

УДК 556, 544.351

В. И. Мохонько, канд. геол. наук, **Е. Н. Корчуганова**, канд. техн. наук,
И. В. Герасимова

*(Технологический институт Восточнoукраинского национального
университета им. Владимира Даля, г. Северодонецк)*

ОПАСНОСТЬ ЗАГРЯЗНЕНИЯ ПРИРОДНЫХ ВОД ЛИСИЧАНСКО- РУБЕЖАНСКОГО РЕГИОНА ЩЕЛОЧНЫМИ СТОКАМИ

Кальцинированная сода, содержащаяся в отходах стекольного производства, легко выщелачивается дождевой водой и, просачиваясь в грунтовые воды, способствует развитию карстовых процессов. В статье приведены результаты экспериментальных исследований кинетики растворения кальцинированной соды. Методом вращающегося диска определен коэффициент диффузии натрия карбоната в воде; рассмотрены основные опасности загрязнения природных вод щелочными стоками.

Ключевые слова: *загрязнение, подземные воды, полигон, отходы стекла, сода, выщелачивание, карбонатные породы, карстовый процесс.*

Значительную часть отходов производства листового стекла составляют отходы сырьевой шихты. Отходы стекольного производства содержат 18% карбоната натрия, который относится к отходам III класса опасности. Однако раствор карбоната натрия, образующийся при выпадении атмосферных осадков, может контактировать с карстующимися породами, находящимися под накопителями отходов, способствуя росту скорости их выщелачивания [1]. Концентрация раствора зависит от количества выпадающих осадков, от состава и способа хранения отходов.

Целью работы является выявление опасностей, связанных с поступлением сточных вод, загрязненных карбонатом натрия, в подземные воды и, в том числе, с интенсификацией карстовых процессов.

Рассмотрим влияние отходов стекольного производства на скорость развития карстового процесса на примере Лисичанского стекольного завода «Пролетарий». Полигон хранения отходов завода находится на северо-западной окраине г. Лисичанск (Луганская область) в незастроенной местности. Полигон действует в течение 16 лет с размещением отходов шихты производства листового стек-

ла в количестве 6 015 070 т/год. Общий объем полигона составляет 22,6 тыс. м³.

В геоморфологическом отношении участок относится к левому склону б. Рубежная, расположенной на правом берегу р. Северский Донец. Рельеф участка неровный. Планировка основания карт полигона выполнена с уклоном 0,005 м в юго-восточном направлении. Абсолютные отметки поверхности изменяются от +75 м до +100 м.

В физико-географическом отношении территория полигона относится к Бахмутско-Торецкому физико-географическому району Донецкой физико-географической области. Годовое количество осадков составляет в среднем 400-500 мм. 80% от годового объема осадков выпадают в виде дождя, 20% приходится на твердые осадки. Осадки, выпадающие в осенний период, являются главным источником питания грунтовых вод. По химическому составу они преимущественно гидрокарбонатно-сульфатные, летом — с минерализацией 0,034...0,144 г/дм³, в остальные сезоны — 0,027...0,057 г/дм³ [2].

В геолого-структурном отношении территория размещения полигона относится к подзоне краевых брахискладок, составляющих висячее крыло Северодонецкого надвига, зоны краевых купольных структур Донецкого складчатого сооружения, по региональному Северодонецкому надвигу граничащей непосредственно с Воронежским кристаллическим массивом. Купола в совокупности образуют сложное антиклинальное поднятие, вытянутое с северо-запада на юго-восток и осложненное нарушениями типа надвигов [3].

Участок размещения полигона представляет собой выработанный карьер по отработке известняка М5 горловской свиты среднего карбона. Свита характеризуется наличием мощных пластов известняков, часто имеющих двухпачечное строение, преобладанием сланцев — глинистых и алевролитовых в нижней части свиты и песчаников в верхней части. Состав свиты: песчаники (14-25%), сланцы глинистые (29-35%), сланцы алевролитовые (36-47%), известняки (95-14%), угольные пласты (1%). Пласты песчаников и известняков сохраняют свои особенности на огромных площадях и служат устойчивыми маркирующими горизонтами, мощность свиты — 375 м.

