

ТЕХНОГЕННА БЕЗПЕКА

УДК 504.75.06

doi: 10.31498/2225-6733.37.2018.160416

© Дан Е.Л.¹, Бутенко Э.О.², Капустин А.Е.³**СУЛЬФИДНЫЕ ЗАГРЯЗНЕНИЯ ПОВЕРХНОСТНЫХ ВОД
ПРОМЫШЛЕННЫМИ ОТХОДАМИ**

В статье рассматриваются причины возникновения сульфидных вод в местах промышленных отвалов. Изучены механизмы микробиологических процессов, приводящих к образованию концентрированных сульфидных растворов. Основной вред, наносимый окружающей среде, заключается в протекании реакции окисления сероводорода и сульфидов кислородом, растворенным в воде, что приводит, вследствие недостатка кислорода, к гибели флоры и фауны. Металлургические шлаки оказывают негативное влияние на окружающую среду, а вымывание компонентов атмосферными осадками приводит к попаданию токсичных веществ как в почву, так и в воду, а в конечном итоге – в море. Микроорганизмы образуют в шлаковых отвалах сероводород, общее количество которого может превышать 20 м³ на тонну шлака. В основном образуются растворы с чрезвычайно высокой концентрацией сульфидов, которые вымываются дренажными водами, что приводит к сильнейшему загрязнению водоёмов. Поэтому очень важным является предотвращение попадания сульфидов в водный бассейн. Предложены методы и технологии предотвращения загрязнения поверхностных вод сероводородом и сульфидами.

Ключевые слова: загрязнение окружающей среды, сульфиды.

Дан О.Л., Бутенко Е.О., Капустин А.Е. Сульфідні забруднення поверхневих вод промисловими відходами. Метою даної статті є надання результатів польових і лабораторних досліджень, розробка технічних рішень та створення технології ліквідації потенційно небезпечного джерела забруднення навколишнього середовища сульфідами. До цього джерела відноситься відвал шлакових відходів, розташований поблизу річки Кальміус на території, де раніше був організований видобуток граніту. Були проведені дослідження фізико-хімічних і біологічних процесів, що протікають в шлаковому відвалі, і дана оцінка його негативного впливу на стан навколишнього середовища. Внаслідок контакту шлаків з атмосферними опадами утворюється інфільтрат, у складі якого виявлено високий вміст сульфідів – приблизно 400 мг/л. Також у складі інфільтрату виявлено наявність сульфатів, хлоридів, аміаку. рН інфільтрату становить 12. Також у статті розглядаються причини виникнення сульфідних вод в місцях промислових відвалів. Вивчено механізми мікробіологічних процесів, що призводять до утворення концентрованих сульфідних розчинів. Основна шкода, нанесена докільню, полягає в протіканні реакції окислення сірководню та сульфідів киснем, розчиненим у воді, що призводить, внаслідок нестачі кисню в воді, до загибелі флори і фауни. Металургійні шлаки чинять негативний вплив на навколишнє середовище, а вимивання компонентів атмосферними опадами призводить до потрапляння токсичних речовин і в ґрунт, і в воду, і, в кінцевому підсумку, в Азовське море. Мікроорганізми утворюють в шлакових відвалах сірководень, загальна кількість якого може перевищувати 20 м³ на тонну шлаку. В

¹ аспірант, АГН Научно-технічний університет, г. Краков, Польща, danelena.leo@gmail.com

² канд. техн. наук, доцент, ГВУЗ «Приазовський державний технічний університет», г. Маріуполь, butenko_e_o@pstu.edu

³ д-р хім. наук, професор, ГВУЗ «Приазовський державний технічний університет», г. Маріуполь, kapustin_a_e@pstu.edu

основному утворюються розчини сульфідів з надзвичайно високою концентрацією, які вимиваються дренажними водами, що провокує найсильніше забруднення водою. Тому дуже важливим є запобігання потрапляння сульфідів в водний басейн. Запропоновано методи та технології запобігання забруднення поверхневих вод сірководнем і сульфідами.

Ключові слова: забруднення навколишнього середовища, сульфіди.

