

УДК 628.39

**В. Е. Левкевич<sup>2</sup>, Г. И. Касперов<sup>1</sup>, У. В. Зязюля<sup>1</sup>,**<sup>1</sup> Белорусский государственный технологический университет<sup>2</sup> Белорусский национальный технический университет**ПРИМЕНИМОСТЬ МЕТОДОВ ОЦЕНКИ РИСКА ВОЗНИКНОВЕНИЯ  
ЧРЕЗВЫЧАЙНЫХ СИТУАЦИЙ ДЛЯ ВОДОЕМОВ КАРЬЕРНОГО ТИПА**

В статье приведены результаты научных исследований по заданию 3.1.33 «Разработать комплексную оценку влияния карьерных водоемов на безопасность эксплуатации карьеров в местах добычи полезных ископаемых» ГПНИ «Информатика, космос и безопасность», подпрограмма «Научное обеспечение безопасности человека, общества и государства».

Международный и отечественный опыт в области обеспечения безопасности опасных объектов, в том числе и водоемов карьерного типа, связан с разработкой методик, позволяющих оценивать и прогнозировать современные опасные геодинамические процессы, имеющие место на карьерных водоемах, которые могут приводить к риск-ситуации и человеческим жертвам. Разработка методов прогнозирования и моделирования их интенсивности и масштабов с оценкой возможного риска на основе данных натурных исследований является актуальной и важной задачей.

Приведены и проанализированы разные подходы исследователей к концепциям, количественным и качественным характеристикам терминов «риск» и «оценка риска». Рассматривая водные объекты с позиции сложных природно-технических систем, исследователи отмечают, что риск аварий на таких объектах существует всегда и определенный уровень риска заложен в нормы их безопасности. Авторы подчеркивают, что важно знать, какой уровень риска или безопасности приемлем и обеспечивает достижение максимальной выгоды при минимальной опасности.

**Ключевые слова:** риск, водоем, карьер, опасность, безопасность, чрезвычайные ситуации.

**Для цитирования:** Левкевич В. Е., Касперов Г. И., Зязюля У. В. Применимость методов оценки риска возникновения чрезвычайных ситуаций для водоемов карьерного типа // Труды БГТУ. Сер. 1, Лесное хоз-во, природопользование и перераб. возобновляемых ресурсов. 2021. № 2 (246). С. 306–312.

**V. Ye. Levkevich<sup>2</sup>, G. I. Kasperov<sup>1</sup>, U. V. Zyazyulya<sup>1</sup>**<sup>1</sup> Belarusian State Technological University<sup>2</sup> Belarusian National Technical University**APPLICABILITY OF THE METHODS FOR THE ASSESSMENT  
OF EMERGENCY RISKS AT QUARRY LAKES**

The article presents the results of scientific research on task 3.1.33 “To develop integrated parameters for the assessment of quarry lakes impact on quarries operations safety at mining locations” conducted within the subprogram “Scientific support of human, society and state safety and security” of the State Research Program “Informatics and Space, Scientific Basis for Safety and Emergency Control”.

International and domestic experience in the field of the of hazardous facilities (incl. quarry lakes) safety control, includes the development of methods that allow to assess and predict modern hazardous geodynamic processes in quarry lakes, which can lead to risk situations and fatalities. The development of methods for forecasting and modelling these processes intensity and scale with possible risk assessment based on field research data is an urgent and important task.

Various approaches of researchers on the concepts, quantitative and qualitative characteristics of the term “risk” and “risk assessment” are presented and analysed. Considering water bodies as complex natural and technical systems, the researchers note that the risk of accidents at such facilities always exists and a certain level of risk is embedded in their safety standards. The authors emphasize that it is important to know what level of risk or safety is acceptable and ensures that the maximum benefit is achieved with the minimum danger.