С поверхности каменноугольные отложения перекрыты четвертичными техногенными отложениями до глубины 10 м, имеющими в своем составе 4 инженерно-геологических слоя:

- насыпные грунты (почва с корнями растений, суглинком, обломками аргиллита, алевролита, песчаника). Грунты неоднородны по составу и сложению, покрывают участок с поверхности повсеместно;
- отработанная порода, представленная глыбами алевролита и песчаника, аргиллита. Слой представлен переслаивающимися плитками пород неправильной формы и различной толщины, слабой и средней крепости, сильно ожелезненными и трещиноватыми. Грунты слоя слежавшиеся, способ отсыпки сухой, организованный, возраст более 40 лет;
- полускальный грунт пониженной прочности (аргиллит желто-серый, серый, темно-серый, местами с тонкими прослоями алевролита, ожелезненный плитчатый);
- скальный грунт средней прочности (известняк М5).

Подземные воды и относительный водоупор до глубины 10 м отсутствуют. В то же время наличие в геологическом разрезе участка мощных пластов кварцевых и кварцево-полевошпатовых песчаников и относительно мощных пластов известняков обуславливает повышенную водоносность отложений горловской свиты. В зоне интенсивного выветривания (в разных районах распространяющейся на глубину от 35-40 м до 100-110 м) вся толща отложений карбона представляет собой комплекс напорных водоносных горизонтов, сообщающихся между собой и образующих единую водоносную зону со свободной поверхностью. Наиболее водообильными являются известняки. Их пористость значительно ниже, чем пористость песчаников и составляет для известняков средней степени метаморфизма 0,6-5,2%, в среднем — 3,5%. Высокая водопроницаемость известняков объясняется их повышенной трещиноватостью и иногда закарстованностью. В основном водопроницаемость обусловлена тремя почти взаимно перпендикулярными системами трещин, ориентированными: 1) по напластованию; 2) перпендикулярно напластованию (при пологом залегании пород — почти вертикальные); 3) в направлении падения пород (почти вертикальные). В результате специаль-

ных работ и бурения установлено, что наиболее активными являются трещины вертикального направления [3].

Учитывая, что выщелачивание соды из отходов производства является очевидным, а общий объем ливневых стоков с поверхности полигона составляет 1500 м³/год, возможно образование растворов соды с концентрацией 0,4 кмоль/м³ и выше и последующая инфильтрация этих растворов в грунтовые воды.

Для получения более точной картины загрязнения почв и грунтовых вод были получены сведения о скорости растворения соды.

Исследования кинетики растворения соды проводились методом вращающегося диска [4], дающего лучшую воспроизводимость, чем другие методы, на экспериментальной установке (рис. 1), состоящей из штока 3, соединенного с электродвигателем 2 с регулируемой частотой вращения. В обойме 4 закреплялся образец — спрессованный из кальцинированной соды цилиндр диаметром 0,9 см, а также термостатируемый стакан с дистиллированной водой. Число оборотов мешалки регулировалось от 250 до 520 об./мин. при помощи ЛАТРа 5, что соответствовало ламинарному режиму перемешивания среды; численные значения $Re = 35-72$. Исследования проводились при температуре $(16 \pm 1) ^\circ C$, близкой к температуре подземных вод в летнее время года.

Образец соды — таблетка, сформованная прессованием, с заранее подготовленной поверхностью, — закреплялся в обойме установки. Для приготовления образца использовалась сода кальцинированная марки А (по ГОСТ 5100-85), используемая для производства листового стекла.

В термостатируемый стакан заливалось 200 мл дистиллированной воды. После установления заданной температуры поверхность образца приводилась в соприкосновение с водой, и включалось пере-

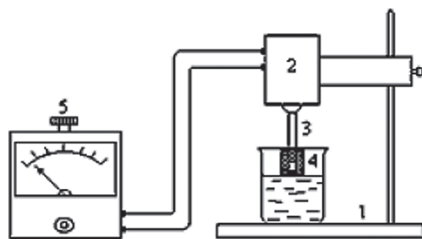


Рис. 1. Установка для изучения кинетики растворения методом вращающегося диска: 1 — штатив; 2 — электродвигатель; 3 — шток; 4 — обойма; 5 — ЛАТР.

мешивание с заданным числом оборотов мешалки. Пробы раствора отбирались каждую минуту и анализировались методом кислотно-основного титрования в присутствии индикатора — метилового оранжевого.

