

УДК 551.435.82 : 552.54 : 504.05 (477.61)

Мохонько В.И., Чепижко А.В.

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА КАРСТООБРАЗОВАНИЯ В ЗОНЕ ВЛИЯНИЯ НАКОПИТЕЛЕЙ ЖИДКИХ ОТХОДОВ ПРОИЗВОДСТВА КАЛЬЦИНИРОВАННОЙ СОДЫ

Проанализированы результаты изучения кинетики растворения мела в растворах разного состава при разной температуре. Подобраны кинетические уравнения и определены константы скорости растворения карбонатного материала для условий развития мело-мергельного карста в зоне влияния накопителей жидких отходов производства кальцинированной соды.

Карстообразование является одним из наиболее сложных экзогенных процессов, охватывает 67,3% территории Украины и более 60% – Луганской области.

Геолого-экологическая роль карста и особенности развития карстовых регионов (скорость и направленность карстогенеза, морфология и распространение карстовых форм, строение и функционирование карстовых водоносных систем, формирование ресурсов подземных и поверхностных вод и др.) характеризуются большим разнообразием в зависимости от условий и факторов карстогенеза и их проявления в конкретной обстановке. Это создает значительные трудности при создании корректных моделей карстогенеза и разработке методов его оценки и прогнозирования.

Карстовый процесс представляет собой взаимосвязанную совокупность процессов преобразования горных пород, развивающихся под воздействием водообмена. Проявляется он возрастанием проницаемости, гетерогенности и анизотропии емкостных, фильтрационных и механических свойств карстующихся пород, а при экспонированном или приповерхностном развитии – комплексом специфических явлений в рельефе и гидрологии, вызывающих формирование особых карстовых ландшафтов [4].

Развитие карста определяется воздействием на растворимые горные породы неравновесных с ними движущихся вод, в основе взаимодействия между которыми лежит закон фазового равновесия Гиббса [2]. Взаимодействие между горными породами и природными водами можно рассматривать как отдельные химические реакции, начальными продуктами которых являются минералы, а конечными – ионы и нейтральные молекулы, перешедшие в жидкую фазу.

Карбонатный карстогенез может развиваться в результате действия одного, двух или трёх следующих процессов (в любой комбина-

ції): 1) карбонатного розчинення CaCO_3 в чистій (дистильованій) воді; 2) бикарбонатного (гідрокарбонатного) розчинення – розчинення CaCO_3 в воді, що містить CO_2 ; 3) розчинення CaCO_3 іншими хімічними агентами, головним чином ґрунтовими кислотами органічного походження [9].

Процес карбонатного розчинення CaCO_3 в дистильованій воді, що має підпорядковане поширення в природній гідросфері, виражається оборотною реакцією:

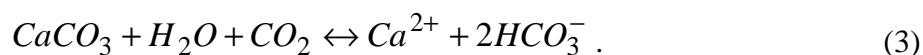


Основними реакціями гідрокарбонатного розчинення CaCO_3 , що протікає з участю CO_2 , є:

1) реакція розчинення CO_2 в воді з наступною дисоціацією угольної кислоти на іони:



2) реакція уголекислового вищелачування CaCO_3 :



Урівняння (3), доповнене деякими балансовими співвідношеннями, є основним для розрахунку рівноважних концентрацій $C_{\text{Ca}^{2+}}$ і a_{H^+} (pH) в відкритих (при неограниченному доступі CO_2 в розчин, що контактує з кальцитом) системах. Для закритих гідрогеохімічних систем, де доступ атмосферного CO_2 обмежений, важливою є інша оцінка, що відповідає знаходженню розподілу головних компонентів в залежності від складу вихідного розчину. Такого роду оцінки також є традиційними в практиці вивчення процесів розчинення і вищелачування карбонатного матеріалу з масивів обводнених порід [5].

К основним факторам карбонатного карстоутворення слід віднести «корозію змішування», в основі якої лежить той факт, що змішування будь-яких двох насичених бикарбонатних розчинів призводить до утворення ненасиченого розчину. Хорда, що з'єднує точки стану змішуваних розчинів і є місцем розташування точок результуючих розчинів при різних пропорціях змішування, цілком лежить нижче кривої залежності розчинності CaCO_3 від концентрації уголекислової кислоти, яка всюди є випуклою [3].

