

УДК 622.271.3

ПОВЫШЕНИЕ ФИЛЬТРАЦИОННОЙ УСТОЙЧИВОСТИ БОРТОВ КАРЬЕРА ИМ. В. ГРИБА

Л. А. Еланцева, С. В. Фоменко

Проанализированы гидрогеологические условия, способ отработки месторождения, осушаемые водоносные пласты и источники формирования притоков подземных вод в карьере. Повышение устойчивости бортов карьера предлагается осуществлять с помощью горизонтальных дренажных скважин, сооружаемых из карьера, с целью перехвата проскока подземных вод в карьер и дренажа падунского водоносного комплекса. Разработана математическая модель фильтрации подземных вод, с использованием которой установлена эффективность сооружения горизонтальных дренажных скважин для интенсификации процесса осушения падунских отложений в прибортовом массиве карьера.

Ключевые слова: водопонижающие скважины, карьерный водоотлив, горизонтальные дренажные скважины, численное моделирование.

При эксплуатации кимберлитового месторождения им. В. Гриба особый интерес представляет осушение прибортового массива сооружаемыми из карьера горизонтальными дренажными скважинами, сооружение которых актуально в связи с их высокой водозахватной способностью на участках распространения обводненных толщ, возможностью самотечного отведения дренажных вод, а также параллельным ведением дренажных и горных работ в карьере.

Алмазоносная трубка залегает среди осадочных терригенных пород рифея и венда мощностью свыше 1000 м, сверху перекрыта толщей каменноугольных терригенно-карбонатных образований и четвертичных рыхлых отложений суммарной мощностью до 80 м [1 – 2].

В геологическом разрезе месторождения выделяют два структурных этажа: кристаллический фундамент нижнего протерозоя и осадочный чехол терригенных образований рифея и венда, а также терригенных и карбонатных отложений палеозоя и кайнозоя. Мощность осадочных пород достигает 3...4 км в понижениях рельефа и 0,5...1,0 км на возвышенных участках.

В районе месторождения распространены следующие гидрогеологические подразделения:

- локально распространенный в песчано-глинистых озерно-аллювиальных, флювиогляциальных, морских и ледниковых отложениях четвертичный водоносный горизонт, приуроченный к палеодолинам и депрессиям дочетвертичного рельефа. Коэффициенты фильтрации пород колеблются в пределах 0,1...2,3 м/сут;

- среднекаменноугольные водоносные горизонты: безнапорный олмутско-окуневский, распространенный в карбонатных породах (доломи-

тах) мощностью 11...26 м и урзугско-воереченский, приуроченный к терригенным породам (песчаникам, аргиллитам) мощностью 20...46 м. Палеозойские отложения характеризуются относительно высокими коэффициентами фильтрации 2...10 м/сут и более;

- высоконапорные верхнепротерозойские водоносные комплексы: падунский, приуроченный к мелко- и среднезернистым песчаникам с прослоями алевролитов и аргиллитов с коэффициентами фильтрации 1,2...1,8 м/сут и мезенский, распространенный в алевролитах, аргиллитах и песчаниках с коэффициентами фильтрации 0,02...0,04 м/сут.

Отработка месторождения осуществляется поверхностным способом (карьером), дренажу подвергаются все водоносные горизонты, залегающие над рабочим пластом.

Трубка расположена в зоне с активной гидравлической взаимосвязью между поверхностными и подземными водными объектами. В формировании водопритоков в карьер участвуют подземные воды и атмосферные осадки.

Установлено, что основную роль в обводнении карьера играет падунский водоносный комплекс, отличающийся неоднородностью литологического состава, наличием зон слабосцементированных песчаников, обладающих свойствами, близкими к плавунным пескам. При этом подземные воды оказывают взвешивающее воздействие на скелет породы, уменьшают в породе внутреннее трение, снижают сопротивление сдвигу и способствуют понижению устойчивости откоса бортов карьера.

Горные работы в карьере ведутся под защитой дренажного контура, насчитывающего 75 поверхностных водопонижающих скважин (ВПС), заложенных на падунский водоносный комплекс, с которым совместно дренируются среднекаменноугольные и четвертичные водоносные горизонты, и карьерного водоотлива, отводящего проток подземных вод через контур ВПС и атмосферные осадки.

