

10. Parchment V. X, Kotik M. V. On the pressures of air waves of ground explosions. Technology and safety of blasting operations // Sb. nauch. tr. nauch.-technich. conf. Yekaterinburg, 2012. pp.255-262.

11. Air-wave safety of explosions of borehole charges in open-pit mining / V.H. Parchment, T.S. Kotlyar, I.A. Zurkov, Yu.I. Tyatyushin // Scientific Symposium. Miner's Week. Moscow, 2003.

12. Adushkin V.V., Khristoforov B.D. Studies of the effect of a near-ground 1000-ton explosion on the environment // Physics of gorenje i explosion. 2004. Vol.40. pp.84-92.

13. Near-source and far-regional observations for Sayaraim test explosions / Y. Gitterman [and others] // Proceedings of the 2009 Monitoring Re-search Review: Ground-Based Nuclear Explosion Monitoring Technologies, LA-VR-09-05276. p.724-734.

14. Federal Norms and rules in the field of industrial safety "Safety rules for the production, storage and use of explosive materials for industrial purposes", Rostekhnadzor Order No. 494 dated 03.12.2020 (registered with the Ministry of Justice of the Russian Federation No. 61824 on 25.12.2020).

УДК 624.131.524

ВЛИЯНИЕ ЗАМАЧИВАНИЯ ПРОСАДОЧНЫХ ГРУНТОВ НА НЕСУЩЮЮ СПОСОБНОСТЬ ФУНДАМЕНТОВ ПРИ НАРАЩИВАНИИ ХВОСТОХРАНИЛИЩА ГРО «КАТОКА»

Л. А. Еланцева, С. В. Фоменко, А. Ю. Афанасьев

Выявлено, что на территории обогатительной фабрики легкие суглинки группы Калахари обладают просадочными свойствами. Разработана численная модель фильтрации для прогноза гидродинамического режима подземных вод в условиях эксплуатации хвостохранилища при его наращивании. Установлено повышение уровня подземных вод в районе насосной станции при подпоре потока техническими водами хвостохранилища при наращивании отметок его заполнения. Проведен расчет глубины сжимаемой толщи под зданиями и сооружениями. Выполнен расчет величины просадки грунтов в основании фундаментов насосной станции при увеличении влажности грунтов вследствие их замачивания снизу при подъеме уровня подземных вод. Уменьшение до допустимых значений просадки фундаментов обеспечивается водозащитными мероприятиями, направленными на снижение уровня подземных вод.

Ключевые слова: просадочные грунты, численное моделирование, сжимаемая толща, просадки, несущая способность.

Введение. Горнорудное общество «КАТОКА» (ГРО «КАТОКА») – современный в Анголе горно-обогатительный комплекс по добыче алмазов. Кимберлитовая трубка является крупнейшим коренным месторождением в мире. Отработка месторождения ведется открытым способом до глубины 600 м. В состав комплекса входят обогатительные фабрики (ОФ) и хвостохранилище.

Подъем отметок заполнения хвостохранилища способствует повышению уровня подземных вод на территории обогатительной фабрики, что

может привести к просадкам оснований фундаментов объектов обогатительной фабрики.

В районе обогатительной фабрики залегают следующие отложения:

- техногенные насыпные грунты, представленные щебнем гнейсов с супесчаным и суглинистым заполнителем;
- легкие суглинки группы Калахари, обладающие просадочными свойствами [1];
- пески глинистые средне-мелкозернистые, супесь песчанистая, реже суглинок песчанистый формации Калонда;
- глины аргиллитоподобные, полутвердые формации Калонда;
- гнейсы зеленовато-серые, сильно выветрелые низкой прочности архейского возраста.

Пески формации Калонда являются обводнёнными. За период с 2002 по 2022 гг. зафиксирован подъем уровня подземных вод на 7 м. Воды слабонапорные с напором до 4 м.

Численное моделирование. Водоносная толща пород реализована в расчетной модели как однослойная, приуроченная к пескам формации Калонда. По проницаемости водоносный пласт принят однородным со средним значением коэффициента фильтрации 0,3 м/сут.

Инфильтрационное питание атмосферными осадками рассчитывалось исходя из разницы средней годовой суммы осадков, составляющей 1371 мм, и суммарного годового потенциального испарения естественными поверхностями 1035 мм и составило 336 мм.

Нижняя граница области фильтрации принята по отметке кровли горизонта условного водоупора, представленного аргиллитоподобными глинами формации Калонда.