Розчинення CaCO_3 може бути викликане присутністю в розчині не тільки вільної уголекислової кислоти, але і інших хімічних агентів: органічних і неорганічних продуктів (головним чином, кислот)

аэробного и анаэробного разложения остатков растительного и животного происхождения в гумусовом горизонте почвы; химически связанных продуктов жизнедеятельности почвенных микроорганизмов, приводящих к протеканию химических реакций, в основном, обменного типа с образованием Са-содержащих соединений, которые либо выводятся в раствор, либо остаются в виде твёрдого продукта реакции на месте на более или менее длительное время [9].

Значительную роль в интенсификации карстового процесса на территориях с высоким уровнем промышленного освоения играют техногенные факторы, которые могут приводить к такому возрастанию скорости карстообразования, при котором речь идет уже не о природном, а о техногенно активизированном или техногенном карсте. Весьма ощутимый рост скорости карбонатного карстогенеза происходит при поступлении в карстовые системы техногенных растворов, в частности, жидких промышленных отходов из накопителей промышленных стоков. Техногенные растворы и подземные воды карбонатных карстовых коллекторов представляют в общем случае систему неоднородных жидкостей, различие свойств которых обуславливает различие физико-химических процессов их взаимодействия между собой и водовмещающими породами. Физико-химический характер такого взаимодействия при рассмотрении в «статике» – безотносительно к перемещению растворов по пласту – определяется двумя типами превращений: 1) гетерогенными (межфазовыми) процессами, реализующимися на границе раздела фаз; 2) гомогенными (внутрифазовыми) процессами, протекающими в объёме поровой жидкости [5]. Смешивание природных вод и техногенных растворов ведёт как к нарушению равновесия в химической системе («неравновесная коррозия смешивания»), так и к иницированию реакций, и как следствие – к образованию агрессивных продуктов («химическая коррозия смешивания») [4]. Формирующиеся в результате поступления техногенных растворов гидрогеохимические поля характеризуются заметными градиентами концентраций, а нередко и температуры, изменения которых весьма ощутимо проявляются за относительно короткие промежутки времени.

Чувствительность карстогенеза к техногенным воздействиям предопределяет необходимость разработки методов оценки и прогнозирования карстового процесса при его интенсификации в условиях техногенеза. Особая роль при изучении динамики и возможного прогнозирования карбонатного карстогенеза принадлежит количественному определению скорости карстовой денудации. Для её определения используются гидрохимические, объёмные, гидрометрические и балансовые методы. В условиях значительной техногенной активизации карстообразования и, соответственно, многократного увеличения скорости растворения карстующихся пород всё большее значение приобретают экспериментальные исследования, которые часто проводятся на разной

методической основе, что затрудняет использование полученных результатов при широких теоретических обобщениях.

Кроме того, используемые при региональной оценке скорости карстогенеза показатели (предложенный Н.В.Родионовым показатель современной активности карста, характеризующий экстенсивность процесса; и показатели карстовой или химической денудации и карстовой коррозии, характеризующие его интенсивность, предложенные Ж.Корбелем (1956, 1957, 1959, 1965), П.И.Уильямсом (1963), М.Пулиной (1966, 1968, 1971), А.Г.Чекишевым (1967, 1973, 1979)), рассчитанные для одних и тех же районов, часто не сопоставимы между собой [3]. Количественные показатели скорости карстовой денудации в меловых породах для многих районов Восточно-Европейской платформы не рассчитывались из-за слабой изученности мелового карста.

Одной из задач авторов настоящей работы было изучение кинетики растворения мело-мергельных пород трещинно-карстовой зоны в породах маастрихтского яруса верхнего мела (K_2mst) Старобельско-Миллеровской моноклинали в условиях, моделирующих химическое и тепловое загрязнение карстовых вод высокоминерализованными отходами производства кальцинированной соды.

К трещинно-карстовой зоне мело-мергельной толщи приурочено месторождение подземных вод, являющееся основным источником питьевого и промышленного водоснабжения региона. Регион характеризуется сложными геолого-экологическими условиями, обусловленными геоструктурными особенностями (сочленение двух разновозрастных структур – Воронежского кристаллического массива и Донецкого складчатого сооружения, наличием региональных и оперяющих разломов, зон высокой проницаемости и трещиноватости пород), и направленностью его промышленного освоения (размещение и функционирование крупных предприятий химической промышленности). Интенсивное хозяйственное освоение региона и наложение на природный карстовый процесс техногенного влияния вызвало его активизацию, проявляющуюся активной деформацией земной поверхности на промышленных площадках предприятий (в зонах постоянного контроля водозаборов) и ростом жёсткости и минерализации подземных вод [7].