**Key words:** risk, water body, quarry, danger, safety, emergency.

**For citation:** Levkevich V. Ye., Kasperov G. I., Zyazyulya U. V. Applicability of the methods for the assessment of emergency risks at quarry lakes. *Proceedings of BSTU, issue 1, Forestry. Nature Management. Processing of Renewable Resources*, 2021, no. 2 (246) pp. 306–312 (In Russian).

**Введение.** Добыча полезных ископаемых открытым способом приводит к образованию горных выработок различной глубины и конфигурации. При эксплуатации горных выработок глубиной 50 м и более под воздействием различных гидрогеологических, геологических и гидрологических факторов происходит изменение качественных и количественных характеристик прилегающей территории. Одной из причин, характерных для всех карьеров, является образование карьерных водоемов, затрудняющих разработку ресурсов, приводящих к развитию риск-ситуаций. Необходимость прогнозирования влияния водоемов на безопасную эксплуатацию карьеров, а также предполагаемых изменений структуры ландшафтов после прекращения работ по водоотливу (при его наличии) требует дополнительных расчетов и оценок возможных экологических рисков с учетом сложившихся горнотехнических, геологических и гидрогеологических условий, а также техногенных факторов.

Предупреждение возникновения рисков, связанных с появлением карьерных водоемов может базироваться на современных методах прогнозирования процессов, их моделирования с использованием численных методов, а также возможностей ГИС-технологий.

В настоящий момент в Республике Беларусь отсутствует методика, позволяющая оценивать и прогнозировать современные опасные геодинамические процессы, имеющие место на карьерных водоемах, которые могут приводить к риск-ситуации и человеческим жертвам. Разработка методов оценки деформаций откосов под воздействием природно-техногенных факторов, а также прогнозирование и моделирование их интенсивности и масштабов с оценкой воз-

можного риска на основе данных натуральных исследований является актуальной и важной задачей.

До настоящего времени отсутствует опыт моделирования устойчивости откосов карьерных водоемов с прогнозированием риск-ситуаций, обусловленных изменением гидрологических, гидрогеологических, ландшафтно-геохимических условий территории в процессе добычи полезного ископаемого, а также после окончания выработки.

**Основная часть.** При любом способе добычи полезных ископаемых происходит значительная выемка пород и их перемещение, что отрицательно влияет на природную среду. Первичный рельеф заменяется техногенным, что ведет к возрастанию экологического риска. Открытый способ добычи полезных ископаемых имеет свою специфику. Значительные разрушения земной поверхности и существующая технология добычи полезных ископаемых приводят к тому, что карьер, дробильно-обогачительные комплексы и другие промышленные объекты в той или иной степени являются источниками разрушения и загрязнения окружающей среды. При карьерных разработках риск возникновения опасных процессов связан с техногенными воздействиями и с активизацией различных физических, химических, геологических и гидрогеологических процессов [1].

По литературным данным, а также базе Минприроды установлено, что в Беларуси эксплуатируется более двух тысяч карьеров (табл. 1) из них 63 единицы – это промышленные карьеры с большой глубиной выработки (более 20 м) и возможным образованием карьерных водоемов, затрудняющих эксплуатацию объектов [2, 3].

Таблица 1

Карьеры строительных материалов Беларуси

Область	Общее кол-во карьеров	Площадь, га	Промышленные карьеры		
			Полезное ископаемое	Кол-во карьеров	Площадь, га
Брестская	482	829	ПГС, песок, гравий, камень, глина, мел	72	375
Витебская	390	958	ПГС, песок, глина, доломит	89	772
Гомельская	371	1041	ПГС, песок, гравий, камень, глина, керамзит	64	753
Гродненская	364	1410	ПГС, песок, глина, мел, сопропели	103	1047
Минская	386	895	ПГС, песок, глина, мел, ГПС, ГПМ	88	712
Могилевская	258	1146	ПГС, песок, глина, мел, маргель	52	912
<i>Всего</i>	2251	6279		468	4571

Существуют различные трактовки и определения терминов «риск» и «оценка риска» как в отечественной, так и зарубежной литературе. По мнению Г. Л. Коффа и И. В. Чесноковой [4], в буквальном переводе «риск» означает принятие решения, результат которого неизвестен и может быть небезопасен.

