

УДК 622.516:556.388

**Т.И. Перкова,  
Д.В. Рудаков, д-р техн. наук, проф.**

Государственное высшее учебное заведение „Национальный горный университет“, г.Днепропетровск, Украина,  
e-mail: ti86@i.ua

## ИССЛЕДОВАНИЕ ВЫЩЕЛАЧИВАНИЯ ТРЕЩИНОВАТЫХ ПОРОД ПОД ВЛИЯНИЕМ МИНЕРАЛИЗОВАННЫХ ШАХТНЫХ ВОД

**T.I. Perkova,  
D.V. Rudakov, Dr. Sci. (Tech.), Prof.**

State Higher Educational Institution „National Mining University“, Dnipropetrovsk, Ukraine, e-mail: ti86@i.ua

## STUDY OF LEACHING IN FRACTURED ROCKS AFFECTED BY MINERALIZED MINE WATER

**Цель.** Оценка параметров выщелачивания кальция из трещиноватых карбонатных пород при техногенном карстообразовании в различной гидрохимической обстановке и соответствующих изменений фильтрационных свойств.

**Методика.** Проведение экспериментов по растворению образцов карбоната кальция в модельных растворах различного ионного состава и минерализации, а также аналитические оценки моделирования изменений фильтрационных параметров трещиноватых карбонатных пород.

**Результаты.** Проведен комплекс лабораторных исследований и аналитического моделирования. Эксперименты по растворению монолитных образцов известняка растворами различного химического состава и ионной силы позволили количественно оценить кинетику выщелачивания кальция из исследуемой породы. В результате качественной оценки насыщения модельных смесей карбонатом кальция установлена степень агрессивности растворов по отношению к кавернозному известняку. Аналитическими исследованиями установлены диапазоны параметров выщелачивания карбонатных пород.

**Научная новизна.** Впервые выполнены эксперименты по исследованию взаимодействия растворов, моделирующих техногенно измененные подземные воды, с монолитными образцами неогенового известняка. Установлена интенсивность растворения карбонатов в растворах различного состава, определены факторы, влияющие на изменение растворимости породы, количественно оценена кинетика выщелачивания.

**Практическая значимость.** Полученные результаты позволяют адекватно оценивать фильтрационные деформации карбонатных пород под воздействием шахтных вод различного химического состава. Это дает возможность повысить достоверность прогнозирования миграции рассолов в известняках в зонах влияния водоотстойников горнодобывающих предприятий.

**Ключевые слова:** *пруд-накопитель, минерализованные шахтные воды, техногенный карст, кинетика растворения, индекс насыщения, фильтрационные параметры*

**Постановка проблемы.** Карст – один из сложнейших и наиболее распространенных экзогенных геологических процессов. Интенсивность его развития зависит от  $pH$ ,  $Eh$  среды, температуры, присутствия в растворе посторонних и общих ионов, их химического взаимодействия, способности к диссоциации, степени дисперсности вещества [1]. Активизация карстовых процессов приводит к необратимым изменениям, которые проявляются в снижении геомеханической устойчивости массивов горных пород вследствие появления трещин за счет растворения некоторых минералов. Это представляет опасность для населенных пунктов в зоне влияния водоотстойников горнодобывающих предприятий.

Проблема техногенного карстообразования актуальна для центральной части Криворожского бас-

сейна, где расположено несколько прудов-накопителей минерализованных шахтных вод. Типичным примером таких объектов является пруд в балке Свистуново в районе ЮГОКа (Криворожский бассейн). Согласно данным мониторинга, минерализация воды в пруде-накопителе в месте сброса в 1997 г. составляла 22,5 г/л, в 2000 г. – 29,3 г/л, а в 2004 г. – 35,5 г/л. Противофильтрационное покрытие дна пруда выполнено из глин. Под экраном залегают суглинки, понтические пески и сарматские известняки. Однако вследствие разрушения целостности грунтов основания происходили утечки шахтных вод.

Нарушение природного режима фильтрации и поступление минерализованных вод в массив пород способствовало растворению солей и активизации карстообразования, о чем свидетельствует развитие суффозионно-карстовых воронок и впадин на территории с.Новоселовка, расположенного в 3,5 км на северо-запад от пруда.