Предприятия по производству кальцинированной соды, использующие аммиачный метод Сольве, являются крупными источниками загрязнённых сточных вод. В соответствии с общепринятыми нормами, на тонну кальцинированной соды образуется около 10-12 м³ сточных вод, содержащих в своем составе ионы Ca^{2+} , Na^+ и Cl^- в виде $CaCl_2$ и $NaCl$ (до 98% от общей массы растворенного вещества), и около 250-300 кг твёрдого осадка, включающего $CaCO_3$, $Ca(OH)_2$, $CaSO_4$ (около 80 мас.%), а также SiO_2 , MgO , Fe_2O_3 , Al_2O_3 . В настоящее время отходы содового производства полностью сбрасываются в накопители (так называемые «белые моря»), занимающие сотни гектаров земельных угодий.

Строительство накопителей и их содержание требует больших материальных затрат.

Накопители предприятия «Лиссода» (г. Лисичанск Луганской обл.) представляют собой комплекс гидротехнических сооружений общей площадью 177,6 га, состоящий из четырёх отсеков, два из которых эксплуатировались без защиты грунтов и грунтовых вод от загрязнения промышленными стоками более 80 лет. Третий и четвёртый отсеки оборудованы защитными грунтово-плёночными экранами, однако величина фильтрационных потерь из них составляет 15-25% от общего количества поступающих промышленных стоков. В результате их интенсивной фильтрации вокруг накопителей сформировался крупный очаг химического и теплового загрязнения подземных вод, характеризующийся высокими градиентами концентраций и температур. Основными загрязняющими компонентами подземных вод в пределах описываемой территории являются соли, хлориды, аммоний, железо (до 2000 г. – хлориды, нитраты, аммоний, железо), концентрации которых в подземных водах в десятки и сотни раз превышают ПДК. Температура подземных вод верхнемелового водоносного горизонта в зоне влияния накопителей на 1,1-1,6^oC превышает фоновые значения, составляющие 8-9^oC [7].

Изучение минерального и химического состава мела, образцы которого были отобраны из мело-мергельной толщи, показало, что он характеризуется высокой однородностью, на 95-96% состоит из кальцита с незначительной примесью арагонита (2-3%) и нерастворимых примесей (в основном, сульфатов кальция и магния) – в количестве 2-3%. Примеси в связи с их незначительным содержанием практически не влияют на растворимость мела.

В качестве модельных растворов использовались: фильтрат дистиллерной суспензии из накопителей предприятия «Лиссода» (проба 1), а также смеси природной воды и дистиллерной суспензии в соотношении 3:1 (проба 2) и 1:3 (проба 3). Соотношение природной воды и фильтрата дистиллерной суспензии подбиралось таким образом, чтобы состав модельных растворов был близок к составу воды меломергельного горизонта, отобранной из наблюдательных скважин, расположенных в зоне влияния накопителей «Лиссода».

Полученные ранее кинетические характеристики процесса растворения мела показали, что в модельных растворах, представляющих собой смеси дистиллерной суспензии и природной воды в соотношении 3:1 и 1:3, удельная скорость растворения мела ($2,7 \cdot 10^6$ г/м²·с и $2,3 \cdot 10^6$ г/м²·с, соответственно) на порядок выше, чем в дистиллерной суспензии и природной воде меломергельного горизонта ($0,17 \cdot 10^6$ г/м²·с и $0,3 \cdot 10^6$ г/м²·с соответственно). Следовательно, поступление фильтрата дистиллерной суспензии в трещинно-карстовую зону верхнего мела и смешивание его с природной водой верхнемелового горизонта способствует значительному (на порядок) увеличению скорости карстообразования в меломергельных породах верхнемелового возраста [8].

Для виявлення основних факторів, впливаючих на кінетику розчинення мелу-мергельних порід, проводилось визначення залежності швидкості процесу від основних параметрів – температури і концентрації реагентів і встановлення лімітуючої стадії процесу розчинення.