Первой концепцией, в соответствии с которой осуществлялось обеспечение безопасности и определение риск-ситуаций, являлась концепция так называемого «оправданного риска» (ALARA – as low as practically achievable) [5]. Согласно этой концепции, при наличии любого уровня риска его необходимо уменьшить до нулевого значения. Однако не всегда снижение риска до нулевого уровня является целесообразным и возможным. Этот момент нашел свое отражение в концепции «приемлемого риска» (ALARA – as low as reasonable achievable), к которой перешли многие страны с 70-х гг. XX века [6]. Согласно данной концепции, следует принимать во внимание только те риски, сокращение которых целесообразно по экономическим или социальным причинам [6, 7].

Как отмечают Г. Л. Кофф и И. В. Чеснокова [4], риск является событием с отрицательными, особо невыгодными последствиями, которые возможно наступят в будущем в какой-то момент в неизвестных размерах. По мнению данных исследователей, содержание риска и степень вероятности риска определяют и границы страховой защиты. Г. А. Моткин [8] рассматривает многообразие определений – от понятия риска как вероятности до определения его как вида возможных потерь. При анализе работ В. Маршала, В. А. Еременко, И. В. Сутокского, Ю. Л. Муромева, Б. В. Гидаспова, С. Д. Бешелева, Г. С. Потехина, С. А. Айвазяна, И. Барда, Ш. Зака, М. Де Грота, В. И. Васильева, Е. Дж. Хенли необходимо остановиться на определении, предложенном В. Г. Горским, В. А. Акимовым, Н. Н. Радаевым, В. В. Лесных, поскольку они рассматривают риск как двумерную величину, включающую и вероятность наступления нежелательного случайного события, и связанные с этим событием потери [6].

Рассмотрение риска как гипотетической возможности наступления ущерба предложено в работе [9], где утверждается, что риск реализуется и приобретает конкретные очертания только через ущерб. По мнению авторов [10], риск может измеряться абсолютной величиной потерь, затратами на снижение до приемлемого уровня, тяжестью (восполнимостью ущерба).

В соответствии с точкой зрения А. Л. Рогозина [11, 12], рассматриваемое понятие включает в себя три составляющих: вероятность возникновения неблагоприятного события, возможный

ущерб, нанесенный этим событием, и произведение вероятности негативного события и размеров ожидаемого ущерба.

В работах В. Г. Горского, Г. А. Моткина, Т. Н. Швецово-Шиловской, В. Е. Курочкина, Ю. Л. Воробьева, В. А. Акимова, В. В. Лесных, Н. Н. Радаева риск рассматривается с двух позиций: объективной и субъективной. Объективное существование риска авторы связывают с вероятностной сущностью многих процессов, которые образуют сложные системы. Функционирование и развитие данных систем основывается на статистических вероятностных законах. В данном контексте понятие «риск» выступает как синоним понятия «опасность» [7, 8]. Однако данный подход не может быть применим ко всем сложным системам.

Рассматривая с данной позиции водохранилища как сложные природно-технические системы, в работах А. М. Трофимова, В. М. Котлякова и др. [13, 14] отмечается, что риск аварий на водных объектах существует всегда и определенный уровень риска заложен в нормы их безопасности. Авторы подчеркивают, что важно знать, какой уровень риска или безопасности приемлем и обеспечивает достижение максимальной выгоды при минимальной опасности. Субъективная сторона риска связана, прежде всего, с существованием человеческого фактора. Если человек решил возводить опасные гидродинамические объекты, то в первую очередь он должен понимать, что подвергает себя и других людей определенной степени риска.