Таким образом, возникает задача количественной оценки кинетики растворения карбонатов, решение которой позволит повысить достоверность прогноза миграции солей в подземных водоносных горизонтах, выполненных ранее для зоны влияния прудонакопителя [2], и установить связь с геодинамическими явлениями на поверхности земли.

**Связь работы с предыдущими исследованиями.** Экспериментальному изучению динамики карстообразования в условиях, моделирующих природную среду, посвящены исследования Маслова Н.Н., Соколова Д.С., Лаптева Ф.Ф. и Dreybrodt W. [3]. Однако влияние ионного состава и минерализации шахтных вод, фильтрующихся из прудов-накопителей, на кинетику выщелачивания карбонатных пород в должной мере не исследовалось. В работе [4] основное внимание уделено изучению техногенного карстообразования в мело-мергельных породах, механизм растворения которых, согласно Родионову Н.В., отличается от известняков.

В практике экспериментальных исследований карбонатного карстообразования проводились опыты по изучению скорости растворения порошков или частиц определенной крупности, полученных механическим дроблением испытуемых пород (Питьева К.Е., Страхов Н.М.). Главный недостаток методики состоит в том, что при исследовании скоростей растворения порошков наблюдаемый порядок реакции иной, чем истинный порядок реакции на границе раздела фаз, что обусловлено взаимодействием большей площади реагирующей поверхности с раствором. Выщелачивание способствует возрастанию проницаемости и пористости карбонатных пород вследствие увеличения их трещиноватости.

Существующие модели трещинно-пористой среды Ромма Е.С. и Palmer A.N. [5] не учитывают должным образом сложность гидрогеохимической обстановки техногенно-нагруженных регионов и структурные изменения пород при фильтрации рассолов.

К настоящему времени отсутствует методика оценки параметров выщелачивания в моделях миграции техногенно-измененных подземных вод.

**Методика исследований** включала комплекс лабораторных исследований и аналитического моделирования, направленных на изучение параметров выщелачивания карбонатных пород в различной геохимической обстановке. Лабораторные исследования включали проведение экспериментов по растворению образцов карбонатных пород в модельных растворах различного ионного состава и минерализации. Аналитические исследования состояли в оценке изменений фильтрационных параметров исследуемых пород на основе базовых соотношений моделей трещиноватой среды.

**Изложение основного материала. Лабораторные исследования.** Исходным материалом служили образцы карбонатных пород, отобранные в месте их выхода на поверхность в районе с. Новоселовка. Химическим анализом установлено, что исследуемый грунт является песчано-глинистым известняком. Содержание  $CaO$  составляет 47,42%,  $MgO$  – 0,24%,  $Fe_2O_3$  – 0,97%,  $Al_2O_3$  – 1,32%, потери при прокаливании достигают 38,12%, а нерастворимый остаток составляет 11,97%.

Вырезанные образцы известняков объемом 9–10 см<sup>3</sup> опускались в термостатированные стаканы, в которые заливались модельные растворы (табл. 1) в соотношении твердое – жидкое 1:15. Предпосылкой для создания модельных растворов №1–5 является многообразие химических типов шахтных вод, состав которых зависит от горногеологических условий района. В Криворожском железорудном бассейне наиболее распространены хлоридно-натриевые воды, которые с глубиной переходят в хлоридно-сульфатно-натриевые с минерализацией от 5 до 90 г/л [6]. Раствор №6 представлял собой шахтную воду, отобранную непосредственно из пруда. Температура реакционных смесей составляла 16°C.

Через равные промежутки времени (24 ч) раствор перемешивался, и отбиралась проба, в которой комплексометрическим методом титрования определялись концентрации катионов  $Ca$  в растворе. Объем растворов поддерживался постоянным относительно исходного для воссоздания процесса выщелачивания  $Ca$  из карбонатных пород в условиях водообмена. По результатам измерений построены зависимости приращения содержания ионов  $Ca$  во времени (рис. 1).