O.L. Dan, E.O. Butenko, A.E. Kapustin. Sulfide contamination of surface waters by industrial wastes. The purpose of this article is providing results of field and laboratory researches and experiments, development of technical solutions and creation of elimination technology for potentially hazardous sources of environment pollution with sulfides. The source of sulfides is the slag dump, located near the Kalmius River on the grounds where granite was extracted before. The physicochemical and biological processes taking place in the slag dump were studied, and their negative impact on the environment state were assessed. As a result of the slags contact with atmospheric precipitation, infiltrate with high content of sulfides (about 400 mg/l) is formed. Sulfates, chloride and ammonia were found in the infiltrate composition; pH of this infiltrate is 12. The article considers the reasons for sulfide occurrence in waters in the places of industrial dumps. Microbiological processes leading to the formation of concentrated precipitate solutions have been studied. Oxidation of hydrogen sulphide and sulfides oxidation with oxygen in water is the main damage to the environment resulting in the death of flora and fauna, due to oxygen lack in water. Metallurgical slags have a negative impact on the environment, and washing out the components with atmospheric precipitation leads to the ingress of toxic substances into the soil, water, and, ultimately, into the Sea of Azov. Microorganisms form hydrogen sulphide in slag and its total amount can exceed 20 m³ per ton of slag. Basically, sulphides solutions with extremely high concentrations are formed. They are washed out by drainage water. It leads to severe contamination of water basins. Therefore, it is very important to prevent sulphides from getting into water basin. Methods and technologies for preventing surface water contamination by hydrogen sulfide and sulfides are proposed.

Keywords: environmental pollution, sulfides.

Постановка проблеми. В июле и в октябре 2018 года жители поселка Старый Крым обнаружили, что вода в реке Кальчик стала белого цвета (рис. 1), а находящаяся в ней живность погибла. Появились слухи об отравлении воды, возникла паника. Для прояснения ситуации и выработки решений по ликвидации загрязнения реки были приглашены специалисты Приазовского государственного технического университета.

Анализ последних исследований и публикаций. Ежегодно на металлургических предприятиях Украины образуется более 15 млн. т шлака [1]. Основная масса шлака может быть успешно использована в строительстве. Одним из возможных крупных потребителей металлургических шлаков может быть гидротехническое, прежде всего, морское строительство. Шлаковый щебень может служить заменителем природного гранитного щебня при отсыпке дамб, причалов, укреплении берегов, значительно удешевляя строительство. В Японии металлургический шлак успешно используют для улучшения качества донных морских отложений и формирования искусственных рифов [2]. Шлак может быть использован для образования искусственных островов или бетонных платформ для установки газодобывающего оборудования. Преимуществом шлака в этом случае может служить его свойство затвердевать со временем подобно цементу [3].

Однако в настоящее время из-за ограниченных объёмов строительства в Украине потребление шлака значительно уменьшилось. При этом транспортировка шлака на длительные расстояния, в том числе и в страны ближнего и дальнего зарубежья, является нецелесообразной, хотя и перспективной с точки зрения его рециклинга и экологической составляющей данного вопроса. В связи с этим, на украинских металлургических заводах скопилось более 100 млн. т шлака. Особенно эта проблема актуальна для сталеплавильных шлаков, поскольку доменные шлаки находят большой спрос в строительной индустрии.



Рис. 1 – Белая вода в реке Кальмиус

Хранение шлака требует значительных территорий. Соответственно, большинство металлургических шлаков складировалось в отвалах на берегах рек и морей открытым способом, что обусловлено расположением металлургических предприятий вблизи водных объектов.

При открытом способе складирования отвал металлургических шлаков является источником вторичного загрязнения окружающей среды вследствие эмиссий загрязняющих веществ в воздух, объекты гидросферы и почву. Сульфиды щелочных и щелочноземельных металлов, а также сульфид аммония, хорошо растворимы в водной среде, хотя в некоторых источниках [4, 5] сообщается, что сульфиды Be^{2+} , Mg^{2+} , Ca^{2+} , Sr^{2+} , Ba^{2+} , Ra^{2+} слаборастворимы. Растворимость гидросульфидов выше для всех катионов.