Суммарный объем дренажных вод, откачиваемых ВПС, составляет порядка 5...7 тыс. м³/ч, а отбираемый устройствами карьерного водоотлива – 0,7...1 тыс. м³/ч. Под влиянием дренажа сформировались депрессионные воронки в осушаемых водоносных горизонтах радиусом более 5 км.

Сложность гидрогеологических условий открытой отработки месторождения заключается во вскрытии многослойной водоносной толщи с различной проницаемостью осадочных образований и значительных водопритоках к системе дренажа, что способствует отставанию процесса осушения от темпов развития горных работ в карьере и приводит к формированию бортов карьера в недоосушенных падунских отложениях. Нестабильность энергообеспечения водопонижающих скважин нарушает устойчивость прифильтрового массива горных пород, приводит к образованию открытых пустот, разуплотнению горного массива в зоне эксплуа-

тации скважин и создает условия для образования неустойчивых зон в бортах карьера.

Дренаж переходной зоны между падунскими и мезенскими отложениями предложено осуществлять горизонтальными дренажными скважинами (ГДС), сооружаемыми непосредственно из карьера в откос уступа бортов карьера, для осушения падунского водоносного комплекса, где не обеспечивается осушение ВПС, и перехвата проскока подземных вод в карьер.

В результате низкой проводимости приподошвенной части падунских отложений высота высачивания на бортах карьера достигает 50 м, подстилающие мезенские глинистые породы образуют относительно водупорный комплекс, что усугубляет отставание снижения уровня подземных вод от темпов углубки карьера в процессе дальнейших горных работ.

Для доказательства интенсификации процесса осушения падунских отложений в прибортовом массиве карьера с применением ГДС разработана численная геофильтрационная модель, позволяющая учитывать отличительные геолого-гидрогеологические свойства месторождения, все технологические элементы дренажа, нахождение трубки в зоне активного водообмена между поверхностными и подземными водами.

Задачи прогноза и моделирования горизонтальных дренажных скважин рассматривались в работах Пономаренко Ю. В., Котлова С. Н., Гензеля Г. Н. [3 – 6] и других российских и зарубежных авторов [7 – 14].

В статье рассматривается моделирование по широко используемой в Российской Федерации лицензионной программе MODFLOW системы GMS, которая реализует пространственную фильтрацию подземных вод в многослойном массиве методом конечных разностей.

Водоносный массив реализован на модели как многослойный. К верхнему слою отнесены четвертичные песчано-глинистые озерно-аллювиальные и олмугско-окуневские карбонатные отложения. Второй слой представлен урзугско-воереченскими песчаниками с прослоями аргиллитов. За третий слой приняты падунские песчаники с прослоями алевролитов и аргиллитов. Нижний слой включает мезенские образования, сложенные аргиллитами и алевролитами с прослоями песчаников.

Инфильтрационное питание атмосферными осадками задавалось в соответствии с подземным стоком 20 % от среднегодовой интенсивности атмосферных осадков (570 мм в год или 0,0016 м/сут).

Эксплуатация водопонижающих скважин реализована на модели граничными условиями (ГУ) II рода в соответствии с данными о фактическом водоотборе с учетом несоответствия размеров скважины и блока сеточной модели, изменения фильтрационных свойств пород в прифильтровой зоне скважины [15].

Условия питания или разгрузки подземного потока из рек заданы на модели ГУ III рода с поддержанием уровня, соответствующего отметкам уреза воды.

Условия питания или разгрузки подземного потока из озер и хвостохранилища реализованы на модели ГУ III рода с заданием уровня подземных вод на отметках, отвечающих отметкам фактического заполнения водоемов.

Дополнительное фильтрационное сопротивление в каждом случае определялось в зависимости от вида несовершенства границы по общепринятой в моделировании методике [15 – 16].

Условия разгрузки подземного потока устройствами карьерного водоотлива (проскок через контур ВПС и атмосферные осадки) реализованы на модели ГУ I рода по отметкам, соответствующим $h + h_{\text{в}}$, где h – абсолютная отметка подошвы вскрытой части отложений, $h_{\text{в}}$ – высота высачивания на бортах карьера. Высота высачивания определялась по зависимости

$$h_{\text{в}} = 0,75 \frac{q_0}{k} (m+1),$$

где $h_{\text{в}}$ – высота высачивания; q_0 – единичный расход фильтрационного потока; k – коэффициент фильтрации; m – заложение борта карьера,

Условия разгрузки подземного потока ГДС заданы на модели ГУ III рода с поддержанием уровня подземных вод на отметке, отвечающей глубине заложения скважин в откос борта карьера, через дополнительное фильтрационное сопротивление, которое учитывает несовершенство стока на плановой модели и несоответствие размеров блока модели и радиуса скважины [15].

