

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-

ции): 1) карбонатного растворения  $\text{CaCO}_3$  в чистой (дистиллированной) воде; 2) бикарбонатного (гидрокарбонатного) растворения - растворения  $\text{CaCO}_3$  в воде, содержащей  $\text{CO}_2$ ; 3) растворения  $\text{CaCO}_3$  другими химическими агентами, главным образом почвенными кислотами органического происхождения [9].

Процесс карбонатного растворения  $\text{CaCO}_3$  в дистиллированной воде, имеющий подчинённое распространение в природной гидросфере, выражается обратимой реакцией:

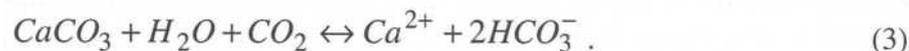


Основными реакциями гидрокарбонатного растворения  $\text{CaCO}_3$ , протекающего с участием  $\text{CO}_2$ , являются:

1) реакция растворения  $\text{CO}_2$  в воде с последующей диссоциацией угольной кислоты на ионы:



2) реакция углекислотного выщелачивания  $\text{CaCO}_3$ :



Уравнение (3), дополненное некоторыми балансовыми соотношениями, является основным для расчёта равновесных концентраций

$\text{C}_{\text{Ca}^{2+}}$  и  $\text{a}_{\text{H}^+}$  ( $\text{pH}$  в открытых (при неограниченном доступе  $\text{CO}_2$  в раствор, контактирующий с кальцитом) системах. Для закрытых гидрогеохимических систем, куда доступ атмосферного  $\text{CO}_2$  ограничен, важна другая оценка, отвечающая нахождение распределения главных компонентов в зависимости от состава исходного раствора. Такого рода оценки также являются традиционными в практике изучения процессов растворения и выщелачивания карбонатного материала из массивов обводнённых пород [5].

К основным факторам карбонатного карстогенеза следует отнести «коррозию смешивания», в основе которой лежит тот факт, что смешение любых двух насыщенных бикарбонатных растворов приводит к образованию недонасыщенного раствора. Хорда, соединяющая точки состояния смешиваемых растворов и являющаяся местом положения точек результирующих растворов при разных пропорциях смешивания, целиком лежит ниже кривой зависимости растворимости  $\text{CaCO}_3$  от концентрации углекислоты, которая везде является выпуклой [3].

Растворение  $\text{CaCO}_3$  может быть вызвано присутствием в растворе не только свободной углекислоты, но и других химических агентов: органических и неорганических продуктов (главным образом, 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 физикохимических 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 инициированию 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 м<sup>3</sup> сточных вод, содержащих в своем составе ионы  $Ca^{2+}$ ,  $Na^+$  и СГ 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°C превышает фоновые значения, составляющие 8-9°C [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/м<sup>2</sup>·с и  $2,3 \cdot 10^6$  г/м<sup>2</sup>·с, соответственно) на порядок выше, чем в дистиллерной суспензии и природной воде меломергельного горизонта ( $0,17 \cdot 10^6$  г/м<sup>2</sup>·с и  $0,3 \cdot 10^6$  г/м<sup>2</sup>·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 меломергельних порід, проводилось визначення залежності швидкості процесу від основних параметрів — температури та концентрації реагентів та встановлення лімітуючої стадії процесу розчинення.

Методика експерименту заключалась в наступному: в термостатовані стакани опускались вирізані з мела пластини діаметром 0,033 м та висотою 0,005 м, потім в них приливались модельні розчини об'ємом 0,00005 м<sup>3</sup>. Значення співвідношення рідке/тверде складало 10:1. Через рівні проміжки часу (15 хвилин) розчини перемішувались, відбиралась проба, в якій за стандартною методикою визначалась концентрація іонів Ca<sup>2+</sup>. По результатам вимірювань, розрахованих як середнє арифметичне значення з трьох паралельних визначень, вираховувались прирости концентрації Ca<sup>2+</sup> за час. Швидкість надходження дистильованої суспензії в водоносний горизонт приймалась умовно постійною та не враховувалась при обробці кінетических даних, оскільки площа очага забруднення за досліджуєму період практично не змінювалась. Дослідження кінетики розчинення мела в дистильованій суспензії та модельних розчинах проводилось при температурах 1,5°C, 9°C та 18°C. Інтервал температур був вибраний таким чином, щоб охопити фонові температури підземних вод верхнемелового водоносного горизонту та інтервал геотемпературної аномалії в зоні впливу накопичувачів підприємства «Лиссода».

Результати вимірювання ступеня розчинення CaCO<sub>3</sub> при різній температурі та в різних по складу модельних розчинах оброблялись за кінетическими рівняннями [1]:

1) рівняння для описання розчинення твердих тіл, лімітованого 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 зменшувачійся концентрації розчинника:

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

3) рівняння, застосоване для процесів, лімітованих дифузій розчинника або продукту через шар знову утвореної твердої 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 $t$ , °С	Состав растворителей	Кинетическое уравнение	Численное значение константы скорости растворения $k$ , с <sup>-1</sup>
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 °С 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  $1,2 \cdot 10^{-6}$  с<sup>-1</sup>. 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.