Сера находится в воде преимущественно в виде недиссоциированных молекул H_2S и ионов гидросульфидов HS^- . При $pH > 10$ возможно образование ионов S^{2-} . Соотношение между концентрациями ионов определяется кислотностью среды [6].

Итак, процесс инфильтрации загрязняющих веществ из шлаковых отвалов в близлежащие водоемы является комплексным и требующим индивидуального подхода при исследовании и поиске решений для устранения его негативного влияния на окружающую среду.

Цель статьи – представление результатов полевых и лабораторных исследований, разработка технических решений и создание технологии ликвидации потенциально опасного источника загрязнения окружающей среды сульфидами.

Изложение основного материала. На протяжении десятков лет в посёлке Старый Крым добывали гранит, в результате чего возникли карьеры, находящиеся возле реки Кальчик. Часть карьеров была затоплена водами реки Кальчик и атмосферными осадками, однако карьер, расположенный между ул. Плотинной и руслом реки Кальчик, оставался всегда сухим. Поэтому руководством комбината им. Ильича было принято решение использовать этот карьер для складирования металлургических шлаков (рис. 2).

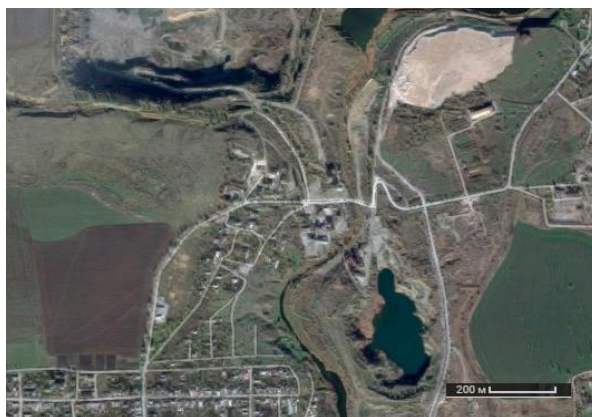


Рис. 2 – Территория, прилегающая к карьеру, заполненному шлаковыми отходами

Первоначально в карьер складировали сталеплавильный шлак, затем, в течение 5 лет, все не находящие сбыта шлаки, в том числе и шлак после грануляции, имеющий высокую влажность. К началу 2006 года карьер был целиком заполнен, однако по ночам из карьера нелегально шлак вывозили. А также, поскольку процесс грануляции в цехе шлакопереработки остановить невозможно, а мест для хранения нет, гранулированный шлак тоже иногда отвозили в карьер.

Авторами статьи и сотрудниками кафедры Химической технологии и инженерии ГВУЗ «Приазовский государственный технический университет» во второй половине 2018 г. были проведены полевые исследования, включающие буровые работы, оборудование разведывательных и наблюдательных скважин, отбор газов на различной глубине, физико-химические исследования, отбор и подготовка биологических проб к длительному хранению, исследования байпасов, изучение закономерностей изменения протекающих процессов по наблюдательным скважинам.

Лабораторные исследования включали хроматографический и масс-спектрометрический газовые анализы; исследования порозности, фракционного состава; определение рН водной вытяжки, концентраций растворённого кислорода, связанного и свободного аммиака, связанного и свободного сероводорода; исследования содержания компонентов шлака, микробиологические исследования.

Моделирование процессов позволило прогнозировать развитие процессов и предложить метод и технологию обезвреживания шлакового отвала.

Присутствие в шлаках соединений серы, низкая теплопроводность отвала, наличие контакта с атмосферными осадками, загрязнение отвалов органическими соединениями – всё это делает шлаковые отвалы хорошей средой для развития микроорганизмов. В том числе и для сульфатредуцирующих бактерий, вырабатывающих в процессе своей жизнедеятельности сульфидные соединения, которые могут быть весьма опасны для окружающей среды [7].

Кроме того, были проведены исследования физико-химических и биологических процессов, протекающих в шлаковом отвале, и дана оценка их негативного влияния на окружающую среду.

Карьер, расположенный возле посёлка Старый Крым, заполненный шлаковыми отходами металлургического производства, представляет собой выемку на месте бывшей добычи гранита (рис. 3).



