

УДК 622.271.6:532.5

Усанов Сергей Валерьевич

кандидат технических наук,
заведующий лабораторией
сдвижения горных пород,
Институт горного дела УрО РАН,
620075, г. Екатеринбург,
ул. Мамина-Сибиряка, 58
e-mail: usv@igduran.ru

Мельник Виталий Вячеславович

кандидат технических наук,
заведующий отделом геомеханики,
Институт горного дела УрО РАН
e-mail: melnik@igduran.ru

Усанова Анна Витальевна

научный сотрудник,
Институт горного дела УрО РАН
e-mail: anne.usanova@gmail.com

**РЕСТАВРАЦИЯ
ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ
ДРЕНАЖНОЙ СИСТЕМЫ КАРЬЕРА
ГИДРОДИНАМИЧЕСКИМ СПОСОБОМ****Аннотация*

Закрытый трубчатый дренаж является частью сложной дренажной системы Соколовского карьера и расположен на площадках уступов верхних горизонтов. За пятьдесят лет с момента строительства дренажа эффективность его работы существенно снизилась, что вызвало обводнение верхних уступов и увеличение количества деформационных процессов. Во многом эффективность дренажа снизилась из-за засорения труб. Объектом исследования являются засоры перфорированных труб и водопритоки по ним к водосбросным скважинам. Цель работы – исследовать кольматацию горизонтального трубчатого дренажа, оценить протяженность и частоту засоров труб, а также влияние кольматации на водопритоки к водосбросным скважинам. Методы исследования: анализ горно-геологических условий прибортового массива Соколовского карьера, замеры водопритоков из горизонтального трубчатого дренажа до и после прочистки труб, гидродинамическая прочистка труб. В результате исследований установлены локации закольматированных участков труб, определены протяженности засоров, увеличена пропускная способность дренажа и даны рекомендации по поддержанию эффективного водоотлива на верхних горизонтах карьера.

Ключевые слова: водоносный горизонт, водопри-
токи, горизонтальный трубчатый дренаж, водо-
сбросная скважина, засоры, гидродинамическая
промывка, открытые горные работы, деформа-
ции уступов, снижение обводненности

DOI: 10.25635/2313-1586.2019.04.130

Usanov Sergey V.

Candidate of Engineering Sciences,
Head of the Laboratory
for Rock Mass Deformation,
Institute of Mining, Ural Branch of RAS,
620075, Ekaterinburg,
58 Mamina-Sibiryaka Str.,
e-mail: usv@igduran.ru

Melnik Vitaly V.

Candidate of Engineering Sciences,
Head of the Department of Geomechanics,
Institute of Mining, Ural Branch of RAS,
e-mail: melnik@igduran.ru

Usanova Anna V.

Researcher, Institute of Mining,
Ural Branch of RAS,
e-mail: anne.usanova@gmail.com

**RESTORATION OF PERFORMACE
OF THE DRAINAGE SYSTEM
OF OPEN-PIT MINE
BY HYDRODYNAMIC METHOD***Abstract:*

The closed tubular drainage is a part of the complex drainage system of the Sokolovskiy open-pit mine and is located on the berms of the upper horizons. Over the fifty years since the construction of the drainage, its efficiency has significantly decreased, which caused flooding of the upper berms and an increase in the number of deformation processes. In many ways, the drainage efficiency has decreased due to clogged pipes. The object of study is the clogged perforated pipes and the flow of water through them to spillway wells. The aim of the work is to study the colmatation of the horizontal tubular drainage, to evaluate the length and frequency of the pipe clogs, as well as the effect of colmatation on water inflows to the spillway wells. Methods of study: analysis of the mining and geological conditions of the rock mass at the sides of the Sokolovskiy open-pit mine, measurements of water inflows from the horizontal tubular drainage before and after pipe cleaning, hydrodynamic pipe cleaning. As a result of the study, the locations of the colmated pipe sections and the clog lengths have been determined, the drainage capacity has been increased, and the recommendations have been made on maintaining the effective drainage in the upper horizons of the open-pit mine.

