



Вариантность технических решений фундаментов и усиления слабого основания здания распределительного центра в условиях карста

В.В. Подтелков, А.В. Прокопенко, Д.С. Зеленков, М.А. Пишдаток

Кубанский государственный аграрный университет имени И.Т. Трубилина, Краснодар

Аннотация: Устройство фундаментов производственных объектов на площадках, подверженных процессам карстообразования и суффозии в условиях слабых грунтов представляет собой серьёзную проблему при проектировании и строительстве крупных распределительных центров. В такой ситуации необходимо выполнять расчеты несущих элементов здания на воздействие отсутствия реакции основания под подошвой фундаментов на площадке диаметром 3,0 м, расположенной в наиболее невыгодных с точки зрения работы конструкций местах. Такие невыгодные местоположения карстового провала можно определить путём построения в цифровом виде «функций влияния» и получения в результате «оггибающих» эпюр давления на основание, осадок фундаментов и армирования конструкций. При превышении предельно допустимых осадок фундаментов, полученных расчётным путём, можно выполнить усиление грунтов методом послойного ресайклинга, что позволит выйти на нормативные показатели.

Ключевые слова: карстообразование, суффозия, карстовый провал, расчётное сочетание нагрузок, особое сочетание нагрузок, армирование, осадка фундамента, давление на грунт.

Закарстованные территории на площадках строительства производственных объектов – довольно распространённое явление. Карстовые полости (воронки) в ходе инженерно-геологических изысканий могут быть и не обнаружены, но их появление в процессе эксплуатации объекта представляет собой большую опасность для сооружений и работающего персонала.

При этом нет однозначно определённого нормативного размера карстовой воронки, которая может образоваться в период эксплуатации и на который следует рассчитывать несущие конструкции при проектировании зданий и сооружений. Фактические размеры карстовых полостей, зависящие от геологических и гидрогеологических условий территории, варьируются от одного до нескольких десятков метров, как в плане, так и по глубине.

В соответствии с «Методическими рекомендациями по проектированию геотехнических мероприятий инженерной защиты



территории от проявления карстово-суффозионных процессов» (Министерство строительства и жилищно-коммунального хозяйства Российской Федерации, Москва, 2017), карстовая полость может образоваться в любом месте под зданием или на территории благоустройства объекта. Согласно п. 4.3.11 данных методических рекомендаций, размер карстовой воронки определяется по результатам бурения и геофизических исследований. Если же карстовые полости или пустоты в ходе инженерно-геологических изысканий не выявлены, то в расчетах допускается начальный размер карстовой полости принимать равным 1-5 метров. Среднее значение размера воронки в таком случае - окружность диаметром 3 метра [1, 2].

Если появление воронки под благоустройством или инженерными коммуникациями опасности не представляет, так как не грозит внезапным обрушением зданий и сооружений, то локация карстового провала в пределах пятна застройки может повлечь за собой риск нарушения целостности несущих конструкций объекта строительства (фундаментов, колонн, стен, перекрытий, ригелей, ферм и балок покрытия) и, как следствие, привести к аварийной ситуации, угрожающей жизни и здоровью работников предприятия [3]. Проектирование производственных объектов в такой ситуации обязательно должно включать расчеты несущих элементов здания на воздействие отсутствия реакции грунтового основания под подошвой фундаментов на площадке диаметром 3,0 м, расположенной в наиболее невыгодном с точки зрения работы конструкций месте. Наиболее невыгодное расположение можно определить, например, построением в цифровом виде «функций влияния» по типу линий влияния в классических расчетах сопротивления материалов [4, 5].

Рассмотрим варианты расчетов несущих конструкций для различного расположения карстовой воронки на примере расчета напряженно-деформированного состояния элементов антресольной части здания

распределительного центра (РЦ) «ОЗОН» в г. Благовещенске, республика Башкортостан (рис. 1).