Рис. 3 – Карьер, заполненный шлаковыми отходами

Отвал имеет форму неправильного овала, большая ось ориентирована вдоль реки Кальчик, граничные размеры 400×300 м. Проведённые измерения показали, что поверхность составляет около 70 000 м². Поверхность имеет плавный уклон в сторону реки Кальчик, перепад высот между самой высшей и низшей точками карьера составляет 38,02 – 21,03 = 7 м по балтийской системе высот [8].

После бурения скважин и экскаваторных работ было установлено, что глубина карьера примерно одинакова и составляет около 30 м. Уровень воды в реке Кальчик на момент полевых исследований составлял 14,93-15,05 м. Это означает, что нижняя часть карьера, глубиной не менее 6 м, находится ниже уровня воды в реке Кальчик.

Бурение скважин в центральной точке карьера показало, что уровень воды поддерживается на глубине 14,3 м (рис. 4). То есть нижняя часть карьера и русло реки Кальчик представляют собой сообщающиеся сосуды. Это предположение было подтверждено в дальнейшем экспериментами по байпасам.

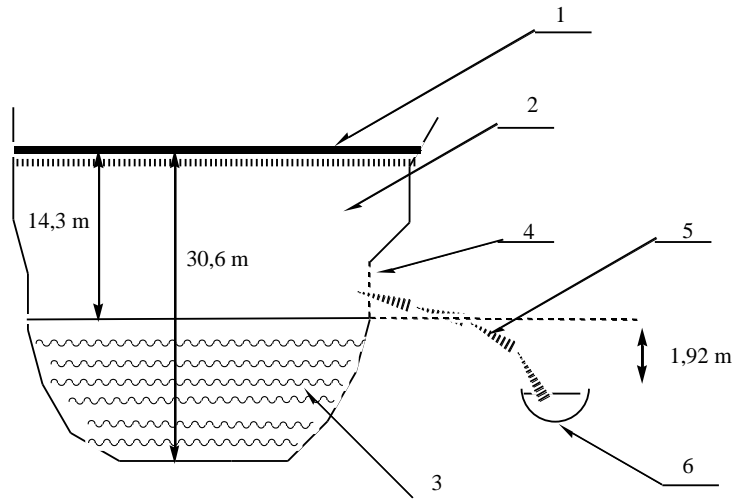


Рис. 4 – Схема дренажа из карьера в реку Кальчик: 1 – поверхность шлака; 2 – шлак, через который дренирует вода; 3 – шлак, в котором накапливается вода; 4 – место дренажа воды из карьера; 5 – дренаж воды из карьера; 6 – река Кальчик

Из вышесказанного следует сделать вывод, что происходящие в толще карьера химические и биологические процессы протекают, как минимум, в двух различных зонах: подземной – от поверхности до глубины – 14 м, и подводной – в нижней части карьера.

В металлургическом шлаке всегда присутствуют соединения серы, природа соединений и их количество зависят от типа шлака и особенностей металлургического процесса. Кроме того, эти параметры могут изменяться под воздействием природных условий при длительном хранении шлака. Наличие соединений серы и микроорганизмов позволяют предполагать протекание интенсивных биологических процессов, происходящих в толще шлака [9]. После бурения скважин и экскаваторных работ было установлено, что глубина карьера примерно одинакова и составляет около 30 м. То есть в карьере находится около 3 млн. т шлака.

Для проведения экспериментов и отбора проб были пробурены 4 скважины, одна в наиболее глубокой части карьера и 3 скважины в непосредственной близости от реки Кальчик. В результате реализации процесса бурения на глубине 2 м и 24 м был зафиксирован выброс газа с интенсивным запахом сероводорода.

При исследовании температуры воды в скважине было установлено, что она постоянна по всей глубине столба жидкости, что говорит об отсутствии вертикального градиента температуры, что, в свою очередь, свидетельствует об отсутствии различия в протекании процессов на различных глубинах. Наблюдения показали, что температура жидкости в скважине постоянна, не связана с метеорологическими условиями и составляет 30,8°C. Постоянство температуры говорит о том, что процессы, протекающие в теле шлака, находятся в стационарных режимах и ещё будут протекать долгое время.