Условия подземного потока на хвостохранилище заданы ГУ III рода по отметкам заполнения хвостохранилища через дополнительное фильтрационное сопротивление [3 – 4], при расчете которого средняя мощность хвостов принималась 10 – 30 м, а коэффициент фильтрации хвостов – 0,01 м/сут.

Обратная задача решалась для двух характерных состояний исследуемой гидродинамической системы:

- естественного режима фильтрации подземных вод до начала эксплуатации хвостохранилища;
- нарушенного режима фильтрации подземных вод в условиях эксплуатации хвостохранилища по состоянию на 2022 г.

При естественном режиме оценивалась величина инфильтрационного питания атмосферными осадками водоносного пласта, приуроченного к глинистым пескам формации Калонда, через слой легких просадочных суглинков формации Калахари. Определено, что инфильтрационное питание составляет порядка 50 мм/год ($W = 0,00014$ м/сут).

При нарушенном режиме оценивалось повышение уровня подземных вод на территории ОФ за счет инфильтрационных потерь из хвостохранилища.

Прогноз гидродинамического режима подземных вод в условиях эксплуатации хвостохранилища при его наращивании выполнен на откорректированной численной гидродинамической модели. Решение фильтрационной задачи осуществлялось по лицензионной программе MODFLOW системы GMS, которая нашла широкое применение в России.

Расчеты выполнялись в условиях наращивания отметок заполнения хвостохранилища жидкой хвостовой пульпой с 992 до 1003 м.

Результаты прогнозного моделирования представлены на рис. 1 и табл. 1.

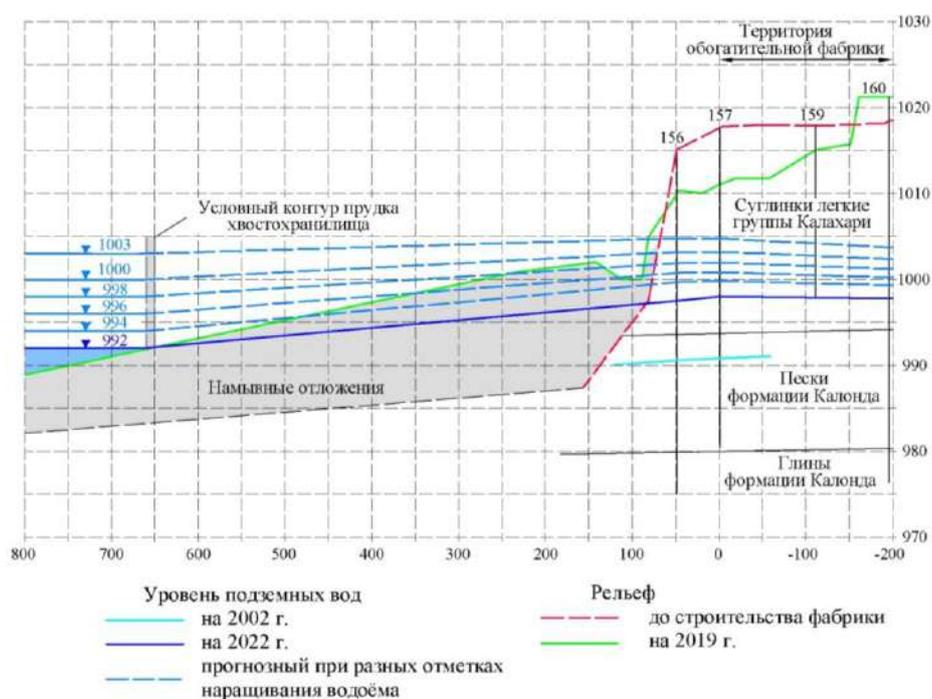


Рис. 1. Разрез по линии «хвостохранилище – обогатительная фабрика»

**Таблица 1
Прогнозные уровни подземных вод на территории ОФ**

Отметка заполнения водоема, м	Уровень подземных вод в районе обогатительной фабрики, м	Уровень подземных вод в районе насосной станции (НС), м
994	997,5 – 1000,5	1000,0 – 1000,8
996	999,0 – 1001,5	1001,0 – 1001,7
998	999,5 – 1002,5	1002,1 – 1002,9
1000	1000,5 – 1003,5	1003,5 – 1004,2
1003	1002,0 – 1005,0	1005,0 – 1005,7

По результатам моделирования в условиях подпора потока техническими водами хвостохранилища уровни подземных вод в районе НС будут находиться на глубине 4 – 8 м при заполнении гидротехнического сооружения до отметки 996 м и на глубине 0 – 4 м при заполнении хвостохранилища до отметки 1003 м.

