Вестник Евразийской науки / The Eurasian Scientific Journal https://esj.today

2025, Том 17, № 2 / 2025, Vol. 17, Iss. 2 https://esj.today/issue-2-2025.html

URL статьи: https://esj.today/PDF/82NZVN225.pdf

1.6.21. Геоэкология (технические науки)

Ссылка для цитирования этой статьи:
Коробка, А. В. Геоэкологические риски при строительстве гражданских объектов и их оценка / А. В. Коробка, В. В. Симонян // Вестник евразийской науки. — 2025. — Т. 17. — № 2. — URL: https://esj.today/PDF/82NZVN225.pdf.

For citation:
Korobka A.V., Simonyan V.V. Geoecological risks during construction of civil facilities and their assessment. *The Eurasian Scientific Journal*. 2025;17(2): 82NZVN225. Available at: https://esj.today/PDF/82NZVN225.pdf. (In Russ., abstract in Eng.).

УДК 502.64

Коробка Алексей Владимирович
ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет», Москва, Россия
Аспирант
E-mail: alexwarsmith@list.ru
ORCID: https://orcid.org/0009-0002-9175-7895

Симонян Владимир Викторович
ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет», Москва, Россия
Доцент
Доктор технических наук
E-mail: simonyan.vladimir55@gmail.com
ORCID: https://orcid.org/0000-0002-3224-9500
РИНЦ: https://elibrary.ru/author_profile.asp?id=646817

Геоэкологические риски при строительстве гражданских объектов и их оценка

Аннотация. В статье рассмотрена одна из актуальных проблем оценки геоэкологической безопасности строящихся гражданских объектов на основании количественных данных геодезического мониторинга в условиях застройки городских территорий. Строительная область включает в себя факторы, определяющие техногенные нагрузки на экологическую устойчивость региона. С учетом развития городов и ограничений в выборе строительных площадок, обеспечение экологической безопасности при строительстве, от этапа проектирования до демонтажа объекта, является важной и сложной задачей. Представлен общий анализ понятия геоэкологического риска, методов его оценки для эффективного управления строительными процессами. Описано состояние нормативной базы для применения технологий оценки риска и их практическое применение. В процессе строительства на всех этапах жизненного цикла строительных объектов, геотехнический мониторинг является одним из способов получения объективных данных о состоянии объекта. Внедрение оценки геоэкологических рисков на основании статистических методов и математических моделей для оценки вероятности возникновения различных негативных последствий было бы полезно для строящихся в условиях крупных городов гражданских объектов. Применение технологий, способных визуализировать интерпретацию полученных показателей о степени риска, а также использование решений с применением искусственного интеллекта для обработки массива данных мониторинга, будет способствовать широкому применению метода количественной

оценки рисков и, как следствие, позволит увеличить степень безопасности при строительстве гражданских объектов в условиях плотной городской среды.

Ключевые слова: геоэкологический риск; геотехнический мониторинг; геотехнический риск; строительство; методы оценки геоэкологического риска; геодезический мониторинг; экологическая безопасность; количественный метод оценки рисков

Введение

В условиях урбанизации и плотной застройки городских территорий проблемы в области обеспечения безопасности при развитии природных и техногенных процессов крайне актуальны. Одним из главных элементов хозяйственно-экономической деятельности человека, формирующей техногенные нагрузки, выступает строительная отрасль [1]. В этой связи существует необходимость оценки динамики развития опасных процессов, а также анализа риск-образующих факторов, влияющих на экологическую и технологическую безопасность и приводящих к нарушению целостности зданий, сооружений и территорий, на которых они располагаются, что позволяет своевременно провести превентивные мероприятия по снижению последствий [2; 3]. Так же важно учитывать экологические аспекты на всех этапах жизненного цикла строительных объектов, начиная от планировки и проектирования, и заканчивая эксплуатацией и демонтажом [4].

