения и интенсивности хозяйственной деятельности на затопленной местности. Реакция различных реципиентов в пределах одного УЛУ на воздействие наводнения с конкретными параметрами будет неодинаковой, так как для различных природных компонентов и объектов экономики приоритетным окажется тот или иной параметр затопления. Поэтому основой определения уязвимости урбанизированной территории будет не столько анализ формирования самого процесса, сколько оценка последствий его воздействия на различные реципиенты (объекты экономики и природные компоненты) с учетом взаимодействия последних друг с другом.

Величина оценки ожидаемых последствий наводнения отражает уязвимость территории (Y_m) – чем больше ущерб, тем уязвимее территория:

$$Y_m = B_{ym}/B_{rml}. \quad (3)$$

Особенности оценки уязвимости урбанизированной территории – многообразие сочетаний реципиентов в зоне воздействия наводнения. Синергизм взаимодействий множества факторов в сложных УЛУ, дополняемых внешним воздействием на них наводнения, обуславливает необходимость рассмотрения большого количества возможных сценариев реакции реципиентов на такое воздействие, даже при одном его виде с заданными параметрами.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Предварительная оценка уязвимости подлежащей затоплению территории обеспечит снижение ущерба от наводнения за счет принятия превентивных мер. При этом она должна проводиться по нескольким сценариям в зависимости от ожидаемых параметров возможного воздействия, как переменных, так и постоянных (на определенный момент времени).

Последствия негативного воздействия наводнения, измеряемые величиной экономического ущерба, предлагается определять как разницу показателей оценки природно-ресурсного потенциала до и после затопления. Эта величина отражает уязвимость территории: чем больше ущерб, тем уязвимее территория. Чем дальше территория от источника воздействия, тем значение ее уязвимости меньше. Выполненные расчеты уязвимости УЛУ на модельной территории показали, что она изменяется от 0.91 на прирусловой пойме до 0.01 на террасе, покрытой лесом.

В целях совершенствования защиты населения и территорий от наводнений необходимо формирование территориальной системы мониторинга наводнений, а также разработка единой системы оценки экономических потерь от наводнений.

Исследования выполнены в рамках ФЦП «Снижение рисков и смягчение последствий чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера в Российской Федерации до 2015 года».

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Авакян А.Б., Истомина М.Н. Наводнения в мире в последние годы XX в. // Водные ресурсы. 2000. Т. 27. № 5. С. 469–475.
2. Арефьева О.Н., Бельчиков В.А., Борщ С.В. и др. Методы прогноза возможного ущерба от наводнений (на примере Московской области) // Природные опасности России. Гидрометеорологические опасности. М.: Изд-во «Крук», 2001. С. 51–57.
3. Бузмаков С.А., Овеснов С.А., Шепель А.И., Зайцев А.А. Методические указания “Экологическая оценка состояния особо охраняемых природных территорий регионального значения” // Географический вестник. 2011. 2(17). С. 49–59.
4. Бурова В.Н., Заиканов В.Г., Заиканова И.Н., Минакова Т.Б. и др. Подходы к оценке уязвимости объектов экономики и территорий при возникновении ЧС природного характера // Проблемы снижения природных опасностей и рисков. Матер. Междунар. научно-практ. конф. “Геориск-2012”. М.: РУДН, 2012. Т. 1. С. 284–291.
5. Временная методика определения экономической эффективности затрат в мероприятия по охране окружающей среды // Эффективность капитальных вложений: Сб. утвержденных методик. М.: Экономика, 1983. С. 73–125.
6. Даниленко О.К., Угрюмов Б.И., Яремчук Р. Влияние затопления Богучанского водохранилища на продуктивность древостоев береговой полосы // Междунар. научно-тех. конф.: сб. науч. тр. / Брянская гос. инжен.-технол. акад. Брянск, 2007. Вып. 17. С. 129–132.
7. Заиканов В.Г., Минакова Т.Б. Геоэкологическая оценка территорий. М.: Наука, 2005. 319 с.
8. Заиканов В.Г., Минакова Т.Б. Методические основы комплексной геоэкологической оценки территории. М.: Наука, 2008. 81 с.
9. Заиканов В.Г., Минакова Т.Б., Булдакова Е.В. Подходы к геоэкологическому картографированию регионов // Геоэкология. 2013. № 6. С. 560–571.
10. Критерии оценки экологической обстановки территорий для выявления зон чрезвычайной экологической ситуации и зон экологического бедствия (утв. Минприроды РФ 30 ноября 1992 г.) М.: Минприроды России, 1992. 64 с.
11. Макаревич В.Н. Несколько наблюдений над сухопутными растениями в зоне подтопления и периодического затопления Рыбинским водохранилищем // Ботанический журн. 1956. № 11. С. 17–52.
12. Малик Л.К. Факторы риска повреждения гидротехнических сооружений. Проблемы безопасности. М.: Наука, 2005. 354 с.
13. Осипов В.И., Бурова В.Н., Заиканов В.Г., Минакова Т.Б. Основы оценки уязвимости территорий для опасных природных процессов, определяющих чрезвычайные ситуации (принципы и методические подходы) // Геоэкология. 2015. № 3. С. 195–203.
14. Оценка состояния и устойчивости экосистем. М.: ВНИИприрода, 1992. 128 с.

15. Рыбальский Н.Г., Малярова М.А., Горбатовский Б.Б., Рыбальская В.Ф. и др. Экология и безопасность. Т. II. Экологическая безопасность. Ч. 1 / Под ред. Н.Г. Рыбальского. М.: ВНИИПИ, 1993. 293 с.
16. Семенов В.А., Кориунов А.А. Наводнения на реках России в конце XX и начале XXI столетий // Вопросы географии и геоэкологии. 2006. Вып. 5. С. 6–12.
17. Справочник проектировщика. Градостроительство. М.: Стройиздат, 1978. 367 с.
18. Хамитов Р.З., Борщ С.В. Экстремальные наводнения в России и связанные с ними проблемы прогнозирования и управления // Тез. докл. науч. конф. “Экстремальные гидрологические явления: новые концепции для практики”. Новосибирск, 2005. 51 с.
19. Minakova T.B., Buldakova E.V., Buldakov A.V., Savisko I.S. Vulnerability assessment for natural hazards to protective measures // Int. conf. Natural Hazards – Links between Science and Practice. Belgrade October 8–11th/ Natural disasters journal of the geographical institute Serbian Academy of Sciences and Arts. Special issue. 2013. V. 63. № 3. P. 175–182.
20. <http://itar-tass.com/proisshestiya/662522>
21. <http://stormnews.ru/archives/5771>
22. <http://www.amic.ru/news/273864/>

ASSESSMENT OF AREA VULNERABILITY TO NATURAL HAZARDS (BY THE EXAMPLE OF FLOODS)

E. V. Buldakova, V. G. Zaikanov, T. B. Minakova

*Sergeev Institute of Environmental Geoscience, Russian Academy of Sciences,
Ulanskii per. 13, bld. 2, Moscow, 101000 Russia. E-mail: zaikanov@geoenv.ru*

An approach for the assessment of vulnerability to flood is discussed. An algorithm for assessing vulnerability is suggested and a set of required parameters is defined. An urbolandscape site is taken as basic elementary unit for assessment of area vulnerability. The difference in the indices of natural resource potential before and after the event is taken as an integral parameter of vulnerability assessment. The proposed approach may be used for assessing vulnerability to flooding both in urban and natural systems.

Keywords: *vulnerability assessment, flood parameters, geosystem, urbolandscape site, natural resource potential.*