Расчет глубины сжимаемой толщи. Напряжение под фундаментом на глубине от удельной нагрузки здания на грунт рассчитывается по зависимости [1]

$$\sigma_z = K_o \cdot q, \quad (1)$$

где σ_z – напряжение под фундаментом, т/м²; K_o – табличный коэффициент; q – удельная нагрузка на грунт, т/м², $q = Q / F$; Q , – вес здания, т; F – площадь фундамента, м².

Изменение вертикального напряжения в грунте с глубиной от собственного веса грунта определяется по формуле

$$P_z = \gamma \cdot z, \quad (2)$$

где P_z – вертикальное напряжение, т/м²; γ – объёмный вес грунта, т/м³; z – глубина от подошвы фундамента, м.

Результаты расчета напряжений в грунте по глубине представлены в табл. 2.

Таблица 2

Результаты расчета напряжений в грунте по глубине

Глубина от подошвы фундамента z , м	0	4	8	12	16
Напряжение под фундаментом σ_z , т/м ²	35,0	33,22	26,46	19,14	13,65
Вертикальное напряжение P_z , т/м ²	0	9	18	27	36

В соответствии с [2] глубина сжимаемой толщи под зданиями и сооружениями – это глубина, напряжения на которой от веса грунта составляют половину от напряжения в грунте от веса здания в заданной точке. На рис. 2 показана отстроенная по данным табл. 2 глубина сжимаемой толщи $h = 6,5$ м.

Выполненные расчеты показывают, что уровень подземных вод в районе сооружений НС уже при подъеме уровня в хвостохранилище до отметки 994 м достигнет нижней границы сжимаемой толщи.

Методика расчетов глубины сжимаемой толщи и просадок грунтов под фундаментами зданий и сооружений приведена в работах многих российских и зарубежных авторов [5 – 17].

Расчет просадок. Просадка суглинков формации Калахари при увеличении их влажности вследствие замачивания снизу при подъеме уровня подземных вод определяется по формуле [2]

$$S_{sl} = \varepsilon_{sl} \cdot h \cdot k_{sl}, \quad (3)$$

где S_{sl} – просадка грунта, см; ε_{sl} – относительная просадочность грунта, д.е.; h – величина сжимаемой толщи, м; k_{sl} – поправочный коэффициент.

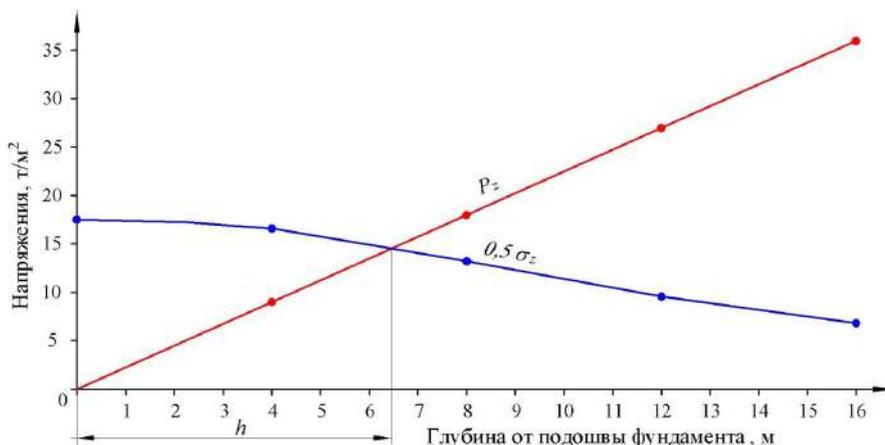


Рис. 2. Глубина сжимаемой толщи

Результаты расчетов просадки грунтов в основаниях фундаментов НС сведены в табл. 3.

Таблица 3
Расчет просадки грунтов в основаниях фундаментов НС

Уровень воды в хвостохранилище, м	Прогнозный уровень подземных вод, м	Мощность замоченных грунтов снизу, м	Поправочный коэффициент k_{sl}				Величина просадки, см			
			$b \leq 3$ м	$b = 3,6$ м	$b = 7,55$ м	$b = 8,1$ м	$b \leq 3$ м	$b = 3,6$ м	$b = 7,55$ м	$b = 8,1$ м
992	997,6... 998,4	0	4,43	4,20	2,70	2,49				
994	1000,0...1000,8	2,4					21,2	20,2	13,0	12,0
996	1001,0...1001,7	3,4					30,1	38,6	18,4	16,9
998	1002,1...1002,9	4,5					39,9	37,8	24,3	22,4
1000	1003,5...1004,2	5,9					52,3	49,6	31,9	29,4
1003	1005,0...1005,7	7,4					65,6	62,2	40,0	36,9

Значения просадок грунтов и соответственно фундаментов зданий и сооружений НС превышают предельно допустимые значения $S_{\text{доп.}} = 3 - 5$ см для зданий I-II категории [2].