Методика експерименту заключалась в наступному: в термостатовані стакани опускались вирізані з мела пластини діаметром 0,033 м і висотою 0,005 м, потім в них приливалися модельні розчини об'ємом 0,00005 м³. Значення співвідношення рідке/твисле складало 10:1. Через рівні проміжки часу (15 хвилин) розчини перемішувались, відбиралась пробка, в якій за стандартною методикою визначалась концентрація іонів Ca²⁺. По результатам вимірювань, розрахованих як середнє арифметичне значення з трьох паралельних визначень, вивчалися прирости концентрації Ca²⁺ за часом. Швидкість надходження дистильованої суспензії в водоносний горизонт приймалась умовно постійною і не враховувалась при обробці кінетичних даних, оскільки площа ділянки забруднення за досліджувану період практично не змінювалась. Дослідження кінетики розчинення мела в дистильованій суспензії і модельних розчинах проводилось при температурах 1,5°C, 9°C і 18°C. Інтервал температур був вибраний таким чином, щоб охопити фонові температури підземних вод верхнемелового водоносного горизонту і інтервал геотемпературної аномалії в зоні впливу накопичувачів підприємства «Лиссода».

Результати вимірювання ступеня розчинення CaCO₃ при різній температурі і в різних по складу модельних розчинах оброблялись за кінетичними рівняннями [1]:

1) рівняння для описання розчинення твислих тіл, лімітоване швидкістю хімічного взаємодіяння, з фронтальним переміщенням зони реакції:

$$\frac{d\alpha}{d\tau} = k \cdot (1 - \alpha)^{2/3}; \quad (4)$$

2) рівняння, описуюче процес розчинення при зменшувальній концентрації розчинника:

$$\frac{d\alpha}{d\tau} = k \cdot (1 - \alpha)^{5/3}; \quad (5)$$

3) рівняння, застосоване для процесів, лімітованих дифузійною розчинником або продуктом через шар знову утвореної твислої фази:

$$\frac{d\alpha}{d\tau} = k \cdot \frac{(1 - \alpha)^{1/3}}{1 - (1 - \alpha)^{1/3}}. \quad (6)$$

С учетом результатов обработки экспериментальных данных по кинетическим уравнениям (4)-(6) строились графические зависимости значения аппроксимирующей функции от времени. По тангенсу угла наклона аппроксимирующих прямых к оси t определялось численное значение наблюдаемых констант скоростей соответствующих механизмов растворения (табл. 1).

Таблица 1.

Результаты экспериментального изучения кинетики растворения мела

Температура $t, ^\circ\text{C}$	Состав растворителей	Кинетическое уравнение	Численное значение константы скорости растворения k, c^{-1}
1,5	дистиллерная суспензия	(6)	$2,2 \cdot 10^{-9}$
	3 части суспензии : 1 часть воды	(5)	$5,5 \cdot 10^{-7}$
	1 часть суспензии : 3 части воды	(4)	$1,4 \cdot 10^{-6}$
9	дистиллерная суспензия	(5)	$1,3 \cdot 10^{-6}$
	3 части суспензии : 1 часть воды	(5)	$1,4 \cdot 10^{-6}$
	1 часть суспензии : 3 части воды	(5)	$1,0 \cdot 10^{-6}$
18	дистиллерная суспензия	(5)	$2,2 \cdot 10^{-7}$
	3 части суспензии : 1 часть воды	(6)	$1,0 \cdot 10^{-6}$
	1 часть суспензии : 3 части воды	(5)	$1,1 \cdot 10^{-6}$

Интерпретация результатов обработки экспериментальных данных по кинетическим уравнениям (4)-(6) позволила установить, что при температуре 9°C растворение мела протекает в кинетической области; с разбавлением дистиллерной суспензии дистиллятом в 1,3 раза наблюдаемая константа скорости растворения практически не меняется; при дальнейшем растворении (до 3-х раз) – уменьшается в 1,4 раза.

Среднее значение наблюдаемой константы скорости растворения в этих условиях составляет $1,2 \cdot 10^{-6} \text{c}^{-1}$. Как с ростом, так и с уменьшением температуры наблюдается достаточно сложное изменение механизма и наблюдаемых констант скорости растворения, которое может быть объяснено существенным изменением растворимости в воде как исходных веществ, присутствующих в дистиллерной суспензии, так и продуктов растворения мела [6].

Для уточнения полученных результатов определялась энергия активации (E) процесса растворения мела при разных температурах и составах модельных растворов. Для этого была построена графическая зависимость константы скорости растворения от обратного значения температуры (рис. 1). Результаты определений представлены в табл. 2.