В условиях плотной городской застройки существуют ограничения в выборе площадки для строительства, поэтому идентификация и оценка потенциальных геоэкологических рисков, возникающих в процессе реализации строительных проектов, является важной задачей по повышению безопасности и устойчивости объектов, а также снижению затрат на их эксплуатацию и обслуживание. Результаты таких оценок позволяют разработать предохранительные меры и стратегии снижения риска, что особенно важно в районах с высокой экологической уязвимостью или в зонах, подверженных значительным техногенным нагрузкам или природным катастрофам [2; 3].

Важно отметить, что при оценке индекса геоэкологической безопасности российских городов было показано, что только каждый пятый, то есть около 20% из выборки, относились к геоэкологически безопасным [5]. Таким образом при планировании и застройке городского пространства для обеспечения безопасной среды для большинства территорий нашей страны необходимо оценивать риски, возникающие в процессе реализации строительных проектов.

Геоэкологический риск

Понятие геоэкологического риска не закреплено в нормативных документах. В технической литературе геоэкологической риск описывается как вероятностная мера опасности или степень вероятности нарушения устойчивости окружающей среды при любых воздействиях [6].

Значение риска зависит от многих факторов, включая масштаб и тип строительной деятельности, особенности природных условий, существующие экосистемы и их устойчивость, а также другие возможные неопределенности [7]. Например, строительство в зонах с высокой сейсмической активностью или на затопляемых территориях требует более тщательной оценки рисков связанного с ним негативного воздействия на окружающую среду и здоровье людей [8]. Важно понимать, что геоэкологические риски могут проявляться не только в момент строительства, но и в процессе эксплуатации объектов, а также спустя годы после их завершения. Для более точной оценки геоэкологического риска важно выделить основные его составляющие, включая вероятность возникновения негативного воздействия, характер и

масштаб этого воздействия, а также уровень уязвимости экосистемы. При этом не следует забывать о том, что даже низкая вероятность негативного воздействия на высоко уязвимую экосистему может привести к серьезным последствиям, которые потребуют значительных усилий и финансовых затрат для восстановления.

Методы оценки геоэкологического риска

Среди методов оценки геоэкологического риска выделяют качественный и количественный анализ. Качественный метод часто включает в себя использование экспертных оценок, которые основаны на знаниях и опыте профессионалов, занимающихся соответствующими дисциплинами [9]. Качественный анализ позволяет выявить основные источники риска и определить характер их воздействия. Но он носит весьма субъективный характер опираясь на мнения и опыт различных специалистов. В свою очередь, количественный метод оценки геоэкологических рисков, основывается на применении статистических методов и математических моделей для оценки вероятности возникновения различных рисков и последствий. Этот подход позволяет проводить более детализированную и объективную оценку, основываясь на численных данных, и даёт возможность применять разнообразные аналитические средства для управления угрозами различного характера [10; 11]. Получать количественные данные для строящихся объектов возможно методами геодезического, геотехнического и экологического мониторинга. Реализация надлежащего мониторинга как в процессе строительства, так и во время эксплуатации объекта помогает выявить и оперативно устранить возникающие проблемы. Таким образом, адекватное понимание и оценка геоэкологического риска являются необходимыми условиями для эффективного управления строительными процессами с учетом их воздействия на окружающую среду.

Технологии оценки риска в широком спектре задач описаны в ГОСТ Р 58771-2019. Согласно документу, риск включает в себя последствия любой из форм неопределенности. Для содействия в принятии решений в случаях неопределенности осуществляется выбор метода оценки при конкретных рисках. Один из способов описания риска — это формирование набора последствий и их вероятностей, которые могут возникнуть в результате определенных, но изменчивых событий. Последствия могут быть не заметны или не оценены вначале, но могут накапливаться с течением времени. Из этого следует, что существует необходимость динамического наблюдения за строящимися объектами.