Наиболее подробно толкование термина «риск чрезвычайных ситуаций» применительно к повреждению гидротехнических сооружений представлено в работе Л. К. Малик [15]. Для применения данного термина к опасным гидродинамическим объектам Республики Беларусь были выделены три группы определений, которые характеризуют отношение различных исследователей к данной проблеме (табл. 2).

В первую группу относятся определения, которые рассматривают «риск» с точки зрения страхования от проявления его негативных процессов [4, 8, 9].

Ко второй группе относятся определения, которые под термином «риск» понимают только величину ущерба от проявления негативных последствий либо вероятность наступления неблагоприятных факторов чрезвычайных ситуаций [4, 6, 9, 10].

В третью группу были отнесены определения, которые включают в себя две и более составляющих: вероятность наступления неблагоприятных факторов, возможный ущерб от их проявления либо произведение вероятности на возможный (ожидаемый) ущерб [11, 12].

Таблица 2

## Существующие определения термина «риск возникновения чрезвычайных ситуаций»

Автор определения	Группа	Основные составляющие определений
Кофф Г. Л., Чеснокова И. В. Моткин Г. А.	I	Возможность наступления страховых отношений
Шаликовский А. В.		Сокращение вероятности возникновения или уменьшения возможного ущерба
Ретман Л. И., Шахов В. В., Рудницкий В. В., Валдайцев С. В., Соловьева С. А., Новосельцев В. Н. и др.		Опасность неблагоприятного исхода на одно ожидаемое явление
Чеснокова И. В., Лихачева Э. Л.	II	Ущерб от реализации неблагоприятных событий
Курбатова А. С., Мягков С. М., Шныпарков А. Л.		Абсолютная величина потерь, затраты на снижение до приемлемого уровня риска
Алексеевский Н. И., Антонова М. М.		Величина потенциальных ущербов отдельных опасных процессов
Прохорова Н. Б., Поздина Е. А., Шаляпина И. Л., Андрианова Л. А.		Вероятность наступления событий, вызванных негативным действием воды
Воробьев Ю. Л., Локтионов Н. И., Фалеев М. И.		Вероятность наступления неблагоприятного события
Альмов В. Т., Тарасова Н. П.		Возможная опасность потерь
Хохлов Н. В.		Событие или группа событий, наносящих ущерб объекту
Кофф Г. Л., Чеснокова И. В.		Гипотетическая возможность наступления ущерба
Чернова Г. В., Кудрявцев А. А.		Возможность неблагоприятного исхода случайного события
Маршал В., Еременко В. А., Зак Ш., Сутокский И. В., Муромуев Ю. Л., Гидаспов Б. В., Бешелев С. Д., Потехин Г. С., Айвазян С. А., Бард И., Де Грот М., Васильев В. И., Хенли Е. Дж., Горский В. Г., Моткин Г. А., Курочкин В. Е.		III
Рогозин А. Л.	Вероятностная мера опасности и возможных потерь за определенное время	
Трофимов А. М., Котляков В. М., Селиверстов Ю. П., Зайнуллина А. Р.;	Вероятность (частота) появления неблагоприятных событий на величину возможного ущерба	
Воробьев Ю. Л.	Вероятность неблагоприятного события и объем этого события (потери, ущерб, убытки)	
Акимов В. А., Новиков В. Д., Радаев Н. Н.	Возможность того, что человеческие действия или результаты его деятельности приведут к последствиям, которые воздействуют на человеческие ценности	
РД 03-418-01	Возможность возникновения аварии и тяжесть ее последствий	
Лепихин А. П.	Вероятность реализации аварийных ситуаций и возможный ущерб при ее реализации	
Розанов Н. Н., Волохова М. Н., Муратова Л. Н., Тейтельбаум А. И.	Интегральные показатели риска, вероятностная мера опасности в виде возможных потерь	
ГОСТ Р 51901–2002	Вероятность неблагоприятного события и его последствий	
Воробьев Ю. Л., Локтионов Н. И., Фалеев М. И.	Вероятность наступления нежелательного события и связанные с ним потери	
РД 03-418-01	Мера опасности, характеризующая возможность возникновения аварии и тяжесть ее последствий	
Владимиров В. А., Измалков В. И., Измалков В. А.	Вероятность возникновения аварии и величина ущерба от нее	