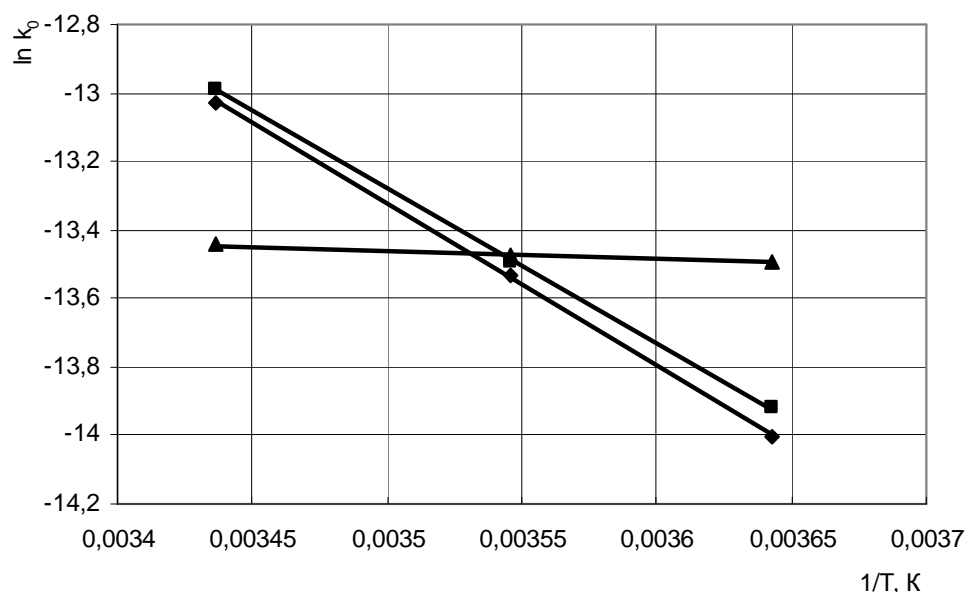


Рис. 1. Зависимость константы скорости растворения от температуры в аррениусовских координатах.

- ◆ – дистиллерная суспензия;
- – смесь дистиллерной суспензии и воды в соотношении 3:1;
- ▲ – смесь дистиллерной суспензии и воды в соотношении 1:3.

Таблица 2.

Энергия активации модельных растворов

№№ проб	Модельные растворы	Е, кДж/моль
1	дистиллерная. суспензия	39,1
2	3 части дистиллерной суспензии : 1 часть воды	37,6
3	1часть дистиллерной суспензии : 3 части воды	2

Численные значения энергии активации показали, что в дистиллерной суспензии и модельном растворе, представляющем собой смесь дистиллерной суспензии и природной воды в соотношении 3:1, процесс протекания реакции растворения лимитируется скоростью химического взаимодействия (энергия активации, соответственно, 39,1 кДж/моль и 37,6 кДж/моль). При дальнейшем разбавлении дистиллерной суспензии (смесь дистиллерной суспензии и природной воды в соотношении 1:3) происходит изменение механизма реакции, и скорость растворения лимитируется диффузией ионов в растворе. Энергия активации в этом случае составила 2 кДж/моль.

Концентрации основных анионов и катионов в начальных модельных растворах и соответствующие им экспоненциальные множители k_0 ,

полученные в результате обработки графических зависимостей (рис. 2), представлены в табл. 3.

Таблица 3.

Составы модельных растворов
и соответствующие им экспоненциальные множители

№№ проб	Концентрации, мг-экв/л							pH	k ₀ , с ⁻¹
	Ca ²⁺	Na ⁺ +K ⁺	NH ₄ ⁺	Cl ⁻	SO ₂ ²⁻	HCO ₃ ⁻	NO ₃ ⁻		
1	1252,5	620	6,19	2157,14	26,37	16,56	0,061	7,4	6,68·10 ⁻³
2	940,55	465,73	4,68	1620,09	19,97	12,47	0,024	7,9	3,56·10 ⁻³
3	348,75	157,15	1,64	547,66	7,18	4,29	0,005	9,7	9,2·10 ⁻¹⁰