Key words: aquifer, water inflows, horizontal tubular
drainage, spillway, clogs, hydrodynamic flushing,
open-pit mining, berm deformation, reduced water cut

* Работа выполнена в рамках Госзадания № 075-00581-19-00, тема № 0405-2019-0007

Введение

Горные работы на Соколовском карьере, расположенном в Костанайской области Республики Казахстан, начаты в январе 1955 г. [1]. К 2017 г. вынута более 1 млрд м³ горной массы, а глубина горных работ достигла 525 м. Доработка карьера с учетом разности и углубки продлится порядка 20 лет.

На карьере действует сложная система водопонижения [2, 3, 4], которая развита по всему периметру месторождения и охватывает четыре водоносных горизонта Соколовского месторождения: 1) водоносный горизонт четвертичных отложений; 2) водоносный горизонт неогеновых отложений; 3) водоносный горизонт олигоценых отложений; 4) водоносный комплекс мел-палеогеновых отложений.

Водопонижительная система Соколовского карьера состоит из внутрикарьерных дренажных устройств и подземного дренажного комплекса. Внутрикарьерные дренажные устройства включают в себя горизонтальные трубчатые дренажи по меловому и неоген-олигоценному водоносным горизонтам, дренажные каналы, 2 зумпфа, ливнесточную систему, ливнеприемники. Подземный дренажный комплекс Соколовского карьера включает два шахтных ствола шахт «Южная-2» и «Южная-Вентиляционная», расположенных за пределами карьера, и подземные горизонтальные дренажные выработки протяженностью 12 км по периметру карьера. С поверхности в штреки пробурены сквозные фильтры, оборудованные фильтрами на меловой водоносный горизонт, а также есть система водосбросных скважин. Из штрека на меловой водоносный горизонт пробурены восстающие скважины.

Дренаж четвертичного и олигоценного водоносных горизонтов в виде горизонтального трубчатого дренажа расположен на абсолютных отметках 165 – 170 м по периметру карьера. Конструкция дренажа представлена канавой, пройденной в водоупоре, по дну которой смонтированы перфорированные асбоцементные трубы диаметром 300 мм [5, 6]. В качестве фильтрующего слоя использован щебень фракции 5 – 20 мм, которым покрыты канава и асбоцементные трубы. Вода из горизонтального дренажа сбрасывается в подземную дренажную систему самотеком. После ввода в эксплуатацию в семидесятых годах прошлого века эффективность дренажа сильно снизилась.

При длительной эксплуатации горизонтального трубчатого дренажа (более 10 лет) происходит заиливание асбоцементных труб мелкозернистым песком и глинистыми частицами [7, 8, 9]. При выходе воды из водоносного горизонта происходит ее обогащение кислородом, окисляются ионы железа, меди и алюминия, которые выпадают в осадок, происходит коагуляция дренирующего слоя, перфорация асбоцементных труб зарастает отложениями. Эти процессы приводят к постепенному снижению дренирующих функций, вплоть до полного прекращения водотоков.

Средние значения водопритоков из горизонтального трубчатого дренажа в подземный дренажный комплекс по результатам мониторинга за последние 15 лет по меловому и неоген-олигоценному горизонтам уменьшились на 15 – 30 % при сохраняющихся значительных напорах подземных вод. Водопропускная способность дренажных выработок (сквозных фильтров, восстающих скважин, закрытого трубчатого дренажа и др.) значительно сократилась, в связи с чем вырос уровень обводненности прибортовых массивов карьера.