По начальным участкам кинетических кривых растворения соды, представленных на рис. 2, рассчитывались удельные скорости растворения кальцинированной соды, которые составили 0,0007; 0,0015 и 0,0045 г/(см² · с) для экспериментов, выполненных при скорости вращения диска 250, 390 и 520 об./мин. соответственно. Рассчитанная по значениям скоростей растворения при разных скоростях вращения образца, константа скорости растворения составила 0,0045 г/(см² · об^{1/2} · с).

Из уравнения (1) рассчитан также коэффициент диффузии [5],

$$\log \frac{C_s}{C_s - C} = \frac{D^{2/3} \cdot s \cdot \omega^{1/2}}{2,303 \cdot V \cdot 1,62 \cdot 10^3 \cdot \nu^{1/6}} \quad (1)$$

где C_s — концентрация насыщенного раствора у поверхности образца; C — концентрация карбоната натрия в объеме раствора, г/см³;

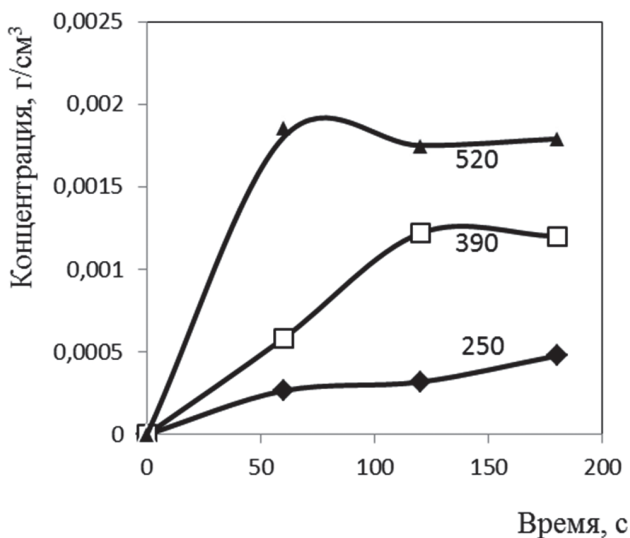


Рис. 2. Кинетические кривые растворения кальцинированной соды при температуре 16 °С и скорости вращения диска 250, 390 и 520 об./мин.

S — площадь поверхности образца, см^2 ; D — коэффициент диффузии, $\text{см}^2/\text{с}$; ω — скорость вращения диска, $1/\text{с}$; ν — кинематическая вязкость среды, $\text{см}^2/\text{с}$; V — объем раствора, см^3 .

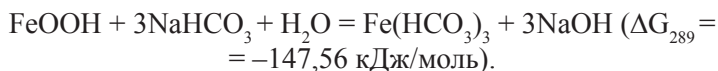
Коэффициент диффузии составил $D = 0,46 \text{ см}^2/\text{сутки}$, а коэффициент продольной конвективной диффузии, в соответствии с [6], составит $D_l = 0,31 \text{ см}^2/\text{сутки}$.

Используя полученные экспериментальные данные и учитывая, что означенный накопитель отходов эксплуатируется 16 лет, можно подсчитать глубину диффузионной зоны по формуле:

$$h_i = 4\sqrt{D_l \cdot \tau}. \quad (2)$$

Она составит 1,7 м (без учета фильтрационной диффузии) [7], а учитывая, что грунты, слагающие полигон, отличаются большой трещиноватостью и высокой фильтрационной способностью, их коэффициенты фильтрации составляют: для ИГЭ2 — 0,24 м/сут., для ИГЭ3 — 0,16 м/сут.

Известняк является слаборастворимой породой и участвует в процессах карбонат-бикарбонатного равновесия. Его выщелачивание приводит к развитию карбонатного карстового процесса. Наличие раствора карбоната натрия увеличивает содержание бикарбонатов в подземных водах и способствует активизации процессов выщелачивания известняков. Кроме того, находящееся в породах железо также может вступать в реакцию с водами, фильтрующимися из накопителя отходов:



Такой процесс может способствовать ускорению выщелачивания пород и образования карстовых пустот.

Выводы

Таким образом, поступление стоков, содержащих карбонат натрия, приведет к активизации природного карстового процесса, что в свою очередь приведет к увеличению зоны загрязнения подземных вод. С целью достижения нормативного состояния геологической среды рекомендуется проведение мониторинга загрязнения подзем-

ных вод и изучение физико-химических процессов, протекающих в карстовых горизонтах при смешивании промышленных стоков из накопителей с подземными водами.