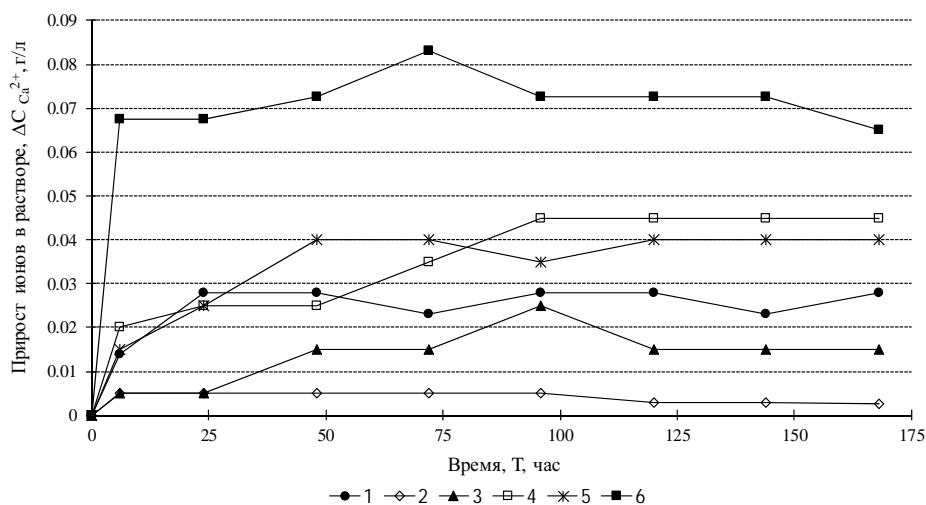


Рис. 1. Динамика выщелачивания кальция различными растворами: 1–5 – модельные растворы; 6 – шахтная вода

Таблица 1

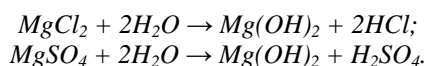
Химические составы модельных растворов

Рас- твор №	Концентрация ионов, г/л						
	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Na <sup>+</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>-</sup>	Cl	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	pH
1	0,33	0,58	11,15	2,73	18,4	0,02	8,0
2	0,16	0,29	5,57	1,36	9,21	0,19	6,93
3	0,36	0,31	10,62	1,35	17,6	0,11	7,5
4	0,36	0,31	13,0	6,0	17,6	0,23	7,3
5	0,23	0,30	7,41	1,69	12,0	0,09	6,45
6	0,50	0,69	10,0	1,30	18,0	0,30	6,7

Исследуемые растворы солей с различной интенсивностью растворяют образцы известняка. Наиболее агрессивными по отношению к породе являются шахтная вода, отобранная непосредственно в месте ее сброса, и модельный раствор №4. Это связано с присутствием в растворах повышенных концентраций хлоридов и сульфатов магния и натрия, хотя NaCl оказывает меньшее влияние на растворимость песчано-глинистых известняков.

Наряду с высоким содержанием MgCl<sub>2</sub>, MgSO<sub>4</sub> и Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, в смесях также присутствуют соли Ca, которые уменьшают растворение CaCO<sub>3</sub>, тем самым определяют истинную скорость физико-химического взаимодействия в системе „минерализованная вода – карбонатная порода“. Установленные закономерности выщелачивания согласуются с результатами ранее проведенных исследований Соколова Д.С. и Лаптева Ф.Ф.

В ходе экспериментов зафиксировано изменение величины pH модельных растворов. Так, по завершению опыта значение pH в растворах №1 и №4 составило 7,0 и 6,7 соответственно. Вероятно, это объясняется склонностью присутствующих солей магния в смесях к гидролизу



Появление HCl и H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> вызывает кислую реакцию растворов солей, которая тем выше, чем более концентрированный раствор.

Остальным растворам свойственно увеличение значения водородного показателя, что свидетельствует о преобладании химически нейтральных солей Na, которые не оказывают непосредственного влияния на величину pH. В таких растворах водородный показатель изменяется прямо пропорционально количеству растворенного карбоната кальция.

Наличие в отобранных образцах органических веществ может приводить к интенсификации растворения карбонатов, что обусловлено разложением органики и сдвигом карбонатного равновесия в кислую сторону.

Влияние фактора температуры на кинетику растворения неогеновых известняков не исследовалось, так как температуру поступления минерали-

зованных вод в горизонты подземных вод можно считать условно постоянной на уровне водоносного горизонта.