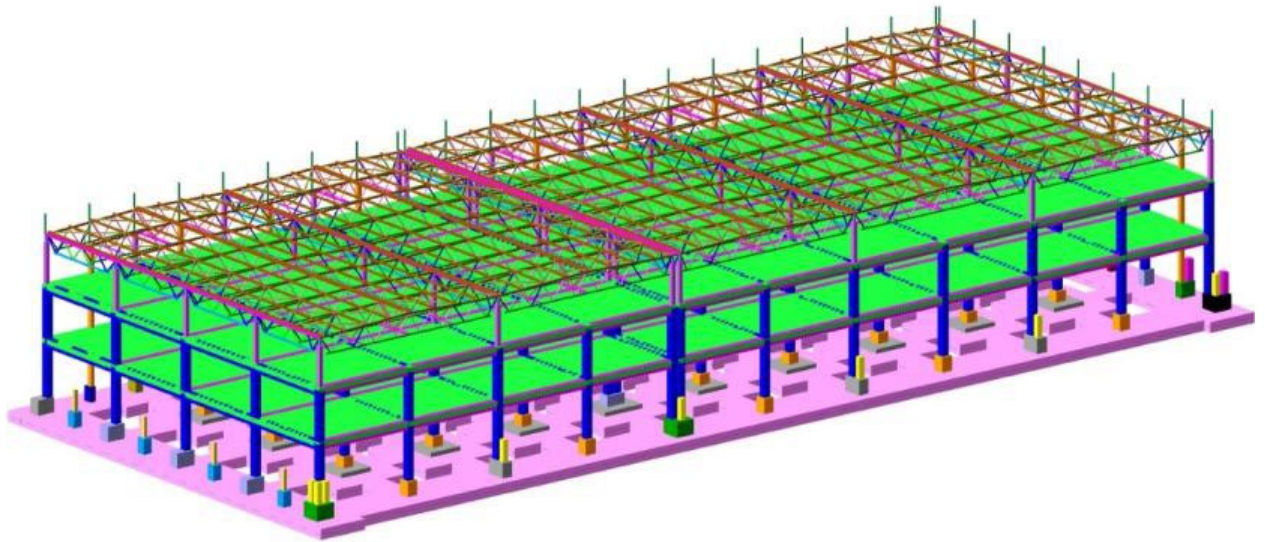


Рис. 1. – 3D модель антресольной части здания
РЦ «ОЗОН» в г. Благовещенске

Территория проектируемого строительства расположена на западной окраине г. Благовещенска. В геоморфологическом отношении участок приурочен к верхней части правого склона долины реки Белой, осложненного оврагами эрозионно-карстового генезиса, которые ограничивают участок с востока и запада. Поперечные профили оврагов имеют U-образное сечение, ширина между бровками достигает 150-200 м. В верховье одного из оврагов, ограничивающего участок с запада, имеется карстовая воронка чашеобразной формы, глубиной до пяти метров. В воронку происходит сброс воды атмосферных осадков, что может приводить к активизации карстово-суффозионных процессов [6].

Согласно отчету об инженерно-геологических изысканиях (ИГИ), в соответствии с приложением «А» СП 47-13330.2016, инженерно-геологические условия площадки строительства относятся к III (сложной) категории.



В соответствии с таблицей 4.1 СП 22.13330.2016, геотехническая категория сооружения установлена 3:

Геотехническую категорию сооружения следует устанавливать в соответствии с таблицей 4.1.

Т а б л и ц а 4.1

СП 22.13330.2016

Категория сложности инженерно-геологических условий (в соответствии с СП 47.13330)	Уровень ответственности сооружений (в соответствии с ГОСТ 27751)		
	КС-3 (повышенный)	КС-2 (нормальный)	КС-1 (пониженный)
I (простая)	3	2	1
II (средняя)	3	2	1
III (сложная)	3	3	2

Рис. 2. – Таблица 4.1 СП 22.13330.2016 [7]

На исследованной территории имеют развитие следующие опасные физико-геологические процессы и их проявления: карстовые, суффозионные, трещиноватость пород.

Согласно СП 116.13330.2012 (приложение Е, таблицы Е.1 и Е.2), участок изысканий относительно интенсивности образования карстовых провалов отнесен к III (недостаточно устойчивой) категории устойчивости, а относительно средних диаметров карстовых провалов и локальных оседаний - к категории «В» (свыше 3 до 10 м). Согласно ТСН 302-50-95.РБ, на участке изысканий выделены III (недостаточно устойчивая) и IV (с несколько пониженной устойчивостью) категории устойчивости территории относительно карстовых провалов [8, 9]. Согласно методике, изложенной в ТСН 302-50-95.РБ, проектирование и капитальное строительство зданий и сооружений на участках с III (недостаточно устойчивой) и IV (несколько пониженной устойчивостью) категорией устойчивости относительно карстовых провалов возможно с профилактическими и конструктивными мерами ПКЗ из расчета на

вероятный размер карстового провала для склоновых условий 2,8+0,4 м (табл. 3.1 ТСН 302-50-95.РБ).