В ГОСТ Р 58771-2019 описаны различные методы определения рисков в том числе и статистические, способные оценить степень вероятности, например Марковский анализ и метод Монте-Карло. Для ранжирования и сопоставления рисков применяют расчет индексов риска, которые представляют собой меру риска, которая определяется с использованием методов скоринга и порядковых шкал. При этом факторы, которые предположительно влияют на величину риска, идентифицируются, оцениваются и комбинируются с использованием уравнения, которое определяет взаимосвязь между ними. На основе математического моделирования была предложена методика оценки оползневых рисков при проектировании и строительстве зданий и сооружений на основе данных геодезического мониторинга [12; 13]. Не существует универсального метода для оценки риска, так как набор оцениваемых параметров в зависимости от объекта может изменяться. Методики оценки должны выбираться с учетом геоэкологических особенностей территории так, например, для оценки геоэкологических рисков Калининградской области как региона с подтвержденной сейсмичностью авторы применили метод матриц риска и карт риска [8]. Методы оценки геоэкологических условий урбанизированных территорий, включающих визуальные, инструментальные, аналитические и расчетные методы представлены на рисунке 1 [14].

Также существует ряд различных технологических решений для построения карт риска с элементами визуализации для облегчения интерпретации результатов, например, использование таблиц, изолиний, сетки с нанесением значений рисков и др. [11; 15]. Растет доля применения программ на основе искусственного интеллекта прежде всего в различных аспектах подземного строительства [16].

Часто основная часть оценки геоэкологического риска приходится на период проектирования объекта, поскольку уже в этот период возможно проанализировать геологические особенности строительного участка и просчитать возможные неопределенности, связанные со строительством. Однако и на этапе строительства в городских районах крупных городов встречаются ситуации с разного рода неопределенностями из-за геологических и гидрогеологических опасностей, которые могут потенциально повлиять на окружающую среду.

В частности, подземные работы, часто сталкиваются с подобными опасностями не только на этапе проектирования, но и строительства. Так выполнение строительных работ близко к существующим сооружениям неизбежно вызывает смещения грунта во время его выемки из-за изменения естественных напряжений. Кроме того, подготовка грунта для строительства (инъекция, струйная цементация, замораживание и т. д.) и понижение уровня грунтовых вод могут привести к деформациям различного характера [17]. Такие вызванные строительством перемещения грунта могут повредить соседние сооружения и окружающую экосистему. Возможный ущерб, как правило, сокращается прямо пропорционально своевременному распознаванию, пониманию и управлению возникающими рисками. Проактивное отношение к управлению рисками и вероятностные подходы могут способствовать эффективному сокращению размера и частоты крупных инцидентов в том числе на основании количественных данных непрерывного мониторинга строящихся объектов в реальном времени [18].

Использование строгих процедур управления рисками способствует минимизации затрат, задержек и событий разрушения конструкций [19]. Управление рисками требует выявления и анализа основных факторов, которые могут внести неопределенность в конкретный проект строительства, и оценки их взаимосвязей [7]. Одним из способов получения объективных данных о состоянии объекта в процессе строительства является геотехнический мониторинг, который согласно ФЗ № 384 необходимо проводить регулярно на всех жизненных циклах. В результате наблюдения инженер получает количественные данные такие как уровень грунтовых вод, горизонтальные и вертикальные перемещения грунта, горизонтальные перемещения ограждающих конструкций котлована, горизонтальные и вертикальные перемещения строящихся зданий, а также зданий окружающей застройки и инженерных коммуникаций. При возникновении трещин, как правило, проводят наблюдения за их развитием при помощи маяков. Данный массив данных позволяет оценить текущее состояние, а также определить возможные опасности, оценить в том числе геоэкологический риск и при необходимости разработать комплекс мер по минимизации возможного ущерба. Несмотря на существующую законодательную базу, предписывающую осуществлять наблюдения на всех этапах строительства, в нашей стране была упразднена часть нормативной документации, которая была обязательна к исполнению, а сейчас носит рекомендательный характер и как следствие степень контроля за состоянием строящегося объекта определяется непосредственно менеджментом проекта. В этой связи крайне актуально иметь возможность оперативно оценивать реальную ситуацию на объекте с целью обеспечения его механической безопасности и оценки возможных рисков. При наличии рекомендованных методов оценки рисков, они все еще мало применяются в реальной практике. Вероятно, это происходит из-за отсутствия простых автоматизированных инструментов, которые бы помогали анализировать большой массив количественных данных с помощью математических моделей и при этом были бы

понятны и просты в интерпретации. Например, были бы способны визуализировать степень риска по принципу светофора или увеличить скорость обработки данных с помощью искусственного интеллекта. Кроме того, для внедрения методики важно закрепить необходимость оценки геоэкологического риска в регламентирующих документах, по крайней мере для наиболее уязвимых к неопределенностям в ходе строительства объектов.