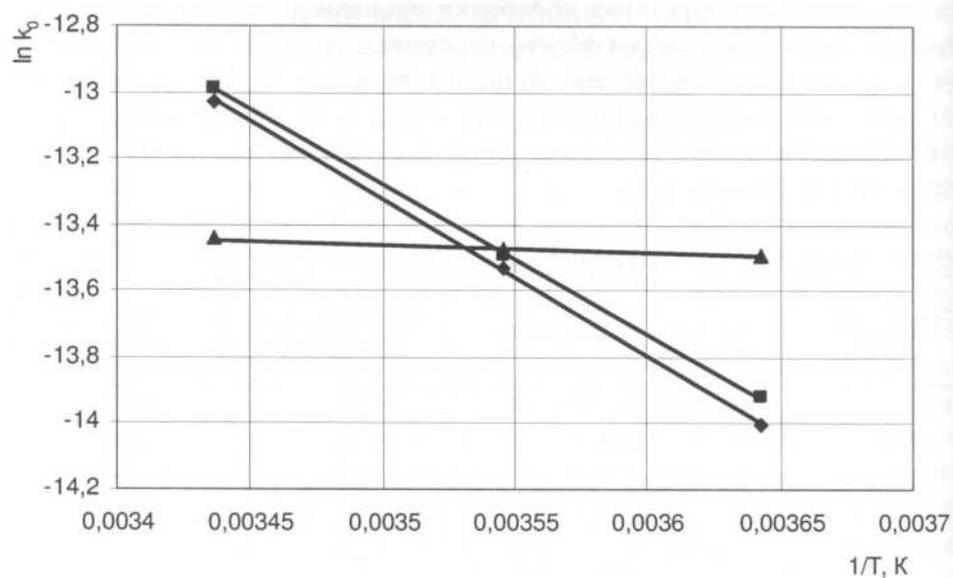


Рис. 1. Зависимость константы скорости растворения от температуры в аррениусовских координатах.

- ♦ – 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	1 часть 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							рН	$k_0, c^{-1}$
	Ca <sup>2+</sup>	Na <sup>+</sup> +K <sup>+</sup>	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	Cl <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>		
1	1252,5	620	6,19	2157,14	26,37	16,56	0,061	7,4	$6,68 \cdot 10^{-3}$
2	940,55	465,73	4,68	1620,09	19,97	12,47	0,024	7,9	$3,56 \cdot 10^{-3}$
3	348,75	157,15	1,64	547,66	7,18	4,29	0,005	9,7	$9,2 \cdot 10^{-10}$

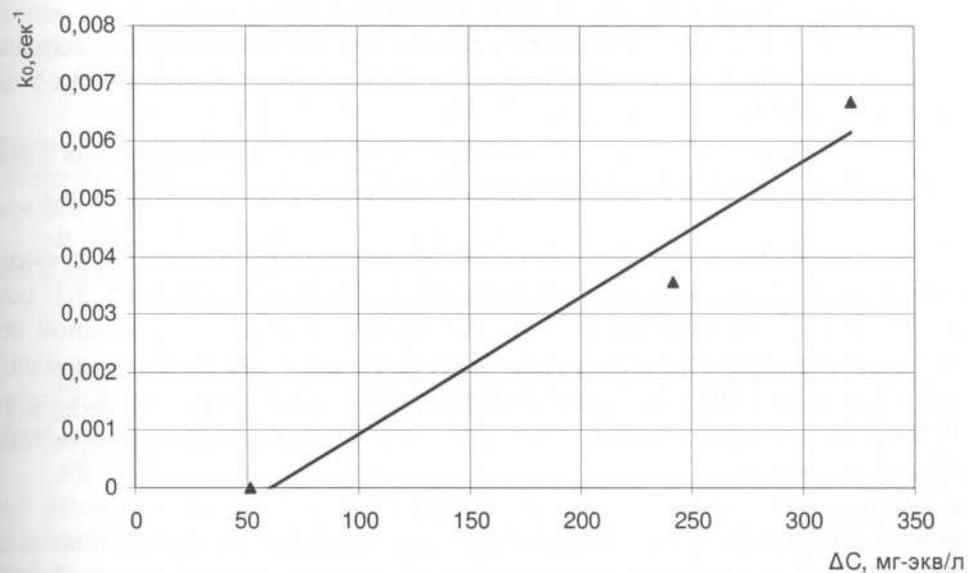


Рис. 2. Зависимость константы скорости растворения от начальной концентрации модельных растворов.

Построенная по данным табл. 3 графическая зависимость экспоненциального множителя  $k_0$  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<sub>3</sub> за время  $\tau$ ;

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

60,34 – разность анионной и катионной составляющей модельных растворов, при которой заканчивается процесс растворения мела в заданных условиях, мг·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 «Лиссо-да», вызванное фильтрацией дистиллерной суспензии из накопителей, и смешивание дистиллерной суспензии с подземными водами трещиннокарстовой 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. Дублинская Г.Н., Дублинский 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. МГИИ, 2002.-Т.1.-610 с.
6. Мононько В.И. Подбор механизма и кинетического уравнения для моделирования процессов техногенного карстообразования // Екологія довкілля та безпека життєдіяльності.- 2006.- № 4 (34).- С. 71-76.
7. Мононько В.И., Чепижко А.В. Эколого-геологические проблемы техногенных карстовых процессов в Северо-Западном Донбассе // Збірник наукових праць Національного гірничого університету (Дніпропетровськ).- 2005.- №23.- С. 196-203.
8. Мононько В.И., Суворин А.И., 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.

**МОХОНЬКО В.І., ЧЕПІЖКО О.В. Моделювання процесу карсто- утворення 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 верхньок- рейдової товщі. Механізми, константи швидкості розчинення крейди визначаються змінами розчинення у воді як вихідних компонентів дистилерної суспензії, так і 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.

**МОХОНЬКО В.И., ЧЕПИЖКО А.В. Моделирование процесса карстообразования в зоне влияния накопителей жидких отходов производства кальцинированной соды.**

**РЕЗЮМЕ.** Фильтрация дистиллерной 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., ШЕПІЗНКО О.У. 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 2012р.  
Представив до публікації доц. В.В. Стеценко