Под термином «оценка риска чрезвычайных ситуаций» подразумевается произведение вероятности возникновения (наступления) неблагоприятных событий и связанных с данными событиями отрицательных последствий (ущерб). Формулировка данного термина также была предложена А. Л. Рогозиным [11, 12], А. М. Трофимовым [13, 14] и Л. К. Малик [15].

**Заключение.** В результате проведенного анализа литературных и научных публикаций по существующим подходам к определениям термина «риск возникновения чрезвычайных ситуаций» установлено, что:

– проявление современных геодинамических процессов и недоучет возможности их возникновения, как показывает практика, может приводить к возникновению чрезвычайных ситуаций и рисков с человеческими жертвами и значительными материальными ущербами;

– значительная глубина выработки карьеров от 10 м и более приводит к нарушению

гидрогеологического режима территории и ведет к образованию карьерных водоемов значительных линейных размеров [16];

– образование водоемов карьерного типа затрудняет добычу полезных ископаемых, приводит к нарушению устойчивости откосов (бортов) карьерных водоемов, а в ряде случаев к развиту поверхностной овражной эрозии, осыпанию (при несвязных грунтах) и оползанию склонов в связных породах [16];

– анализ научных работ, связанный с определением термина «риск возникновения чрезвычайных ситуаций», оценкой и прогнозированием риск-процессов, показал, что наиболее приемлемыми и соответствующими условиям Республики Беларусь являются методы, изложенные в работах А. Л. Рогозина. [11, 12] и Л. К. Малик [11, 12]. Такой вывод позволяет заключить, что данные предложения следует рекомендовать для практического использования в условиях нашей республики.

### Список литературы

1. Экологическая и промышленная безопасность при освоении месторождений полезных ископаемых государств-участников СНГ. Исполнительный комитет СНГ. М., 2014. 42 с.
2. Современная динамика рельефов Беларуси: монография / под. ред А. В. Матвеева. Минск: Навука і тэхніка, 1991. 102 с.
3. Отчет о НИР: «Разработать и внедрить комплексный подход восстановления нарушенных экосистем в местах добычи полезных ископаемых» / М. А. Ерьсько [и др.]. Минск: БелНИЦ «Экология», 2017. 125 с.
4. Кофф Г. Л., Чеснокова И. В. Информационное обеспечение страхования от опасных природных процессов (на примере землетрясений). М.: ПОЛТЕКС, 1998. 102 с.
5. Егоров А. Ф., Савицкая Т. Ф. Управление безопасностью химических производств на основе новых информационных технологий. М.: Химия; Колос С, 2004. 416 с.
6. Акимов В. А., Лесных В. В., Радаев Н. Н. Основы анализа и управления риском в природной и техногенной сферах. М.: Деловой экспресс, 2004. С. 12–17.
7. Хохлов Н. В. Управление риском. М.: Юнити, 1999. 142 с.
8. Моткин Г. А. Основы экологического страхования. М.: Наука, 1996. 192 с.
9. Котляков В. М. Стихийные природные процессы: страхование их последствий // Стихийные природные процессы: географические, экологические и социально-экономические аспекты. М.: НЦ ЭНАС, 2002. С. 68–73.
10. Курбатова А. С., Мягков С. М., Шныпарков А. Л. Природный риск для городов России. М.: НИиПИ экологии города, 1997. 240 с.
11. Рогозин А. В. Десятилетие анализа природных рисков России: прошлое, настоящее, будущее // Оценка и управление природными рисками: материалы Общерос. конф. «Риск – 2000». М., 2000. С. 206–210.
12. Рогозин А. В. Современные методы и проблемы количественной оценки и управления природными рисками // Оценка и управление природными рисками: материалы Всерос. конф. «Риск – 2003». М.: Изд-во Российского университета дружбы народов, 2003. Т. 1. С. 350–354.
13. Основные подходы к решению проблемы риска / А. М. Трофимов [и др.] // Известия РГО. 1999. Т. 131, вып. 4. С. 1–8.
14. Социально-экономическая концепция приемлемого риска / А. М. Трофимов [и др.] // Известия РГО. 2000. Т. 132, вып. 3. С. 22–28.
15. Малик Л. К. Факторы риска повреждения гидротехнических сооружений. Проблема безопасности. М.: Наука, 2005. 354 с.
16. Разработать комплексную оценку влияния карьерных водоемов на безопасность эксплуатации карьеров в местах добычи полезных ископаемых: отчет о НИР (заключ.); рук. темы Г. И. Касперов. Минск, 2020. 192 с. ГР № 20192245.