Суффозия рассматривается как процесс, сопровождающий карстообразование, и все рекомендации по отношению к противокарстовым мероприятиям аналогично применимы и к суффозионным мероприятиям [10].

Учитывая приведённые в ИГИ параметры грунтов основания, а также наличие в поверхностных горизонтах слабых инженерно-геологических элементов, было принято решение выполнить под колоннами центральной части здания фундаменты стаканного типа с большой площадью подошвы, которые соединены между собой рёбрами жёсткости, позволяющими повысить устойчивость всей системы «основание-фундамент-каркас» к карстообразованию [11]. Под периметральными колоннами были предложены фундаменты стаканного типа с подошвой в виде сплошной ленты, также соединённой рёбрами жёсткости с фундаментами внутренних колонн. Расчётная модель данной системы приведена на рисунке 3.

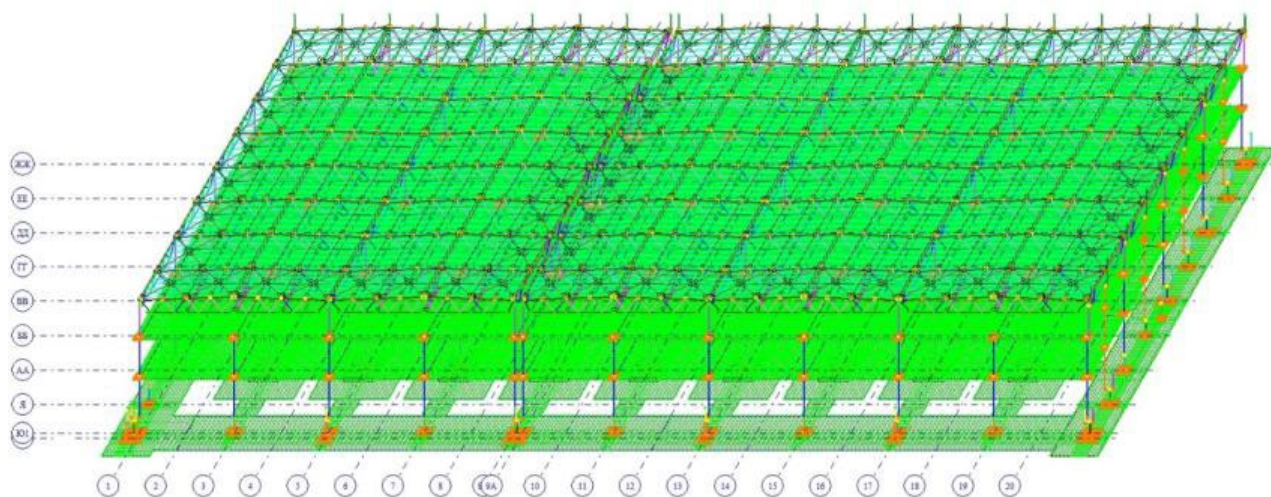


Рис. 3. – Расчётная модель системы «основание-фундамент-каркас»

Как было сказано выше, для обеспечения устойчивости конструкций относительно карстовых провалов необходимо запроектировать фундаменты и каркас из расчета на вероятный размер карстового провала диаметром

3,0 м, расположенного в наиболее невыгодных с точки зрения работы конструкций местах. Для выявления наиболее невыгодных мест были проведены серии расчётов на особое сочетание нагрузок (ОСН) с различным местоположением карстовых воронок (рис. 4):