Для качественной оценки возможности выпадения CaCO<sub>3</sub> из раствора или растворения этой соли выполнен расчет насыщения модельных смесей карбонатом кальция по методу Ланжелье [1]. Значение индекса Ланжелье I определяется по формуле

$$I = \text{pH} - \text{pH}_s;$$

$$\text{pH}_s = \text{p}K_2 - \text{p}PP_{\text{CaCO}_3} - \lg[\text{Ca}^{2+}] - \lg\Pi + 2,5\sqrt{\mu} + 7,6,$$

где pH<sub>s</sub> – водородный показатель насыщения раствора; pK<sub>2</sub> и pPP<sub>CaCO<sub>3</sub></sub> – отрицательные логарифмы константы второй ступени диссоциации угольной кислоты и произведения растворимости CaCO<sub>3</sub>; Ca<sup>2+</sup> и Π – концентрации в растворе ионов Ca<sup>2+</sup> и слабых кислот, мг/л и мг-экв/л соответственно; μ – ионная сила раствора, моль/л. В растворах 1–6 ионами слабых кислот являются бикарбонат – ионы, поэтому Π = HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>.

Константа диссоциации H<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> определяется из выражения

$$K_2 = \frac{\gamma_{\text{H}^+} \cdot C_{\text{H}^+} \cdot \gamma_{\text{CO}_3^{2-}} \cdot C_{\text{CO}_3^{2-}}}{\gamma_{\text{HCO}_3^-} \cdot C_{\text{HCO}_3^-}},$$

где γ<sub>H</sub>, γ<sub>CO<sub>3</sub><sup>2-</sup></sub>, γ<sub>HCO<sub>3</sub><sup>-</sup></sub> – коэффициенты активности ионов H<sup>+</sup>, CO<sub>3</sub><sup>2-</sup> и HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>; C<sub>H</sub>, C<sub>CO<sub>3</sub><sup>2-</sup></sub>, C<sub>HCO<sub>3</sub><sup>-</sup></sub> – концентрации соответствующих ионов в модельных растворах.

Рассчитанные по методике Ланжелье индексы насыщения изменяются в интервале от –22,9 до –13,1 (табл. 2), что свидетельствует о склонности модельных растворов №1–5 и шахтной воды к растворению известняка [7].

Таблица 2

Агрессивность модельных смесей

Раствор №	1	2	3	4	5	6
Индекс насыщения I	-14,6	-13,1	-14,2	-16,8	-16,7	-22,9

Наиболее агрессивными свойствами обладает шахтная вода и модельные растворы №4 и №5 (рис. 2).

Рис. 2. Зависимость интенсивности выщелачивания ионов Ca<sup>2+</sup> от карбонатной агрессивности вод

Чем выше значение карбонатной агрессивности растворов, тем интенсивнее протекает процесс растворения известняка. Высокая сходимость результатов лабораторных исследований и аналитических оценок методом Ланжелле подтверждается близким к единице коэффициентом корреляции  $R^2 = 0,9875$ .

**Аналитические исследования.** Известно, что под влиянием физико-химических процессов в первую очередь растворяются соли на стенках трещин и пор, затем – легкорастворимые карбонатные частицы. В результате растворения последних, объем порового пространства увеличивается, что, в свою очередь, ускоряет вынос мелких нерастворенных частиц и является причиной расширения трещин, увеличения пористости и проницаемости.

Предполагается, что растворение происходит на поверхности трещин, площадь которых характеризуется параметром удельной поверхности фильтрации  $S_f$ . Предположим, что поверхность трещин изменяется незначительно при миграции и выщелачивании ( $S_f \approx \text{const}$ ), причем увеличение пористости происходит за счет равномерного расширения всех трещин.

Это означает, что крупные трещины с большей скоростью течения воды в них расширяются на большую абсолютную величину, чем более мелкие, хотя относительные изменения сопоставимы по величине. Значения  $S_f$  для известняков находятся в диапазоне  $10^5 - 10^6 \text{ м}^{-1}$  (Коллинз).

Для количественной оценки растворения твердой фазы скелета рассматривается объем пород  $V_r$ , через которые фильтруются минерализованные воды. Объем трещин составляет  $V_f = n_f \cdot V_r$ , где  $n_f$  – трещинная пористость. Площадь, с которой происходит растворение в объеме пород  $V_r$ , составляет  $2 \cdot S_f \cdot V_r$ , причем удвоение поясняется тем, что в массообмене участвуют две почти параллельные поверхности трещин.