Результаты моделирования представлены в таблице и на рис. 1, 2.

Водоприток к системе дренажа карьера

| Месяцы | Водоприток, м ³ /ч | | | |
|--------|-------------------------------|---------------------|------|-------|
| | ГДС | Карьерный водоотлив | ВПС | Всего |
| 4 | 850 | 510 | 6500 | 7860 |
| 8 | 830 | 560 | 6500 | 7880 |
| 12 | 810 | 600 | 6500 | 7910 |

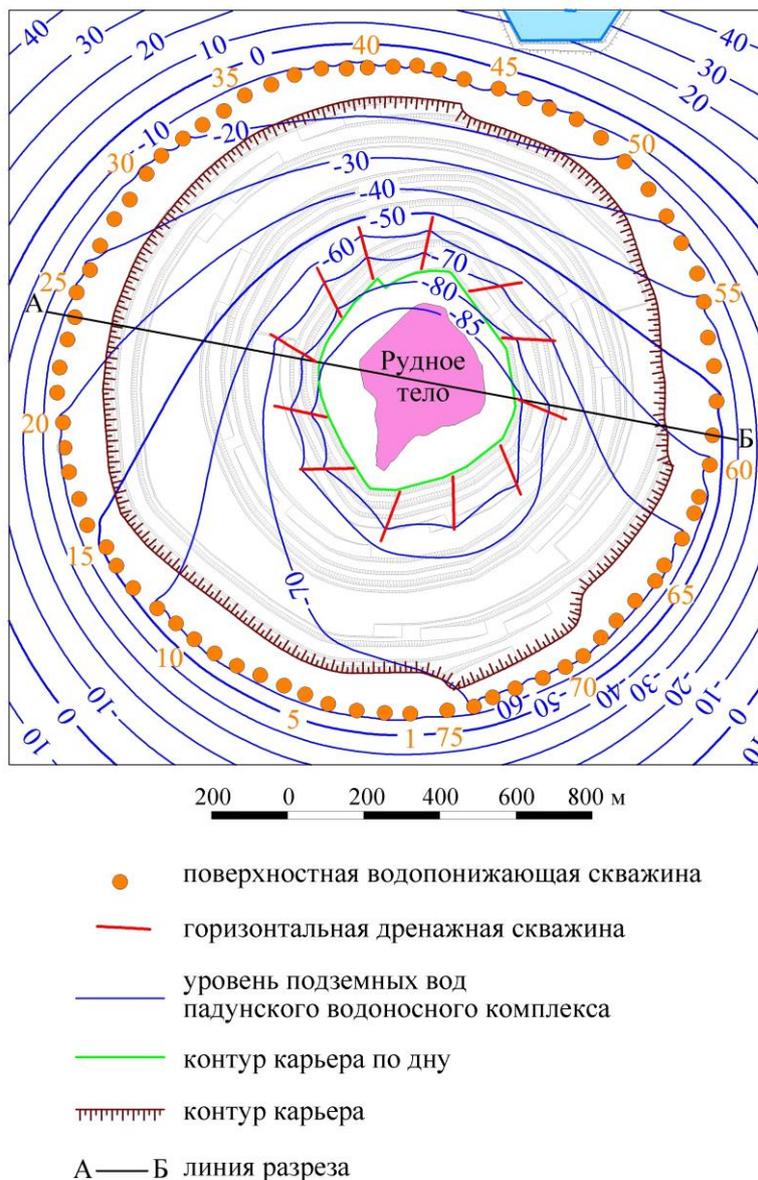


Рис. 1. Прогнозное положение уровня подземных вод падунского водоносного комплекса при эксплуатации ГДС

Как показывают результаты моделирования, эксплуатация в течение 1 года 12 горизонтальных дренажных скважин длиной по 150 м способствует снижению высоты высачивания на бортах карьера на 15 – 20 м, падению уровня подземных вод в падуновском водоносном комплексе на внешнем дренажном контуре ВПС на 5 – 10 м.