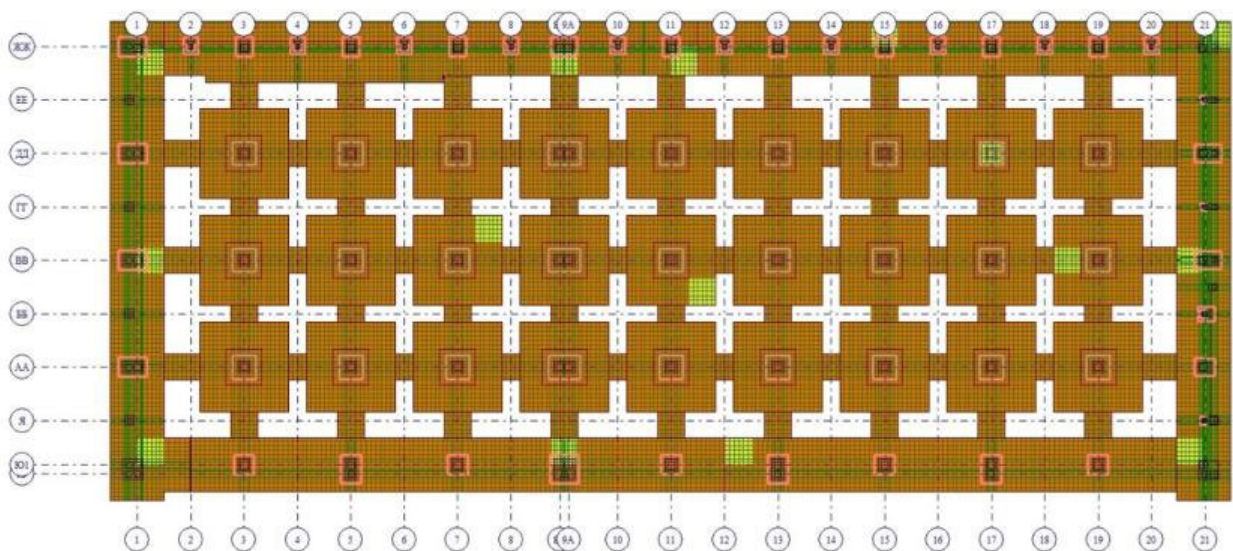


Рис. 4. – Местоположение карстовых провалов в расчётной модели

В расчётном сочетании нагрузок (РСН) учитывались следующие нагрузки:

- на пол 1 этажа расчетная 96 кПа + плита пола + засыпка грунта (постоянная и временная длительная);
- на пол 2 этажа стяжка 3,575 кПа (постоянная) + 18 кПа (временная длительная);
- на пол 3 этажа стяжка 3,575 кПа (постоянная) + 18 кПа (временная длительная).

По результатам серии расчётов на РСН и ОСН, помимо армирования (рис. 5), были получены «оггибающие» эпюры давлений под подошвой фундаментов на грунтовое основание и осадок фундаментов (рис. 6), учитывающие наиболее невыгодные с точки зрения работы конструкций расположения карстовой воронки.

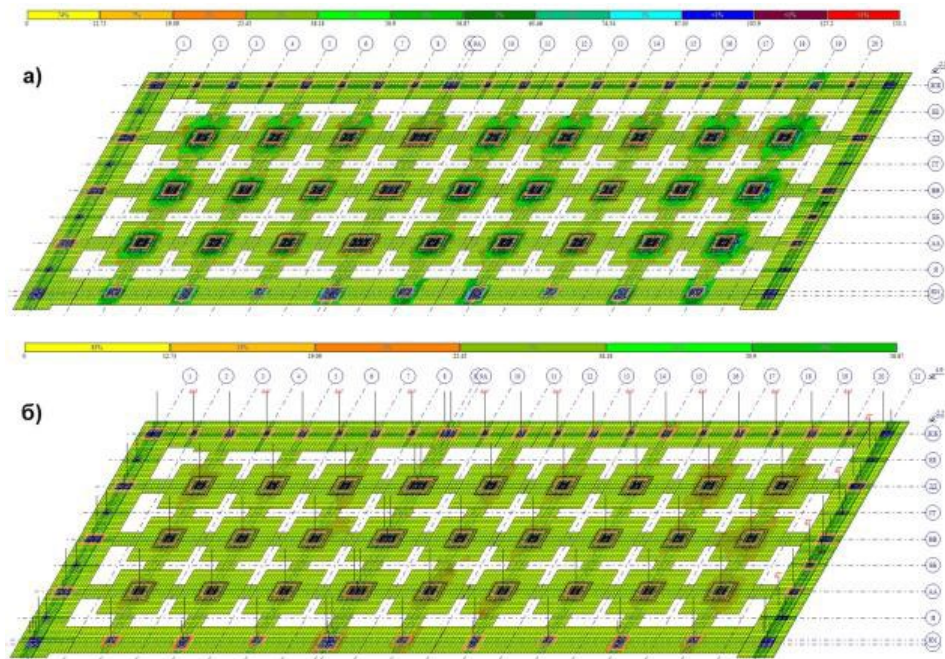


Рис. 5. – Армирование фундаментов (нижнее вдоль буквенных осей) антресольной части здания склада от действия РСН (а) и ОСН (б)