Деформирование уступов при увлажнении

В бортах карьера по состоянию на 2017 г. зарегистрировано 38 деформационных участков различного масштаба (рис. 1). Неогеновые суглинки, супеси и олигоценые пески в осушенном состоянии устойчивы, в обводненном – приобретают текучее состояние. Меловые пески в осушенном состоянии устойчивы, а при интенсивных выходах воды уступы подвержены размыву. Деформации проявляются концентрированно, на одних и тех же участках карьера, которые можно условно

объединить в группы: 1) северная; 2) восточная; 3) южная; 4) западная. В палеозойском фундаменте деформационные процессы менее развиты по сравнению с рыхлой мезокайнозойской толщей [10, 11]. Только шесть деформаций из тридцати восьми произошли в палеозойских породах. В связи с этим в Соколовском карьере возникла необходимость снижения обводненности верхних уступов.

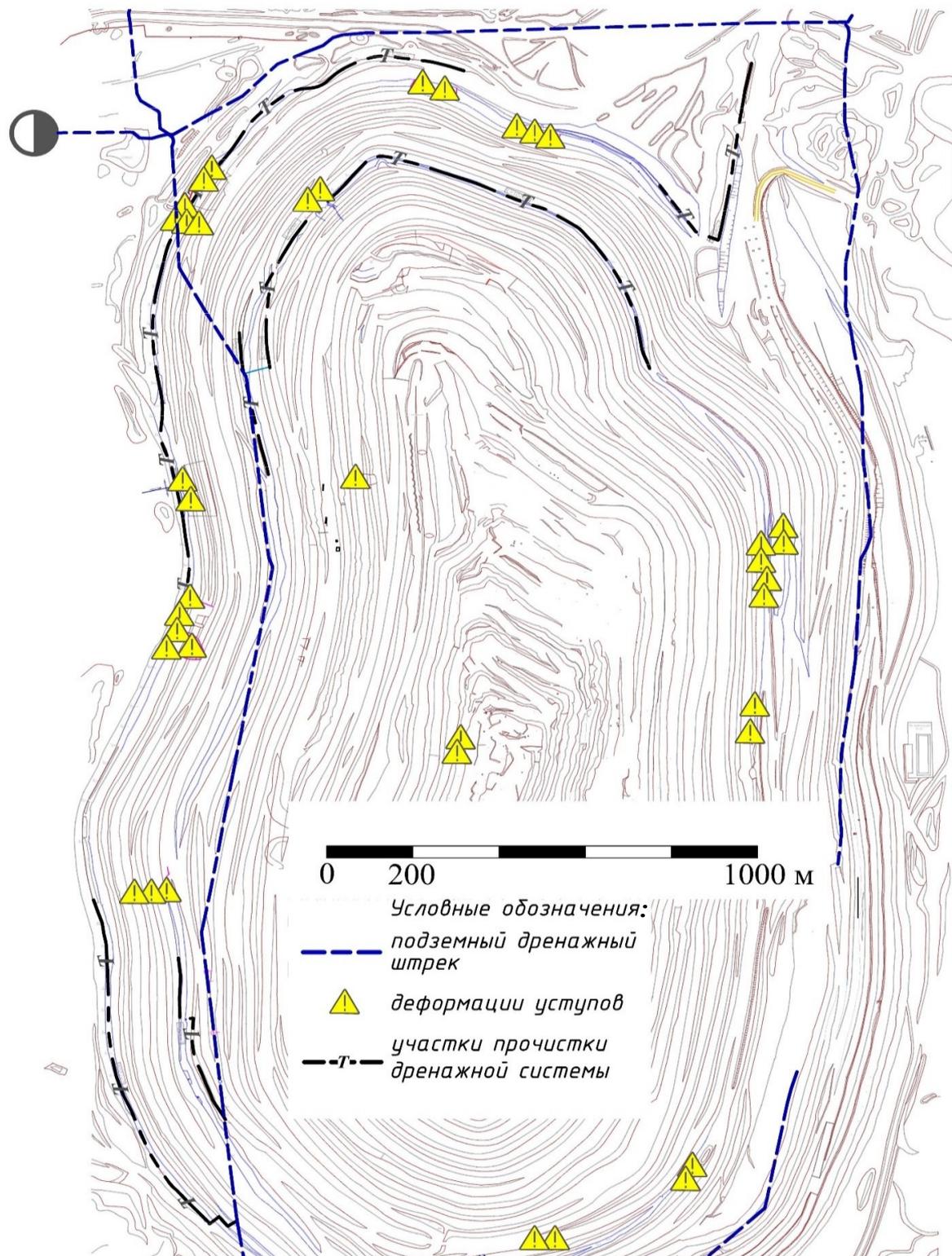


Рис. 1 – Схема расположения экспериментальных участков гидродинамической промывки горизонтального трубчатого дренажа Соколовского карьера