В карьере сооружены четыре опытные горизонтальные дренажные скважины в стенку борта карьера. При эксплуатации скважин наблюдалось уменьшение высоты высачивания на борту карьера до 20 м, водоприток к одной скважине достигал 60...90 м³/ч.

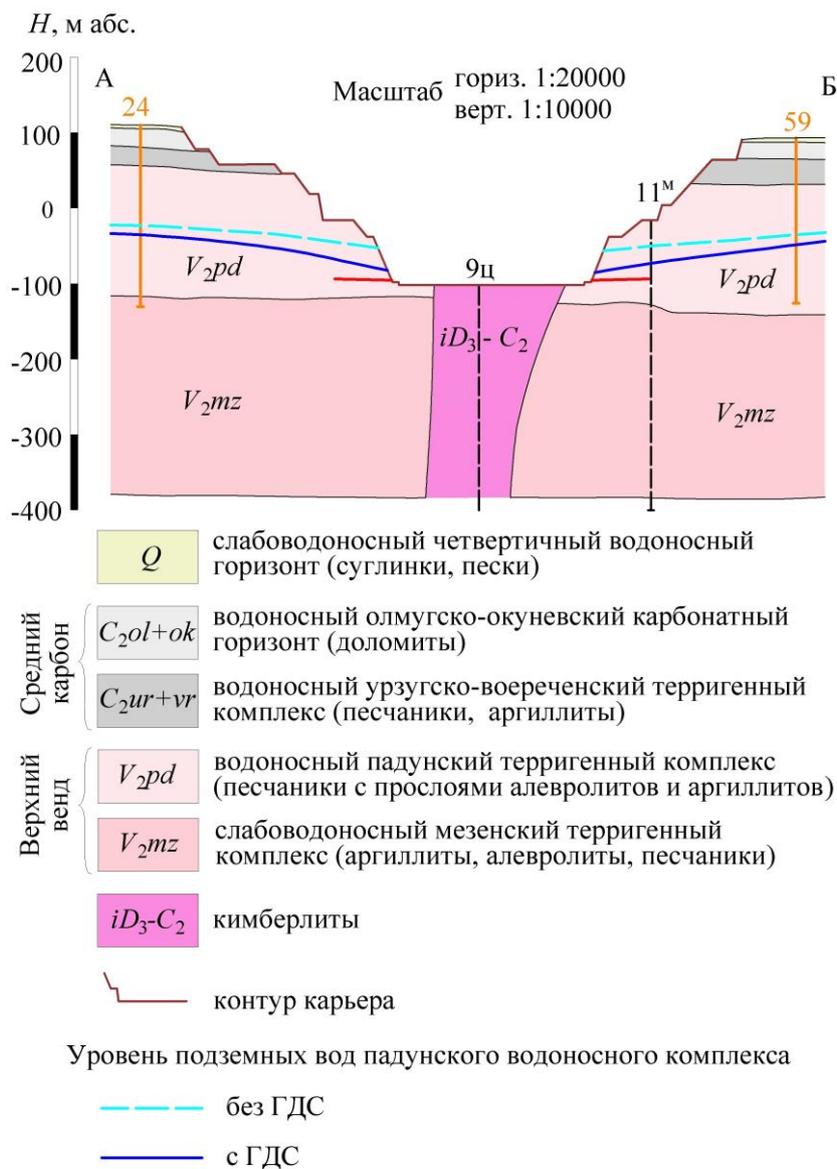


Рис. 2. Гидрогеологический разрез

Это указывает на наличие в прибортовом массиве ощутимых запасов подземных вод с достаточно высокими напорами и доказывает эффективность применения горизонтальных дренажных скважин для интенсификации осушения прибортового массива.

Список литературы

1. Харьков А. Д., Зинчук Н. Н., Крючков А. И. Коренные месторождения алмазов мира. М.: Недра, 1998. 555 с.
2. Богатиков О. А., Гаранин В. К., Кононова В. А. Архангельская алмазоносная провинция (геология, петрография, геохимия и минералогия). М.: Изд-во МГУ, 1999. 524 с.