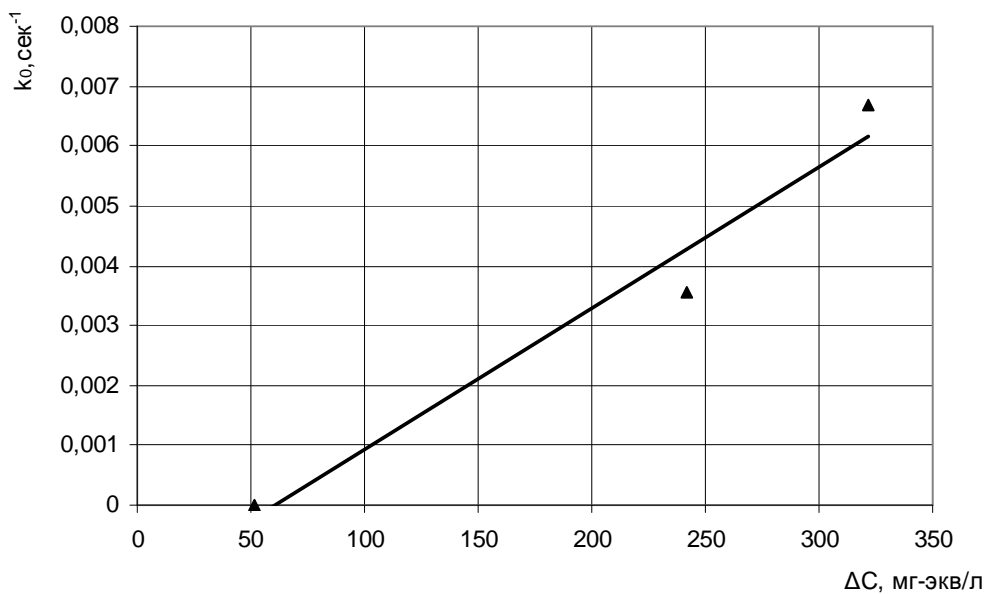


Рис. 2. Зависимость константы скорости растворения от начальной концентрации модельных растворов.

Построенная по данным табл. 3 графическая зависимость экспоненциального множителя k₀ от разности концентрации анионов и катионов в исходных модельных растворах (рис. 2) позволила определить разность анионной и катионной составляющей модельных растворов (полученную экстраполяцией аппроксимирующей прямой на ось абсцисс), при которой заканчивается процесс растворения мела в данных условиях.

Проведенные исследования позволили разработать математическую модель процесса растворения мела в условиях гидрохимического и геотермического загрязнения подземных вод трещинно-карстовой толщи в зоне влияния накопителей предприятия «Лиссода». Кинетиче-

ские уравнения, описывающие механизм растворения в данных условиях, могут быть представлены в виде:

$$\frac{d\alpha}{d\tau} = 2,37 \cdot 10^{-5} (60,34 - \Delta C) \cdot e^{-\frac{4619,85}{T}} (1 - \alpha)^{2/3}, \quad (7)$$

$$\frac{d\alpha}{d\tau} = 2,37 \cdot 10^{-5} (60,34 - \Delta C) \cdot e^{-\frac{239,9}{T}} (1 - \alpha)^{2/3}, \quad (8)$$

где:

$\frac{d\alpha}{d\tau}$ – степень растворения CaCO_3 за время τ ;

$2,37 \cdot 10^{-5}$ – константа скорости растворения, с^{-1} ;

60,34 – разность анионной и катионной составляющей модельных растворов, при которой заканчивается процесс растворения мела в заданных условиях, $\text{мг} \cdot \text{экв/л}$;

4619,85 и 239,9 – соответствующие энергии активации для кинетической и диффузионной области, Дж/моль .

Уравнение (7) составлено для дистиллерной суспензии и смеси дистиллерной суспензии и природной воды в соотношении 3:1 (для условий слабого разбавления дистиллерной суспензии природной водой), а уравнение (8) – для смеси дистиллерной суспензии и природной воды в соотношении 1:3 (для условий сильного разбавления дистиллерной суспензии природной водой). Достоверность аппроксимации – 0,96.

Выводы

1. Загрязнение подземных вод в зоне влияния накопителей жидких отходов предприятия по производству кальцинированной соды «Лиссода», вызванное фильтрацией дистиллерной суспензии из накопителей, и смешивание дистиллерной суспензии с подземными водами трещинно-карстовой зоны верхнемеловой толщи способствует значительному росту скорости растворения мела.

2. Сложные изменения механизмов и констант скорости растворения мела объясняются существенными изменениями растворимости в воде как исходных компонентов дистиллерной суспензии, так и продуктов растворения мела.

3. Математическая модель процесса растворения мело-мергельных пород может быть использована при исследовании техногенного карстообразования в условиях гидрохимического и геотермического загрязнения подземных вод, аналогичных наблюдаемым в зоне влияния накопителей предприятия «Лиссода».