Очевидным решением проблемы снижения обводненности является восстановление работоспособности горизонтального трубчатого дренажа. Повышение пропускной способности дренажной системы снизит обводненность рыхлых отложений неоген-олигоценового и мелового водоносных горизонтов, выходящих непосредственно в борта карьера, а следовательно, в перспективе повысит устойчивость уступов [12]. Однако по всему карьере протяженность открытого дренажа превышает 20 км, поэтому валовое вскрытие и замена перфорированных труб становятся экономически непосильны для карьера. Адресное вскрытие дренажных труб только в местах засоров невозможно, так как такие места не установлены. В связи с этой проблемой целью работы является исследование закольматированности горизонтального трубчатого дренажа на верхних уступах западного и северного бортов Соколовского карьера, оценить протяженность и локации засоров труб, а также снизить влияние кольматации на водопритоки к водосбросным скважинам, снизить обводненность верхних уступов карьера и тем самым повысить их устойчивость.

Методика исследований

Трубчатый дренаж расположен на гор. +170 м/+165 м – олигоценый водоносный горизонт; гор. +100 м/+80 м – меловой водоносный горизонт. Для определения протяженности закольматированных участков горизонтального трубчатого дренажа и влияния кольматации на водопритоки выбрано несколько обособленных участков на верхних горизонтах западного и северного бортов, которые находятся на проектном контуре (рис. 1). Всего по условиям доступности трубчатого дренажа для оборудования и с учетом наибольшего обводнения бортов выбрано семь обособленных участков дренажной системы на горизонтах +170 и +85 м. Общая длина экспериментальных участков составляет 6000 м.

В качестве метода оценки протяженности и частоты засоров труб использован гидродинамический способ, который позволяет исследовать трубопровод без вскрытия, расстыковок и повреждений [13]. Мощные струи воды из специального сопла под давлением 150 атмосфер создают гидродинамическую ударную нагрузку на закольматированный участок, при этом давление в самом трубопроводе не создается. Подача воды и маневренность сопла осуществляется при помощи гибкого шланга. В зависимости от конкретных условий кольматации горизонтального трубчатого дренажа на сопло агрегата одевается одна из форсунок – роторная, пробивная и др. В ходе гидродинамической прочистки перфорированных труб на плане отмечались наиболее закольматированные участки и протяженность засоренного участка в трубе. Измерения протяженности засоров выполнены по длине гибкого шланга, погруженного в трубу.

Гидродинамическая прочистка горизонтального трубчатого дренажа ведется в сторону восстания трубы. После удаления засора и прочистки трубы ведется визуальный контроль возобновления или увеличения водотока из трубы, а оценка состояния трубы выполнена с помощью инспекции телевизионным оборудованием.

Доступ шланга с соплом в трубчатый дренаж осуществляется из бетонных колодцев – элементов горизонтального трубчатого дренажа [14, 15]. Колодцы так же, как и перфорированные трубы, в значительной степени засорены (табл. 1). Для определения глубины заиленности использовано специальное илососное оборудование.

Результаты исследований

Вертикальные колодцы трубчатого горизонтального дренажа, состоящие из четырех бетонных колец, заполнены водой в нижней части на большинстве обследованных участков (см. табл. 1). Это значит, что вода не дренируется, а находится в застойном состоянии, а дренаж практически не работает. Максимальная глубина заполнения колодцев водой на меловом горизонте составляет 2,5 м от дна, а по олигоценовому 1,5 м.