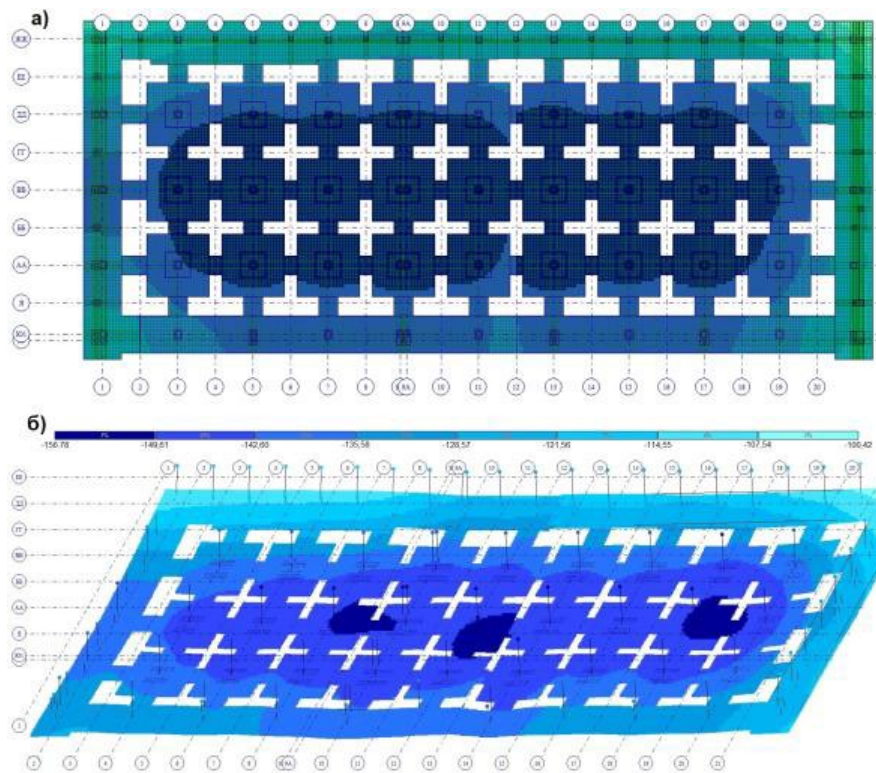


Рис. 6. – Картина давлений по подошве фундаментов от действия РСН (а) и деформаций (осадок) антресольной части здания от действия ОСН (б)

Как видно из рисунка 6, наибольших значений давления под подошвой и осадки фундаментов достигают в центральной части здания. В частности, осадка превышает 156 мм, что больше предельного значения для данного типа зданий, равного 150 мм.

Для уменьшения осадок фундаментов в антресольной части здания склада до нормативных значений было решено выполнить усиление верхнего слоя грунтового основания, имеющего модуль деформации $E_0=9$ МПа, негашёной известью с применением технологии ресайклинга (рис. 7).



Рис. 7. – Порядок движения механизмов в технологии «ресайклинг»

Толщина требующего усиления методом ресайклинга основания составляет 2,0 метра. За один проход строительной техники производится стабилизация грунта на глубину не более 40 см. Таким образом, для стабилизации двухметровой усиленной грунтовой «подушки» потребовалось выполнить пять проходов техники (рис. 8).