ЛИТЕРАТУРА

1. Аксельруд Г.А., Альтшулер М.А. Введение в капиллярно-химическую технологию // Москва: Химия, 1983.– 263 с.
2. Аксельруд Г.А., Молчанов А.Д. Растворение твердых пород // Москва: Химия, 1977.– 272 с.
3. Дублянская Г.Н., Дублянский В.Н. Картографирование, районирование и инженерно-геологическая оценка закарстованных территорий // Новосибирск: Наука, 1992.– 144 с.
4. Климчук А.Б. Эволюционная типология карста // Спелеология и карстология.– 2010.– №4.– С. 23-32.
5. Мироненко В.А. Проблемы гидрогеоэкологии // Москва: Изд. МГГИ, 2002.– Т.1.– 610 с.
6. Мохоцько В.І. Подбор механизма и кинетического уравнения для моделирования процессов техногенного карстообразования // Екологія довкілля та безпека життєдіяльності.– 2006.– № 4 (34).– С. 71-76.
7. Мохоцько В.І. Чепижко А.В. Еколого-геологические проблемы техногенных карстовых процессов в Северо-Западном Донбассе // Збірник наукових праць Національного гірничого університету (Дніпропетровськ).– 2005.– № 23.– С. 196-203.
8. Мохоцько В.І., Суворин А.І., Чепижко А.В. Исследование причин активизации карстовых процессов в мело-мергельных породах маастрихта Северо-Западного Донбасса // Екологія довкілля та безпека життєдіяльності.– 2006.– № 2 (32).– С. 17-22.
9. Якуч Л. Морфогенез карстовых областей. Вариации эволюции карста // Москва: Прогресс, 1979.– 388 с.

МОХОЇЬКО В.І., ЧЕПІЖКО О.В. Моделювання процесу карстоутворення в зоні впливу накопичувачів рідких відходів виробництва кальцинованої соди.

РЕЗЮМЕ. Фільтрація дистилерної суспензії з накопичувачів рідких відходів підприємства «Ліссода» (Луганська обл.), змішування її з підземними водами сприяє значному зростанню швидкості розчинення крейди й інших карбонатних порід тріщинно-карстової зони верхньокрейдової товщі. Механізми, константи швидкості розчинення крейди визначаються змінами розчинення у воді як вихідних компонентів дистилерної суспензії, так и продуктів розчинення крейди. Математична модель розчинення карбонатних порід може бути використана при вивченні техногенного карстоутворення в умовах аналогічних підприємств і регіонів.

Ключові слова: підземні води; техногенні відходи; карбонатні гірські породи; карстоутворення.

МОХОЇЬКО В.І., ЧЕПІЖКО А.В. Моделирование процесса карстообразования в зоне влияния накопителей жидких отходов производства кальцинированной соды.

РЕЗЮМЕ. Фильтрация дистилерной суспензии из накопителей жидких отходов предприятия «Лиссода» (Луганская обл.), смешивание ее с подземными водами способствует значительному росту скорости растворения мела и других карбонатных пород трещинно-

карстової зони верхнемелової товщі. Механізми, константи швидкості розчинення мела визначаються змінами розчинимості в воді як вихідних компонентів дистильованої суспензії, так і продуктів розчинення мела. Математична модель розчинення карбонатних порід може бути використана при вивченні техногенного карстоутворення в умовах аналогічних підприємств і регіонів.

Ключевые слова: підземні води; техногенні відходи; карбонатні горні породи; карстоутворення.

МОКНОНКО В.І., ШЕРИЗНКО О.В. Modeling karstification process at the area of soda ash production liquid waste storage.

SUMMARY. Distillate suspension filtration from liquid waste storage at "Lissoda" Company (Lugansk oblast), its interflow with ground water contribute to increase in dissolution rate of chalk and other carbonaceous rocks of fissure-karst zone at the Upper Cretaceous rock mass. Mechanisms, constants of chalk dissolution rate are determined by solubility changes in water of both distillate suspension inputs, and chalk dissolution products. Mathematical model of carbonaceous rocks dissolution can be utilized when studying technogene karstification at kindred companies and regions.

Key words: ground waters, technogene waste, carbonaceous rocks, karstification.

*Надійшла до редакції 2 березня 2012 р.
Представив до публікації доц. В.В.Стеценко.*