Отбор проб для анализа *in situ* сотрудником кафедры Химической технологии и инженерии показан на рис. 5. Химический состав инфильтрата в скважине оставался практически постоянным. Результаты химического анализа инфильтрата представлены в таблице.

Для доказательства того, что заполненный шлаком карьер и русло реки Кальчик, в пойме которой расположен данный карьер, являются сообщающимися сосудами, и доказательства перетекания водного раствора из карьера в Кальчик, были проведены байпасные эксперименты.

В котлован, образовавшийся после экскаваторных работ, из автоцистерн было вылит 40 м³ раствора серноокислого хрома концентрацией 0,5%. В течение 15 минут весь раствор был поглощён шлаком, и котлован был засыпан бульдозером.



Рис. 5 – Отбор проб инфильтрата для проведения исследований

Таблица

Химический состав инфильтрата

рН	Сульфиды, мг/л	Сульфаты, мг/л	Хлориды, мг/л	NH ₄ ⁺ , мг/л	Кислород, мг/л
12	410	1600	500	350	0

Через 14 дней концентрация хрома в скважинной жидкости составила 10^{-3} моль/л, а ещё через сутки при анализе речной воды была обнаружена концентрация ионов хрома 10^{-5} моль/л.

Так был доказан дренаж скважинной жидкости в реку.

Поскольку скважина расположена примерно в 100 м от места потенциального дренажа, то можно считать, что скорость переноса водного раствора по шлаковому отвалу составляет 10^{-3} м/с, что является весьма низким значением как для свободного течения жидкости, так и для капиллярных процессов.

На основании вышеизложенного, можно сделать заключение о том, что к аварийной ситуации в шлаковом карьере, расположенном в русле реки Кальчик, привели следующие события.

С осадками и остатками растительности в карьере было внесено большое количество воды и органики. Просочившиеся через верхние слои шлака воды, содержащие кислород и органику, к находящимся в неактивном состоянии микроорганизмам запустили два процесса. Содержащийся в воде кислород начал окислять сульфиды до серы и сульфитов, что, в свою очередь, в присутствии большого количества органики активизировало сульфатредуцирующие бактерии, генерирующие образование сероводорода. Постепенное накопление газа и увеличение давления в толще шлака привело к взрывному прорыву жидкости из карьера в реку Кальчик.

Для определения длительности процесса выноса сульфидных соединений из карьера в реку Кальчик были приняты следующие исходные данные:

- площадь карьера – 70 000 м²;
- количество шлака в карьере – 3 млн. т;
- среднее содержание серы в шлаке – 1,48%;
- среднее содержание серы в скважинной жидкости, находящейся в виде сульфидов – 400 мг/л;
- среднее ежегодное количество осадков в районе карьера – 500 мм.

Тогда общее количество серы, находящееся в карьере составляет:

$$3 \cdot 10^9 \cdot 0,0148 = 0,0444 \cdot 10^9 \text{ кг} = 44\,400 \text{ т.}$$

Количество осадков, попадающих в карьер в течение года и дренирующих в реку Кальчик, составляет:

$$500 \cdot 10^{-3} \cdot 70\,000 = 35\,000 \text{ м}^3.$$

После поглощения сульфидов и сероводорода данное количество осадков унесет с собой следующее количество сульфидной серы:

$$400 \cdot 35\,000 = 14\,000 \text{ кг} = 14 \text{ т.}$$

Расход воды в реке Кальчик, по нашим наблюдениям, колеблется от 1 до 35 м³/с; минимальный – составляет 1 м³/с. В этом случае постоянная концентрация в реке в месте дренажа составит:

$$14 \cdot 10^9 / (1000 \cdot 3600 \cdot 24 \cdot 365) = 0,44 \text{ мг/л.}$$

Эти расчёты подтверждаются замерами в наблюдательных скважинах. Результаты показывают постоянное увеличение концентрации сульфидов и резкий сброс в реку при выпадении большого количества осадков.