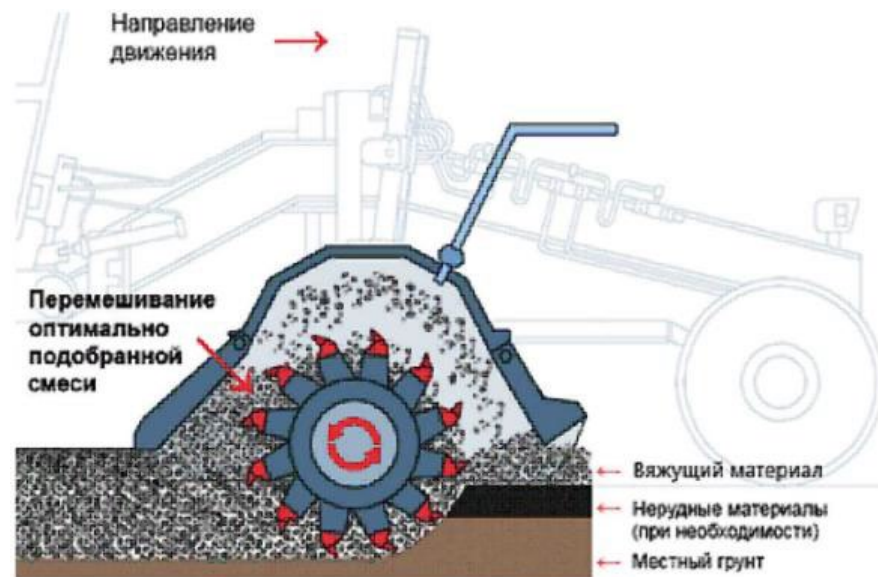


Рис. 8. – Принципиальная схема послойной стабилизации грунта

Верхний слой и промежуточные слои насыпи из стабилизированного грунта испытывались динамическим методом с использованием прибора «Zorn». Промежуточные слои насыпи из стабилизированного грунта уплотнялись до коэффициента уплотнения 0,95.

Для верхнего слоя стабилизированного известью грунта под проектную отметку низа фундаментов модуль деформации EV_2 определялся по результатам испытаний с использованием прибора «Zorn» с диаметром штампа 300 мм. По результатам испытаний модуль деформации $EV_2 \geq 20$ МПа. Для анализа прочностных характеристик грунта проводились исследования в количестве по одному испытанию на каждые 300 м² основания.

Проведённое методом ресайклинга усиление грунтов антресольной зоны склада на глубину 2,0 метра позволило получить прочностные и деформативные характеристики основания, удовлетворяющие нормативным требованиям, предъявляемым к расчётам по I и II группе предельных состояний и обеспечить, таким образом, безопасную эксплуатацию здания на действие постоянных и технологических нагрузок.



Выводы

На основании выполненных расчётов системы «основание-фундамент-каркас» на действие РСН, ОСН и проведённой стабилизации грунта антресольной зоны здания склада распределительного центра «ОЗОН» в г. Благовещенске, республика Башкортостан, можно сделать следующие выводы:

1. При отсутствии в инженерно-геологических изысканиях данных о расположении карстовых провалов для категории сложности инженерно-геологических условий III и геотехнической категории сооружения 3, необходимо проектировать фундаменты и каркас из расчета на вероятный размер карстового провала диаметром 3,0 м, расположенного в наиболее невыгодных с точки зрения работы конструкций местах.

2. Наиболее невыгодные местоположения карстовой воронки можно определить путём построения в цифровом виде «функций влияния» по типу линий влияния в классических расчетах сопротивления материалов и получения в результате «огибающих» эпюр давления на основание, осадок фундаментов и армирования конструкций.

3. В случае превышения предельно допустимых осадок фундаментов, полученных расчётным путём от действия эксплуатационных нагрузок на основное и особое сочетание, рекомендуется выполнить усиление грунтов на глубину до двух метров методом ресайклинга, что позволит получить прочностные и деформативные характеристики основания, удовлетворяющие нормативным требованиям.

Литература

1. Подтелков В. В., Прокопенко А. В., Зеленков Д. С., Пшидаток М. А. Особенности устройства примыканий проектируемых проездов производственных предприятий к существующему благоустройству // Инженерный вестник Дона. 2023. № 10. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n10y2023/8769

2. Носков И. В., Ананьев С. А. Комплексные инженерно-геологические исследования карстовых явлений // Вестник евразийской науки. 2022. Т. 14, № 2. С. 23.



3. Liu L., Shi Zh., Li Sh. A system for inspecting karst voids during construction of cast-in-place pile foundations // *Engineering Geology*. 2023. Vol. 320. pp. 107124.