3. Воронин А. А., Пономаренко Ю. В. Об эффективности горизонтальных дренажных скважин при осушении бортов карьеров // Научные ведомости. Сер. Естественные науки. 2011. № 21 (116). Вып. 17. С. 179-182.
4. Еланцева Л. А., Зайцев Д. А., Фоменко С. В. Гидрогеологические прогнозы в целях осушения месторождения алмазов им. В. Гриба // Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов. 2019. Т. 330. № 7. С. 53-61.
5. Котлов С. Н., Шамшев А. А. Численное геофильтрационное моделирование горизонтальных дренажных скважин // Горный информационно-аналитический бюллетень. 2019. № 6. С. 45-55.
6. Обеспечение фильтрационной устойчивости песчаных уступов борта карьера методом лучевого дренажа / А. В. Крючков, Г. Н. Гензель, Д. А. Зайцев, И. Н. Федоренко // Горный журнал. 2021. № 6. С. 27-31.
7. Еланцева Л. А., Зайцев Д. А., Фоменко С. В. Применение горизонтальных дренажных скважин для осушения прибортового массива в карьере месторождения алмазов им. В. Гриба // Сб. науч. тр. междунар. науч.-практич. конф. Стратегия развития геологического исследования недр: настоящее и будущее (к 100-летию МГРИ–РГГРУ). Москва, 4–6 апреля 2018 г. / ред. коллегия: В.А. Косьянов, В.В. Куликов, О.С. Брюховецкий. М.: Изд-во НПП «Фильтроткани», 2018. Т. 2. С. 230-231.
8. Геомеханическое обеспечение устойчивости бортов карьера при увеличении глубины отработки / Б. С. Мухаметкалиев, Е. С. Калюжный, С. А. Съедина, Н. К. Абдибеков // Горный журнал. 2018. № 4. С. 27-32.
9. Управление устойчивостью бортов карьеров как основа обеспечения ответа на глобальные вызовы / А. Б. Макаров, И. С. Ливинский, В. И. Спирин, А. А. Павлович // Известия Тульского государственного университета. Науки о Земле. 2021. Вып. 3. С. 188-202.
10. Горшков Н. И., Краснов М. А., Жданова С. М. Напряженно-деформированное состояние и устойчивость бортов карьера Унгличикан // Известия вузов. Горный журнал. 2021. № 6. С. 42-56.
11. Современные средства оценки устойчивости бортов карьеров и откосов отвалов / И. К. Фоменко, Д. Н. Горобцов, М.А. Новгородова, О. Н. Сироткина // Сб. науч. тр. междунар. научн.-практич. конф. Горнодобывающая промышленность в 21 веке: вызовы и реальность. Мирный, 15–16 сентября 2021 г. / отв. ред. И. В. Зырянова, И. Ф. Бондаренко, Мирный: Изд-во АК «АЛРОСА», 2021. С. 29-32.
12. Design Guidelines for Horizontal Drains used for Slope Stabilization / G. M. Pohll [and others]. Reno, NV: Desert Research Institute, 2013. 377 p.
13. Beale G., Read J. Guidelines for Evaluating Water in Pit Slope Stability. Collingwood Australia: CSIRO Publishing, 2013. 615 p.

14. Cao Z., Wang Y., Li D. Probabilistic Approaches for Geotechnical Site Characterization and Slope Stability Analysis. Berlin Heidelberg: Springer-Verlag, 2017. 190 p.

15. Фисун Н. В., Ленченко Н. Н. Динамика подземных вод. М.: Научный мир, 2016. 268 с.

16. Ломакин Е. А., Мироненко В. А., Шестаков В. М. Численное моделирование геофильтрации. М.: Недра, 1988. 228 с.

Еланцева Людмила Алексеевна, канд. геол.-минер. 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

IMPROVING OF FILTRATION STABILITY OF THE QUARRY SIDES NAMED BY V. GRIB

L. A. Elantseva, S. V. Fomenko

The hydrogeological conditions of the deposit, the method of mine development, drained aquifers and sources of formation of water inflows into the quarry are analyzed. It is proposed to improve of stability of quarry sides by using of horizontal drainage wells constructed from the quarry to intercept of groundwater flowing into the quarry and drain the Padun aquifer complex. A mathematical model of groundwater filtration has been developed. By using of this model the effectiveness of horizontal drainage wells construction for intensifying of dewatering process of Padun deposits at the near-edge massif of a quarry has been established.