Принимая среднегодовое содержание кислорода в воде реки Кальчик 10 мг/л, получаем, что для окисления попадающих из карьера сульфидов требуется 0,88 мг/л кислорода. Очевидно, что все попадающие из карьера сульфиды будут окислены, на что будет истрачено не более 10% всего растворённого в воде кислорода.

Рассчитаем время, в течение которого будут происходить процессы, из предположения о том, что всё время они будут происходить в стационарном режиме:

$$44\,400 : 14 = 3,2 \cdot 10^3 \text{ лет.}$$

Для прекращения химических и биологических процессов, протекающих в карьере, для предотвращения попадания сульфидов в окружающую среду можно использовать механические и химические методы.

Для прекращения биологического образования сульфидов можно создать условия, невыносимые для их жизнедеятельности. Самым простым может быть повышение pH, поскольку для процесса сульфатредукции требуется наличие протонов.

Выводы

Расположенный вблизи реки Кальчик Старокрымский шлаковый отвал представляет собой карьер на месте бывшей добычи гранита, нижняя часть которого постоянно заполнена инфильтратом. Он образуется в результате контакта шлака с атмосферными осадками. В настоящий момент высота столба инфильтрата составляет около 16 м.

Поверхностный слой шлака (от 0 до –4 м) содержит активные микроорганизмы (*Desulfomicrobium* sp. BL и *Desulfomicrobium* sp. KN, класса Deltaprotej bacteria, род *Desulfomicrobium*), перерабатывающие сульфаты в сульфиды. Сульфидные соединения под действием атмосферных осадков инфильтруются через слой шлака и накапливаются в нижней обводненной части карьера. Инфильтрат представляет собой раствор с высокой концентрацией сульфатов и высокой концентрацией сульфидов (до 0,5 г/л).

Уровень реки Кальчик относительно шлакового отвала соответствует глубине –15 м, то есть постоянный уровень инфильтрата в карьере выше уреза воды в реке Кальчик примерно на 5 м. Вследствие атмосферных осадков происходит повышение уровня жидкости в нижней части карьера, и она дренирует в реку Кальчик. Средняя скорость дренажа приводит к повышению концентрации сульфидов в реке на 0,44 мг/л, что не оказывает отрицательного воздействия на окружающую среду, так как на их окисление требуется не более 10% растворённого в реке кислорода. При сильных ливневых осадках скорость дренажа высока и находящиеся в ней сульфиды не успевают окислиться кислородом, что приводит к загрязнению реки соединениями сероводорода. При существующих кинетических параметрах процесса вымывание сульфидных соединений будет продолжаться не менее 3000 лет. Для предотвращения перетекания инфильтрата из подземной части карьера в реку Кальчик необходимо покрыть поверхность шлака водонепроницаемым искусственным материалом либо глинными минералами с поверхностным отведением осадков, после чего возможно проведение рекультивации и посадки растительности.

До начала работ по изолированию поверхности шлака необходимо соорудить дамбу в западной части карьера вдоль русла реки Кальчик. Территория карьера будет гидроизолирована суглинком, периферийная дамба может быть изготовлена из сталеплавильного шлака, а также гидроизолирована суглинком.

Список использованных источников:

1. Волженский А.В. Минеральные вяжущие вещества / А.В. Волженский. – Стройиздат. – 1986. – 463 с.
2. Yabuta K. Новые виды продукции из металлургических шлаков в Японии / К. Yabuta, Н. Tozava, Т. Takahashi // Новости чёрной металлургии за рубежом. – 2006. – № 1. – С. 95-98.
3. Никош И.А. Устранение загрязнения водной среды при использовании металлургических шлаков в качестве материала для гидротехнического строительства / И.А. Никош, А.А. Томаш, А.Е. Капустин // Вісник Приазовського державного технічного університету : Зб. наук. пр. / ПДТУ. – Маріуполь, 2010. – Вип. 21. – С. 145-148. – (Серія : Технічні науки).
4. Химия и технология редких и рассеянных элементов : учебное пособие для вузов : Ч. I / Под ред. К.А. Большакова. – 2-е изд., перераб. и доп. – М. : Высшая школа, 1976. – 368 с.
5. Химическая энциклопедия / Редкол. : Кнунянц И.Л. и др. – М. : Советская энциклопедия, 1995. – Т. 4. – 639 с.
6. Laxmipriya S. Processes for Removal of Hydrogen Sulfide Found in Florida Ground Water Sources / S.Laxmipriya, D. Immanuel Joseph, T.P. Hariharan // ISR Journal. – 2017. – Vol. 3. – Iss. 1. – Pp. 292-295.
7. Бутенко Э. Промышленное загрязнение сульфидами: Причины, следствия, действия / Э. Бутенко, В. Белоус, А. Капустин. – LAP Lambert Academic Publishing. – 2016. – 160 с.
8. Гулин В.Н., Миронов С.А. Обеспечение единого координатного пространства : привязка к государственной системе высот / В.Н. Гулин, С.А. Миронов // САПР и ГИС автомобильных дорог. – 2015. – № 2 (5). – С. 48-53. – Режим доступа : DOI: 10.17273/CADGIS.2015.2.8.
9. Analysis of Mariupol Metallurgical Enterprises Influence on Ecological State of Surface Waters / O. Dan, E. Butenko, E. Neverova-Dziopak, A. Kapustin // Geomatics and Environmental Engineering. – 2017. – Vol. 11. – № 1. – Pp. 25-31.

References:

1. Volzhenskiy A.V. *Mineralnyie vyazhushchie veschestva* [Mineral binders]. Moscow, Stroyizdat Publ., 1986. 463 p. (Rus.)
2. K. Yabuta, H. Tozava, T. Takahashi. *Novyie vidyi produktsii iz metallurgicheskikh shlakov v Yaponii* [New types of products from metallurgical slags in Japan]. *Novosti chyornoj metallurgii za rubezhom – Ferrous news abroad*, 2006, no. 1, pp. 95-98. (Rus.)
3. Nikosh L.A, Tomash A.A, Kapustin A.E. Elimination of water environment pollution at utilization of iron and steel slag's as the material for hydraulic engineering construction. *Visnik Priazov'skogo Derzhavnogo tekhnichnogo universitetu. Seriya: Tekhnichni nauki - Reporter of the Priazovskiy State Technical University. Section: Technical sciences*, 2010, iss. 21, pp. 145-148. (Rus.)
4. Edited by Bolshakov K.A. *Himiya i tehnologiya redkih i rasseyannyih elementov: ucheb. posobie dlya vuzov. Ch. I* [Chemistry and technology of rare and trace elements: study guide for universities. Vol.1]. Moscow, Vysshaya shkola Publ., 1976. 368 p. (Rus.)
5. Editorial team: Knunyants I.L. et al. *Himicheskaya entsiklopediya* [Chemical encyclopedia]. Moscow, Sovetskaya entsiklopediya Publ., 1995. 639 p. (Rus.)
6. Laxmipriya S., Immanuel Joseph D., Hariharan T.P. Processes for Removal of Hydrogen Sulfide Found in Florida Ground Water Sources. *ISR Journal*, 2017, vol. 3, iss. 1, pp. 292-295.
7. Butenko E., Belous V., Kapustin A. *Promyshlennoe zagriaznenie sul'fidami: Prichiny, sledstviia, deistviia* [Industrial pollution with sulphides: Causes, effects, actions]. LAP Lambert Academic Publishing, 2016. 160 p. (Rus.)
8. Gulin V.N., Mironov S.A. United coordinate space: association with the departmental geodetic control network. *CAD & GIS for roads*, 2015, no. 2 (5), pp. 48-53. doi: 10.17273/CADGIS.2015.2.8. (Rus.)
9. Dan O., Butenko E., Neverova-Dziopak E., Kapustin A. Analysis of Mariupol Metallurgical Enterprises Influence on Ecological State of Surface Waters. *Geomatics and Environmental Engineering*, 2017, vol. 11, no. 1, pp. 25-31.

Рецензент: В.С. Волошин
д-р техн. наук, проф., ДВНЗ «ПДТУ»

Статья поступила 13.09.2018