Заключение

Основным выводом является необходимость в оценке геоэкологического риска при строительстве гражданских объектов в условиях растущей урбанизации и увеличения масштабов строительных работ, которые в свою очередь оказывают значительное влияние на окружающую среду. Понимание и правильное определение геоэкологических рисков требуется для минимизации негативных последствий для экосистем и здоровья населения.

Для оценки геоэкологического риска при строительстве гражданских зданий и сооружений целесообразно использовать количественный метод. Так как во время строительства производится геотехнический и геодезический мониторинг и имеются различные количественные статистические данные (наблюдения за смещением ограждающих конструкций котлована, результаты наблюдений за горизонтальным и вертикальным смещением строящихся зданий и сооружений, грунтовым массивом, а также зданий и сооружений окружающей застройки), которые можно использовать для оценки геоэкологического риска. Это поможет своевременно выявлять опасные процессы различного характера в ходе строительства и эксплуатации зданий и сооружений, оценивать их активность, опасность и вероятность наступления. Такой подход способен дать более точную оценку, по сравнению с качественным методом, который основывается как правило на экспертной оценке и носит весьма субъективный характер.

Создание программы или калькулятора с применением искусственного интеллекта на основе статистического и количественного методов, используя данные геотехнического мониторинга помогло бы оперативно определять опасности и их значимости, определять вероятность наступления негативных последствий в ходе строительства и эксплуатации зданий и сооружений. Визуализация интерпретации результатов оценки степени риска в процессе строительства будет способствовать широкому применению объективных методов анализа и, как следствие, приведет к увеличению степени безопасности гражданских объектов при строительстве в условиях плотной городской застройки.

ЛИТЕРАТУРА

1. Самарская Н.С., Котлярова Е.В., Лысова Е.П. Основные научные принципы системного подхода к определению негативных факторов, воздействующих на окружающую среду городских территорий // Безопасность техногенных и природных систем. — 2023. — № 4. — С. 20–29.
2. Kulikova E.Y., Balovtsev S.V. Risk control system for the construction of urban underground structures // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. — IOP Publishing, 2020. — Т. 962. — № 4. — С. 042020.
3. Baecher G.B. 2021 Terzaghi lecture: Geotechnical systems, uncertainty, and risk // Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering. — 2023. — Т. 149. — № 3. — С. 03023001.

4. Ларионов А.Н., Смирнова Е.Э. Метод оценки риска для организации экологической безопасности в сфере жилищного и промышленного строительства // Вестник МГСУ. — 2024. — Т. 19. — № 11. — С. 1797–1823.

5. Заиканов В.Г., Булдакова Е.В., Минакова Т.Б. Города России и индекс геоэкологической безопасности // Геоэкологические проблемы техногенного этапа истории земли — 2022, Москва, 14 октября 2022 года — 2022 — С. 71–75 — EDN: DUMCIM.

6. Карпенко Н.П. Структура и оценка геоэкологических рисков // Природообустройство. — 2009. — № 3. — С. 45–50.

7. Spross J. et al. Risk management procedure to understand and interpret the geotechnical context // Georisk: Assessment and Management of Risk for Engineered Systems and Geohazards. — 2022. — Т. 16. — № 2. — С. 235–250.

8. Дробиз М.В. Оценка геоэкологического риска сейсмоопасности строительства подземного хранилища газа // Вестник Балтийского федерального университета имени И. Канта. Серия: Естественные и медицинские науки. — 2014. — № 1. — С. 65–72.

9. Раев В.К. Качественный анализ // ИТНОУ: Информационные технологии в науке, образовании и управлении. — 2019. — № 3(13). — С. 73–78.

10. Ваганов П.А. Экогеологический риск: оценка, прогнозирование и картирование // Вестник Санкт-Петербургского университета. Науки о Земле. — 2003. — № 1. — С. 33–45.