Key words: dewatering wells, open pit drainage, horizontal drainage wells, numerical simulation.

Elantseva Lyudmila Alekseevna, candidate of geol.-min. 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

Reference

1. Kharkiv A.D., Zinchuk N. N., Kryuchkov A. I. The indigenous diamond deposits of the world. М.: Nedra, 1998. 555 p.

2. Bogatkov O. A., Garanin V. K., Kononova V. A. Arkhangelsk diamond-bearing province (geology, petrography, geochemistry and mineralogy). Moscow: Publishing House of Moscow State University, 1999. 524 p.

3. Voronin A. A., Ponomarenko Yu. V. On the efficiency of horizontal drainage wells when draining the sides of quarries // Scientific Vedomosti. Ser. Natural sciences. 2011. No. 21 (116). Issue. 17. pp. 179-182.

4. Elantseva L. A., Zaitsev D. A., Fomenko S. V. Hydrogeological forecasts for the purpose of draining the diamond deposit named after V. Grib //

Proceedings of Tomsk Polytechnic University. Geore-surov engineering. 2019. Vol. 330. No. 7. pp. 53-61.

5. Kotlov S. N., Shamshev A. A. Numerical geofiltration modeling of horizontal drainage wells // Mining Information and Analytical Bulletin. 2019. No. 6. pp. 45-55.

6. Ensuring filtration stability of sand ledges of the side of the quarry by the method of radial drainage / A.V. Kryuchkov, G. N. Hansel, D. A. Zaitsev, I. N. Fedorenko // Mining Journal. 2021. No. 6. pp. 27-31.

7. Elantseva L. A., Zaitsev D. A., Fomenko S. V. Application of horizontal drainage wells for drainage of the instrument array in the quarry of the diamond deposit named after V. Grib // Sb. nauch. tr. international scientific-practical conf. Strategy for the development of geological exploration of the subsurface: present and future (to the 100th anniversary of MGRI–RGGRU). Moscow, 4-6 April 2018 / Editorial Board: V.A. Kosyanov, V.V. Kulikov, O.S. Bryukhovetsky. M.: Publishing House of NPP "Filterkani", 2018. Vol. 2. pp. 230-231.

8. Geomechanical stability assurance of the sides of the quarry with an increase in the depth of mining / B. S. Mukhametkaliev, E. S. Kalyuzhny, S. A. Sedina, N. K. Abdibekov // Mining Journal. 2018. No. 4. pp. 27-32.

9. Managing the stability of quarry sides as a basis for providing a response to global challenges / A. B. Makarov, I. S. Livinsky, V. I. Spirin, A. A. Pavlovich // Izvestiya Tula State University. Earth sciences. 2021. Issue 3. pp. 188-202.

10. Gorshkov N. I., Krasnov M. A., Zhdanova S. M. The stress-strain state and stability of the sides of the Unglichikan quarry // Izvestiya vuzov. Mining magazine. 2021. No. 6. pp. 42-56.

11. Modern means of assessing the stability of the sides of quarries and slopes of dumps / I. K. Fomenko, D. N. Gorobtsov, M.A. Novgorodova, O. N. Sirotkina // Sb. nauch. tr. international scientific.- practical conf. Mining industry in the 21st century: challenges and reality. Mirny, September 15-16, 2021 / ed. by I. V. Zyryanova, I. F. Bondarenko, Mirny: Publishing House of AK "ALROSA", 2021. pp. 29-32.

12. Design Guidelines for Horizontal Drains used for Slope Stabilization / G. M. Pohll [and others]. Reno, NV: Desert Research Institute, 2013. 377 p.

13. Beale G., Read J. Guidelines for Evaluating Water in Pit Slope Sta-bility. Col-lingwood Australia: CSIRO Publishing, 2013. 615 p.

14. Cao Z., Wang Y., Li D. Probabilistic Approaches for Geotechnical Site Charac-terization and Slope Stability Analysis. Berlin Heidelberg: Springer-Verlag, 2017. 190 p.

15. Fisun N. V., Lenchenko N. N. Dynamics of groundwater. M.: Scientific world, 2016. 268 p.

16. Lomakin E. A., Mironenko V. A., Shestakov V. M. Numerical modeling of geofiltration. M.: Nedra, 1988. 228 p.