Заключение. Допустимая несущая способность сооружений НС сохраняется при заполнении хвостохранилища до отметки, не превышающей 994 м абс. Несущая способность фундаментов на весь период эксплуатации зданий и сооружений при наращивании хвостохранилища должна обеспечиваться поддержанием уровня подземных вод ниже глубины сжимаемой толщи.

Для снижения уровня подземных вод в районе НС необходимо предусмотреть водозащитные мероприятия, снижающие до допустимых пределов просадки фундаментов.

Список литературы

1. Цытович Н. А. Механика грунтов. М.: Высшая школа, 1979. 448 с.
2. СП 22.13330.2016. Основания зданий и сооружений. М.: ФГБУ «РСТ», 2022. 186 с.
3. Жернов И. Е., Шестаков В. М. Моделирование фильтрации подземных вод. М.: Недра, 1971. 224 с.
4. Фисун Н. В., Ленченко Н. Н. Динамика подземных вод. М.: Научный мир, 2016. 267 с.
5. Механика грунтов, основания и фундаменты. С.Б. Ухов [и др.] М.: Высшая школа, 2007. 566 с.
6. Болдырев Г. Г. Механика грунтов. Основания и фундаменты. Пенза: ПГУАС, 2009. 412 с.
7. Леденёв В. В. Несущая способность и деформативность оснований и фундаментов при сложных силовых воздействиях. Тамбов: ФГБОУ ВПО «ТГТУ», 2015. 324 с.
8. Механика грунтов, основания и фундаменты / Л. Н. Шутенко [и др.]. Харьков: ХНУГХ им. А. Н. Бекетова, 2015. 501 с.
9. Особенности строительства на лёссовых просадочных при замачивании грунтах / М.Ю.Абелев [и др.]. М.: АСВ, 2023. 144 с.
10. Мустакимов В. Р. Искусственные основания зданий и сооружений на просадочных грунтах. М.: Юрайт, 2023. 220 с.
11. Расчетное обоснование степени неравномерности нагружения в целях снижения глубины сжимаемой толщи / Я. А. Пронозин, Л. А. Бартоломей, В. Г. Соколов, Е.С. Отраснова // Современные проблемы науки и образования. 2013. № 4. С. 122 – 128.
12. Васенин В. А. Анализ критерия ограничения сжимаемой толщи в слабых грунтах для различных моделей учета ползучести // Основания, фундаменты и механика грунтов. 2021. № 4. С.7 – 12.

13. Стукатеев Д. Р. Устранение просадочных свойств грунтов способом предварительного замачивания в условиях плотной городской застройки // Молодой ученый. 2018. № 26 (212). С. 56 – 58.

14. Dashjamts D. Theoretical basis for optimal solutions for designing basements and foundations of buildings in structurally unstable soils. Diss.doc. tech. Science (SC.D). UB.: SHUTS-1001, 1998. 377 p.

15. Kuo Y. L. Effect of soil variability on the bearing capacity of footings on multi-layered soil. By thesis submitted for the degree of doctor of philosophy (PHD), 2008. 341 p.

16. Nyamdorj S. Foundation and basement of buildings and structures in subsiding soils. Ulaanbaatar: Print. MUST, 2021. 261 p.

17. Chenari R., Mahigir A. The Effect of Spatial Variability and Anisotropy of Soils on Bearing Capacity of Shallow Foundations // Civil Engineering Infrastructures Journal (CEIJ). December 2014. Vol. 47 (2). P. 199 – 213.