## References

1. *Ekologicheskaya i promyshlennaya bezopasnost' pri osvoyenii mestorozhdeniy poleznykh iskopayemykh gosudarstv-uchastnikov SNG. Ispolnitel'nyy komitet SNG* [Environmental and industrial safety in the development of mineral deposits of the CIS member states. CIS Executive Committee]. Moscow, 2014. 42 p.
2. Matveyev A. V., Nechiporenko L. A., Pavlovskii A. I., Sachek G. I., Zernitskaia E. A., Krutous L. A., Mastiulin L. A., Makhnach N. A., Simakova G. I., Shishonok I. A., Volskaia L. S., Komysenko G. A., Korsakova O. P., Levkevich V. E. *Sovremennaya dinamika rel'yefov Belarusi* [Modern dynamics of the relief of Belarus]. Minsk, Navuka i tekhnika Publ., 1991. 102 p.
3. Eresko M. A., Putiatin U. V., Levkevich V. E., Burak V. M., Makarevich N. V., Zaripov T. I., Chernushevich M. V., Bautrel E. V., Avkhimovich A. N., Volakhanovich M. U., Golubovich M. P., Buuzuk A. V., Mikanovich D. S. *Razrabotat' i vnedrit' kompleksnyy podkhod vosstanovleniya narushennykh ekosistem v mestakh dobychi poleznykh iskopaemykh* [Research report: "To develop and implement an integrated approach to the restoration of disturbed ecosystems in places of mining"]. Minsk, BelNITS "Ekologiya", 2017. 125 p.
4. Koff G. L., Chesnokova I. V. *Informatsionnoye obespecheniye strakhovaniya ot opasnykh prirodnykh protsessov (na primere zemletryaseniya)* [Information support of insurance against dangerous natural processes]. Moscow, POLTEKS Publ., 1998. 102 p.
5. Yegorov A. F., Savitskaya T. F. *Upravleniye bezopasnost'yu khimicheskikh proizvodstv na osnove novykh informatsionnykh tekhnologiy* [Chemical production safety management based on new information technologies]. Moscow, Khimiya Publ.; Kolos S Publ., 2004. 416 p.
6. Akimov V. A., Lesnykh V. V., Radayev N. N. *Osnovy analiza i upravleniya riskom v prirodnoy i tekhnogennoy sferakh* [Fundamentals of risk analysis and management in the natural and man-made spheres]. Moscow, Delovoy ekspress Publ., 2004. 64 p.
7. Khokhlov N. V. *Upravleniye riskom* [Risk management]. Moscow, Yuniti Publ., 1999. 142 p.
8. Motkin G. A. *Osnovy ekologicheskogo strakhovaniya* [Fundamentals of environmental insurance]. Moscow, Nauka Publ., 1996. 192 p.
9. Kotlyakov V. M. Natural disasters: insurance of their consequences. *Stikhiynyye prirodnyye protsessy: geograficheskiye, ekologicheskkiye i sotsial'no-ekonomicheskkiye aspekty* [Natural disasters: geographical, environmental, and socio-economic aspects]. Ed. by V. M. Kotlyakova. Moscow, NTS ENAS Publ., 2002, pp. 68–73.
10. Kurbatova A. S., Myagkov S. M., Shnyarkov A. L. *Prirodnyy risk dlya gorodov Rossii* [Natural risk for Russian cities]. Moscow, NIPI ekologii goroda Publ., 1997. 240 p.
11. Rogozin A. V., Decade of Natural Risk Analysis in Russia: Past, Present, and Future. *Otsenka i upravleniye prirodnyimi riskami: materialy Obshcherossiyskoy konferentsii "Risk – 2000"* [Natural risk assessment and management: materials of the all-Russian conference "Risk – 2003"]. Moscow, 2000, pp. 206–210 (In Russian).
12. Rogozin A. V., Modern methods and problems of quantitative assessment and management of natural risks. *Otsenka i upravleniye prirodnyimi riskami: materialy Vserossiyskoy konferentsii "Risk – 2003"* [Natural risk assessment and management: materials of the all-Russian conference "Risk – 2003"]. Moscow, 2003, pp. 350–354 (In Russian).
13. Trofimov A. M. The main approaches to solving the problem of risk. *Izvestiya RGO* [News RGO]. 1999, vol. 131, issue 4, pp. 1–8 (In Russian).
14. Trofimov A. M. Socio-economic concept of acceptable risk. *Izvestiya RGO* [News RGO]. 2000, vol. 132, issue 3, pp. 22–28 (In Russian).
15. Malik L. K. *Faktory riska povrezhdeniya gidrotekhnicheskikh sooruzheniy. Problema bezopasnosti* [Risk Factors of Hydraulic Structures Damaging. Safety Issues]. Moscow, Nauka Publ., 2005. 354 p.
16. *Razrabotat' kompleksnyuyu otsenku vliyaniya kar'yernykh vodoyemov na bezopasnost' ekspluatatsii kar'yerov v mestakh dobychi poleznykh iskopayemykh: otchet o NIR* [Develop a comprehensive assessment of the impact of quarry reservoirs on the safety of quarry operations in mining areas: research report]. Theame leader G. I. Kasperov. Minsk, 2020. 192 p. GR No. 20192245.