Максимальная глубина заиленности колодцев достигала 0,5 м.

Кроме наполненности водой большинство колодцев оказались заиленными. Максимальная глубина донных отложений достигала 0,5 м. С учетом эксплуатации дренажа около 50 лет максимальная скорость заиливания колодцев составляет порядка 0,01 м в год.

Таблица 1

Данные по уровню воды в дренажных колодцах до прочистки

№ участка	Местоположение участка	Протяженность участка, м	Количество колодцев	Средний уровень воды в колодце, м
1	Гор. +170 Север	360	9	0
2	Гор. +170 Северо-Запад	1150	20	0,4
3	Гор. +170 Юго-Запад	720	13	0,6
4	Гор. +170 Северо-Восток	640	9	0,5
5	Гор. +85 Север, Запад	1329	21	1,8
6	Гор. +90 Запад	450	4	0,7
7	Горизонтальные скважины Соколовского карьера	351	-	0,6

При гидродинамической прочистке горизонтальных труб установлено, что в некоторых местах материал, которым забиты трубы, превратился в монолитные твердые куски (рис. 2). Наиболее распространены засоры из корней растений, которые при промывке очищаются от минеральных наростов, но продолжают препятствовать прохождению воды по трубе. В таких случаях для среза корней на гибкий шланг, погруженный в трубу, устанавливались фрезерные насадки.

В среднем закольматированные участки в горизонтальных трубах дренажа составляли 1 – 3 м. Наиболее протяженные участки кольматации находятся в юго-западной части карьера на гор. +170 м, где их длина достигала 10 м.

По результатам наблюдений за три месяца до и после прочистки дренажа по всем объектам водопонижающего комплекса карьера произошло перераспределение водопритоков. После гидродинамической прочистки закрытого дренажа протяженностью 6000 м водопритоки в зумпф на дне карьера снизились, а водопритоки в подземном дренажном штреке, куда через водосбросные скважины сбрасывается вода из горизонтального трубчатого дренажа, увеличились. Водопритоки в зумпф карьера с августа (начало работ) по октябрь (окончание работ) 2018 г. снизились на 47 000 м³/мес при увеличении атмосферных осадков за этот период на 8 184 м³/мес (табл. 2). Это значит, что в сентябре карьерные воды стали эффективнее перехватываться на бортах, не доходя до зумпфа. Единственным действием, способствовавшим перехвату воды на верхних горизонтах, были гидродинамические манипуляции с трубчатым дренажом.



Рис. 2 – Фрагмент органо-минерального материала, из которого состоит засор трубчатого дренажа

Таблица 2

**Изменение водопритоков в карьер за август – октябрь 2018 г.
(до и после гидродинамической прочистки горизонтального трубчатого дренажа)**

Наименование притока	Август		Сентябрь		Октябрь	
	м ³ /час	м ³ /мес.	м ³ /час	м ³ /мес.	м ³ /час	м ³ /мес.
Приток к карьеру	1148	854112	1128,5	812520	1084,7	807017
Водобросные скважины	248,1	184586	261,9	188568	264,6	196862
Паводок, осадки	8	5952	12	8640	19	14136

Заключение

Методом гидродинамической очистки повышена эффективность работы горизонтального трубчатого дренажа, произошло перераспределение объемов водопритоков в дренажную систему карьера. За счет увеличения водотока по дренажным канавам постепенно снизится обводненность верхних уступов Соколовского карьера, но необходимо наблюдать за деформациями на протяжении хотя бы одного года. Попутно при проведении исследований закольматированности труб горизонтального подземного дренажа и дренажных колодцев удалены иловые отложения, грязь, корневища растений.

По результатам исследований рекомендовано проводить прочистку горизонтального трубчатого дренажа и колодцев не реже одного раза в два года [16]. Методом гидродинамической прочистки можно реконструировать имеющиеся сквозные фильтры и восстающие скважины для снижения обводненности прибортового массива.