Еланцева Людмила Алексеевна, канд. геол.-минерал. наук, доц., elantseva@bsu.edu.ru, Россия, Белгород, Белгородский государственный национальный исследовательский университет,

Фоменко Сергей Викторович, ст. науч. сотр., svfomenko@rambler.ru, Россия, Белгород, Белгородский государственный национальный исследовательский университет,

Афанасьев Андрей Юрьевич, аспирант, 1059717@bsu.edu.ru, Россия, Белгород, Белгородский государственный национальный исследовательский университет

THE INFLUENCE OF WETTING OF SUBSIDING SOILS TO THE BEARING CAPACITY OF FOUNDATIONS DURING THE TAILING DUMP HEIGHTENING AT THE KATOKA MINING COMPANY

L. A. Elantseva, S. V. Fomenko, A. Yu. Afanasiev

It was revealed that light loams of Kalahari group have subsidence properties on the territory at the concentrating mill. A numerical filtration model has been developed to predict the hydrodynamic regime of groundwater under the conditions of tailing dump exploitation during its heightening. An increase of groundwater levels at the area of the pumping station has been established when the flow is backed up by technical waters of the tailing dump during its filling. The calculation of compressible strata depth under buildings was carried out. The calculation of soil subsidence value at the base of pumping station foundations was carried out under the conditions of soil moisture increasing due to its wetting from below during groundwater rising. Reduction to acceptable values of foundations subsidence is provided by measures connected with lowering the groundwater level.

Key words: subsiding soils, numerical modeling, compressible strata, subsidence, bearing capacity.

Elantseva Lyudmila Alekseevna, candidate of geol.-mineral sciences, docent, elantseva@bsu.edu.ru, Russia, Belgorod, Belgorod National Research University,

Fomenko Sergey Viktorovich, senior researcher, svfomenko@rambler.ru, Russia, Belgorod, Belgorod National Research University,

Afanasiev Andrey Yurevich, postgraduate, 1059717@bsu.edu.ru, Russia, Belgorod, Belgorod National Research University

Reference

1. Tsytovich N. A. Mechanics of soils. M.: Higher School, 1979. 448 pp .
2. SP 22.13330.2016. Foundations of buildings and structures. Federal State Budgetary Institution "PCT", 2022. 186 p.
3. Zhernov I. E., Shestakov V. M. Modeling of filtration of underground waters. M.: Nedra, 1971. 224 p.
4. Fisun N. V., Lenchenko N. N. Dynamics of underground waters. M.: Scientific world, 2016. 267 p.
5. Ukhov S. B., Semenov V. V., Znamensky V. V., etc. Mechanics of soils, foundations and foundations. Moscow: Higher School, 2007. 566 p.
6. Boldyrev G. G. Mechanics of soils. Foundations and foundations. Penza: PGUAS, 2009. 412 p.
7. Ledenev V. V. Bearing capacity and deformability of foundations and foundations under complex force influences. Tambov: FGBOU VPO "TSTU", 2015. 324 p.
8. Mechanics of soils, foundations and foundations / L. N. Shutenko [et al.]. Kharkiv: A. N. Beketov KHNU, 2015. 501 p.
9. Features of construction on loess subsidence in the soil / M.Yu.Abelev [et al.]. M.: DIA, 2023. 144 p.
10. Mustakimov V. R. Artificial foundations of buildings and structures on subsident soils. Moscow: Yurayt, 2023. 220 p.
11. Calculation justification of the degree of uneven loading in order to reduce the depth of the compressible thickness / Ya. A. Pronozin, L. A. Bartolomey, V. G. Sokolov, E.S. Otrasonova // Modern problems of science and education. 2013. No. 4. pp. 122 – 128.
12. Vasenin V. A. Analysis of the criterion for limiting compressible thickness in weak soils for various models of creep accounting // Foundations, foundations and mechanics of soils. 2021. No. 4. pp. 7-12.
13. Stukateev D. R. Elimination of subsidence properties of soils by means of preliminary soaking in conditions of dense urban construction // Young scientist. 2018. No. 26 (212). pp. 56 – 58.
14. Dashyamts D. Theoretical foundations of optimal solutions for the design of basements and foundations of buildings in structurally unstable soils. Diss.doc . technology. Science (Doctor of Technical Sciences). UB.: SHUTS-1001, 1998. 377 p.
15. Kuo Yu. L. The influence of soil variability on the bearing capacity of supports on multilayer soil. According to the dissertation submitted for the degree of Doctor of Philosophy (PHD), 2008. 341 p.
16. Nyamdorzh S. Foundations and basement rooms of buildings and structures in subsident soils. Ulaanbaatar: Print. MUST, 2021. 261 p.
17. Chenari R., Mahigir A. The influence of spatial variability and anisotropy of soils on the bearing capacity of shallow foundations // Journal of Civil Engineering Infrastructure (CEIJ), December 2014. Volume 47 (2). pp. 199 – 213.