## Информация об авторах

**Левкевич Виктор Евгеньевич** – доктор технических наук, профессор, профессор кафедры водоснабжения и водоотведения. Белорусский национальный технический университет (220013, г. Минск, пр. Независимости, 65, корп. 1, Республика Беларусь). E-mail: eco2014@tut.by

**Касперов Георгий Иванович** – кандидат технических наук, доцент, заведующий кафедрой инженерной графики. Белорусский государственный технологический университет (220006, г. Минск, ул. Свердлова, 13а, Республика Беларусь). E-mail: borki1959@mail.ru

**Зязюля Ульяна Владимировна** – студентка 3-го курса инженерно-экономического факультета. Белорусский государственный технологический университет (220006, г. Минск, ул. Свердлова, 13а, Республика Беларусь). E-mail: ulanaziz@mail.ru

#### **Information about the authors**

**Levkevich Viktor Yevgen'yevich** – DSc (Engineering), Professor, Professor, of the Department of Water Supply and Drainage. Belarusian National Technical University (65-1, Nezavisimosti Ave., 220013, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: eco2014@tut.by

**Kasperov Georgiy Ivanovich** – PhD (Engineering), Associate Professor, Head of the Department of Engineering Drawing. Belarusian State Technological University (13a, Sverdlova str., 220006, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: borki1959@mail.ru

**Zyazyulya Ulana Vladimirovna** – 3rd year student of the Faculty of Engineering and Economics. Belarusian State Technological University (13a, Sverdlova str., 220006, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: ulanaziz@mail.ru

*Поступила 28.02.2021*