Проблему, связанную с выщелачиванием соды из отходов, можно было бы решить, извлекая соду из отходов перед отправкой их на полигон для захоронения, с возможным возвратом в технологический процесс. Подобное решение не только приведет к снижению объемов накопления и уменьшению техногенной нагрузки на окружающую среду, но и позволит получить небольшую экономию за счет рециклинга соды. К сожалению, в условиях падения темпов промышленного производства предприятия неохотно внедряют малоотходные и безотходные технологии, поскольку на начальном этапе это требует дополнительных финансовых вложений.

Учитывая то, что спрос на соду кальцинированную практически не изменяется, а производство листового стекла является единственным потребителем этого продукта химической промышленности, а также то, что создания новых предприятий по выпуску кальцинированной соды в Украине не планируется, возвращение соды из отходов в производство становится целесообразным. Это позволит не только снизить материалоемкость выпускаемой продукции, но и на 18% уменьшить количество складированных отходов. Значимым аспектом деятельности, связанной с уменьшением накопления твердых отходов, является неудовлетворительное техническое состояние полигонов хранения, а также превышение сроков их эксплуатации. Дополнительным аргументом в пользу извлечения соды из отходов является ее современная цена и стоимость ее транспортирования, что учитывая остановку Лисичанского содового завода, является немаловажным фактором.

1. Мохонько В. И. Исследование причин активизации карстовых процессов в мело-мергельных породах маастрихта северо-западного Донбасса / В. И. Мохонько, А. В. Суворин, А. В. Чепижко // *Экологія довкілля та безпека життєдіяльності*. — К.: НПЦ «Екологія. Наука. Техніка», 2006. — № 2 (32). — С. 17-22.
2. Бут Ю. С. Малые артезианские бассейны Северо-Западного Донбасса / Ю. С. Бут, И. К. Решетов, Н. И. Дробноход [и др.]. — К.: Наукова думка, 1987. — 200 с.

3. Гидрогеология СССР : [в 45-ти т.] / [Гл. ред. А. В. Сидоренко]. — М.: Недра, 1971. — Т. 6 : Донбасс. — 480 с.
4. Левич В. Г. Физико-химическая гидродинамика / В. Г. Левич. — М.: ГИФМЛ, 1959. — 700 с.
5. Каковский И. А. Кинетика процессов растворения / И. А. Каковский, Ю. М. Поташников. — М.: Metallurgia, 1975. — 224 с.
6. Ромм Е. С. Структурные модели порового пространства горных пород / Е. С. Ромм. — Л.: Недра, 1985. — 240 с.
7. Смирнов С. И. Происхождение солености подземных вод седиментационных бассейнов / С. И. Смирнов. — М.: Недра, 1971. — 216 с.

Мохонько В. І., Корчуганова О. М., Герасимова І. В. ЗАГРОЗИ ЗАБРУДНЕННЯ ПРИРОДНИХ ВОД ЛИСИЧАНСЬКО-РУБІЖАНСЬКОГО РЕГІОНУ ЛУЖНИМИ СТОКАМИ

Кальцинована сода, що міститься у відходах виробництва скла, легко вилугується дощовою водою, і, просочуючись у ґрунтові води, сприяє розвитку карстових процесів. У статті наведено результати експериментальних досліджень кінетики розчинення натрію карбонату; методом обертового диска визначено коефіцієнт дифузії натрію карбонату у воді. Розглянуто основні загрози забруднення природних вод лужними стоками.

Ключові слова: забруднення, підземні води, полігон, відходи скла, сода, вилугування, карбонатні породи, карстовий процес.

Mokhon'ko V. I., Korchuganova E. N., Gerasimova I. V. A RISK OF WATER POLLUTION LISICHANSKIY-RUBEZHANSKY REGION WITH ALKALINE WASTE

Soda ash is contained in the waste of the glass production, that has been leached easily by rainwater, and seeping into the ground water, promotes karst processes. The article presents the results of experimental studies of the dissolution kinetics of sodium carbonate. The diffusion coefficient of sodium carbonate in water was defined by the rotating disk method, the basic risk of pollution of natural water alkaline waste are defined.

Key words: pollution, ground water storage, glass waste, soda ash, leaching, carbonate rock, karst processes.