Литература

1. Кусков А.П. Минерально-сырьевая база предприятий объединения / А.П. Кусков, С.Н. Алехин // Горный журнал. - 2004. - № 7. - С. 24 – 32.
2. Едигенов М.Б. Гидрогеология рудных месторождений Северного Казахстана / М.Б. Едигенов. - Костанай, 2013. - 308 с.
3. Едигенов М.Б. Рекомендации по осушению горных выработок, ведению мониторинга и охране окружающей среды на Ломоносовском месторождении железных руд / М.Б. Едигенов // Геология и охрана недр. - 2015. - № 1 (54). - С. 54 - 64.
4. Усанов С.В. Обеспечение промышленной безопасности при разработке Соколовского железорудного месторождения подземным способом в условиях обводненной налегающей толщи / С.В. Усанов, А.В. Крутиков, Д.Е. Мельник // Проблемы недропользования. - 2018. - № 4. - С. 82 – 89. - DOI: 10.25635/2313-1586.2018.04.082
5. Slavinska O. S. Optimization of engineering solutions: the case of comparison of comparison of shallow drainage constructions / O. S. Slavinska V. V. Styozhka // Avtomobilnidorohy i dorozhniebudivnytstvo. - 2016. - № 98. - P. 228 - 237.
6. Multiple rainfall event pollution transport by sustainable drainage systems: the fate of fine sediment pollution / D. Allen, S. Arthur, H. Haynes, V. Olive // International Journal of Environmental Science and Technology. - 2016. -Vol. 14, № 3. - P. 639 - 652. - DOI: 10.1007/s13762-016-1177-y
7. Кузнецов В.С. Состояние трубчатого дренажа грунтовых плотин нижегородской ГЭС после 60 лет эксплуатации / В.С. Кузнецов, С.Ю. Ладенко // Известия Всероссийского научно-исследовательского института гидротехники им. Б.Е. Веденеева. – 2017. - Том 285. - С. 51 – 61.
8. Янко Ю.Г. Работа закрытого трубчатого дренажа в ленинградской области / Ю.Г. Янко // Вестник Российской академии сельского хозяйства. - 2011. - № 2. - С. 31 - 34.
9. Митрахович А.И. Процессы заиления дрен и их самоочистка / А.И. Митрахович, И.Ч. Казмирук // Мелиорация. - 2017. - № 4 (82). - С. 5 - 11
10. Усанова А.В. Мониторинг сдвижения земной поверхности при разработке Соколовско-Сарбайского месторождения методом радарной интерферометрии / А.В. Усанова, С.В. Усанов // Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых. - 2018. - № 4. - С. 28 - 33.
11. Современное развитие идей "гармонии недр" А.Ж. Машанова в решении геомеханических проблем на предприятиях Казахстана / В.А. Бермухамбетов, А.Д. Сашурин, В.В. Мельник, С.В. Усанов, В.Е. Боликов // Проблемы недропользования. - 2017. - № 3. (14) - С. 44 – 48. - DOI: 10.18454/2313-1586.2017.03.044
12. Мельник В.В. Осушение рудных тел в условиях повышенной обводненности и закарстованности налегающей толщи / В.В. Мельник, А.Л. Замятин // Проблемы недропользования. - 2018. - Вып. 1. - С. 105 - 111. - DOI: 10.25635/2313-1586.2018.01.105, ISSN: 2313-1586
13. Femanaez D. Mine water drainage / D. Femanaez // Mine water and the environment annual issue. - 2003. – №.12. – P. 107 - 130.
14. Fernandez R. Water in mining and underground works / R. Femanaez // Siamos-95 preamble. vx. – Granada, 1995. - P. 97 - 100.
15. Кожевников В.А. Гидродинамическая прочистка трубопроводных систем / В.А. Кожевников // Энергоменеджер. – 2003. - № 31. - С. 17 - 19.
16. Босых О.С. Рекомендации по очистке дренажных систем ГБУРХ / О.С. Босых // Управление инженерных защит. - 2017. - № 1 - 2. - С. 29 – 31.