4. Пшидаток М. А., Подтелков В. В. Состав документации по планировке территории при строительстве и реконструкции линейных объектов // *Научное обеспечение агропромышленного комплекса : Сборник статей по материалам 77 научно-практической конференции студентов по итогам НИР за 2021 год*. Краснодар: Кубанский государственный аграрный университет имени И.Т. Трубилина, 2022. С. 682-684.

5. Катаев В. Н., Щербаков С. В., Ермолович И. Г. Общегеологический подход к карстологическому прогнозу // *Геология и полезные ископаемые Западного Урала*. 2020. № 3(40). С. 208-217.

6. Подтелков В. В., Прокопенко А. В., Зеленков Д. С., Пшидаток М. А. Усиление основания дорожной одежды сельскохозяйственного предприятия для устройства проездов и площадок при наличии локальных песчаных линз // *Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета*. 2022. № 183. С. 223-233.

7. СП 22.13330.2016. Основания зданий и сооружений. Актуализированная редакция СНиП 2.02.01-83. М.: Стандартинформ, 2016. 173 с.

8. Weibin Zh., Siran Zh., Hua Zh., Huanghui A. On the genesis of karst in red beds and underground engineer risks analysis // *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. 2020. Vol. 570, No. 5.

9. Капустин Д. Е., Соному Н. Выбор оптимальной методики испытания бетонов при объемном нагружении // *Инженерный вестник Дона*. 2024. № 1. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n1y2024/8931

10. Суровцева Н. В. Современные методы усиления оснований в условиях строительства в сейсмоопасных регионах // *Современные техника и технологии в научных исследованиях: Сборник материалов XV*



Международной конференции молодых ученых и студентов. Бишкек: Научная станция РАН в г. Бишкеке, 2023. С. 343-346.

11. Гордиенко Е. П. Методы усиления слабых грунтов в основании фундаментов многоэтажных зданий // Научный аспект. 2024. Т. 54, № 6. С. 7001-7007.

References

1. Podtelkov V. V., Prokopenko A. V., Zelenkov D. S., Pshidatok M. A. Inzhenernyj vestnik Dona. 2023. № 10. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n10y2023/8769

2. Noskov I. V., Anan'ev S. A. Vestnik evrazijskoj nauki. 2022. Т. 14, № 2. p. 23.

3. Liu L., Shi Zh., Li Sh. Engineering Geology. 2023. Vol. 320. pp. 107124.

4. Pshidatok M. A., Podtelkov V. V. Nauchnoe obespechenie agropromyshlennogo kompleksa : Sbornik statej po materialam 77 nauchno-prakticheskoj konferencii studentov po itogam NIR za 2021 god. Krasnodar: Kubanskij gosudarstvennyj agrarnyj universitet imeni I.T. Trubilina, 2022. pp. 682-684.

5. Kataev V. N., Shherbakov S. V., Ermolovich I. G. Geologija i poleznye iskopaemye Zapadnogo Urala. 2020. № 3(40). pp. 208-217.

6. Podtelkov V. V., Prokopenko A. V., Zelenkov D. S., Pshidatok M. A. Politematicheskij setevoj jelektronnyj nauchnyj zhurnal Kubanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. 2022. № 183. pp. 223-233.

7. SP 22.13330.2016. Osnovaniia zdanij i sooruzhenij. Aktualizirovannaia redakciia SNiP 2.02.01-83. M.: Standartinform, 2016. 173 p.

8. Weibin Zh., Siran Zh., Hua Zh., Huanghui A. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. 2020. Vol. 570, No. 5.

9. Kapustin D. E., Sonomu N. Inzhenernyj vestnik Dona. 2024. № 1. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n1y2024/8931

10. Surovceva N. V. Sovremennye tehnika i tehnologii v nauchnyh issledovanijah: Sbornik materialov XV Mezhdunarodnoj konferencii molodyh uchenyh i studentov. Bishkek: Nauchnaja stancija RAN v g. Bishkeke, 2023. pp. 343-346.

11. Gordienko E. P. Nauchnyj aspekt. 2024. Т. 54, № 6. pp. 7001-7007.

Дата поступления: 5.03.2025 Дата публикации: 25.04.2025