11. Moormann C., Effenberger M.J.P. Risk analysis and mitigation in geotechnical engineering–Lessons learned from the collapse of the historical archive in Cologne due to underground construction // Geotechnical Engineering Challenges to Meet Current and Emerging Needs of Society. — CRC Press, 2024. — С. 45–71.

12. Симонян В.В. Оценка оползневых рисков и безопасность сооружений // Опасные для строительства геологические процессы, Москва, 08 июня 2018 года — 2018 — С. 49–54 — EDN: YSCROI.

13. Симонян В.В., Волков В.И. Геодезический метод определения оценки оползневой опасности // Геоэкологические проблемы техногенного этапа истории земли — 2022 Москва, 14 октября 2022 года — 2022 — С. 113–123.

14. Ольховатенко В.Е., Лазарев В.М., Филимонова И.С. Геоэкологические проблемы застройки территории г. Томска и мероприятия по её инженерной защите // Вестник Томского государственного архитектурно-строительного университета. — 2012. — № 1. — С. 141–150.

15. Chwała M. et al. Time capsule for geotechnical risk and reliability // Georisk: Assessment and management of risk for engineered systems and geohazards. — 2023. — Т. 17. — № 3. — С. 439–466.

16. Jong S.C., Ong D.E.L., Oh E. State-of-the-art review of geotechnical-driven artificial intelligence techniques in underground soil-structure interaction // Tunnelling and Underground Space Technology. — 2021. — Т. 113. — С. 103946.

17. Zhang Y. Application of risk management plan to technical risks in metro construction: Case study of the Grand Paris Express project // Tunnelling and Underground Space Technology. — 2024. — Т. 147. — С. 105716.

18. Konstantis T., Konstantis S., Spyridis P. Tunnel losses: Causes, impact, trends and risk engineering management // World Tunnelling Congress 2016. — 2016 — С. 123–130.

19. Tidlund M., Spross J., Larsson S. Observational method as risk management tool: the Hvalfjörður tunnel project, Iceland // Georisk: Assessment and Management of Risk for Engineered Systems and Geohazards. — 2023. — Т. 17. — № 2. — С. 346–360.

Korobka Alexey Vladimirovich
Moscow State University of Civil Engineering (National Research University), Moscow, Russia
E-mail: alexwarsmith@list.ru
ORCID: https://orcid.org/0009-0002-9175-7895

Simonyan Vladimir Viktorovich
Moscow State University of Civil Engineering (National Research University), Moscow, Russia
E-mail: simonyan.vladimir55@gmail.com
ORCID: https://orcid.org/0000-0002-3224-9500
RSCI: https://elibrary.ru/author_profile.asp?id=646817

Geoecological risks during construction of civil facilities and their assessment

Abstract. The article considers one of the urgent problems of assessing the geoecological safety of civil construction projects based on quantitative data of geodetic monitoring in the conditions of urban development. The construction area includes factors that determine man-made loads on the ecological sustainability of the region. Taking into account the development of cities and restrictions in the choice of construction sites, ensuring environmental safety during construction, from the design stage to the dismantling of the object, is an important and complex task. A general analysis of the concept of geoecological risk, methods of its assessment for the effective management of construction processes is presented. The state of the regulatory framework for the application of risk assessment technologies and their practical application is described. In the process of construction at all stages of the life cycle of construction projects, geotechnical monitoring is one of the ways to obtain objective data on the state of the object. The introduction of geoecological risk assessment based on statistical methods and mathematical models to assess the likelihood of various negative consequences would be useful for civil construction projects under construction in large cities. The use of technologies capable of visualizing the interpretation of the obtained indicators on the degree of risk, as well as the use of solutions using artificial intelligence for processing the array of monitoring data, will contribute to the widespread use of the method of quantitative risk assessment and, as a result, will increase the degree of safety in the construction of civil facilities in dense urban environments.

Keywords: geoecological risk; geotechnical monitoring; geotechnical risk; construction; methods of assessing geoecological risk; geodetic monitoring; environmental safety; quantitative method of risk assessment