Пусть  $\Delta n_f = n_{f,1} - n_{f,0}$  – изменение пористости в результате выщелачивания,  $n_{f,0}$  и  $n_{f,1}$  – ее значения до и после проведения опыта. Обозначим через  $\Delta \bar{n}_f = \Delta n_f / n_{f,0}$  относительное изменение пористости. Пусть также  $\delta$  – раскрытие трещин,  $\delta_0$  и  $\delta_1$  – их среднее раскрытие в образцах до и после опыта.

Приближенно можно записать  $\Delta n_f = S_f \cdot (\delta_1 - \delta_0)$ , откуда  $\delta_1 = (1 + \Delta \bar{n}_f) \cdot \delta_0$ .

Проницаемость трещиноватой среды можно определить по формуле Буссинеска

$$\kappa = \frac{A}{12} \cdot \delta^2 \cdot n_f,$$

в которой коэффициент  $A$  учитывает извилистость и шероховатость трещин.

Тогда измененную проницаемость в результате выщелачивания можно определить через прирост относительной пористости

$$\begin{aligned} \kappa_1 &= \frac{A}{12} \cdot n_{f,1} \cdot \delta_1^2 = \frac{A}{12} \cdot (n_{f,0} + \Delta n_f) \cdot \delta_0^2 \cdot (1 + \Delta \bar{n}_f)^2 = \\ &= \kappa_0 \cdot (1 + \Delta \bar{n}_f)^3. \end{aligned}$$

Оцененные по результатам опыта изменения относительной пористости  $\Delta \bar{n}_f$  и проницаемости  $\Delta \bar{\kappa} = \kappa_1 / \kappa_0$  сведены в табл. 3.

Таблица 3

Расчетная оценка фильтрационных параметров

Раствор №	1	2	3	4	5	6
$\Delta \bar{n}_f$	0,071	0,014	0,033	0,11	0,12	0,17
$\Delta \bar{\kappa}$	1,23	1,04	1,1	1,37	1,41	1,6

Таким образом, даже при относительно кратковременном воздействии минерализованных шахтных вод существенно увеличивается трещинная пористость (до 15%) и проницаемость (до 40–60%). Такие изменения фильтрационных свойств следует воспроизводить при моделировании миграции в подземных водах при техногенном карстообразовании.

Оцененная по результатам проведенного опыта скорость расширения трещин составила  $(0,54 - 9,07) \cdot 10^{-7} \text{ м/сут}$ . Скорость увеличения пористости известняка достигла  $(0,5 - 6,5) \cdot 10^{-4} \text{ 1/сут}$ .

**Выводы.** Проведены эксперименты по исследованию взаимодействия растворов, моделирующих техногенно-измененные подземные воды, с монолитными образцами неогенового известняка. Установлено, что скорость выщелачивания известняков варьирует от  $1 \cdot 10^{-5}$  до  $2 \cdot 10^{-4} \text{ г/см}^2 \cdot \text{сут}$  и зависит от ионного состава смесей. Повышенные концентрации хлоридов и сульфатов магния и натрия в растворах интенсифицируют растворение соли, а общие с  $\text{CaCO}_3$  ионы понижают ее растворимость.

Выполнена качественная оценка насыщения модельных смесей карбонатом кальция, которая позволила установить прямую линейную зависимость интенсивности выщелачивания ионов  $\text{Ca}^{2+}$  от карбонатной агрессивности вод.

Расчетным путем получены оценки диапазонов изменений параметров выщелачивания кальций карбонатных пород. Установлено, что скорость увеличения пористости известняка в условиях миграции шахтных вод достигает порядка  $10^{-4} \text{ 1/сут}$ , при этом скорость расширения трещин составляет  $10^{-7} \text{ м/сут}$ .

Дальнейшее развитие исследований направлено на применение полученных закономерностей к анализу карстовых процессов в центральной части Криворожского бассейна, факторов растворимости известняков сарматского возраста, агрессивности техногенно-измененных подземных вод и путей фильтрации в трещиноватой, кавернозной породе.

#### Список литературы / References

1. Лехов А.В. Физико-химическая гидрогеодинамика / Лехов А.В. – М.: КДУ, 2010. – 500 с.

Lekhov, A.V. (2010), *Fiziko-khimicheskaya gidrogeodinamika* [Physical and Chemical Hydrogeodynamics], KDU, Moscow, Russia.

2. Перкова Т.И. Разработка и идентификация модели подземной миграции минерализованных шахтных вод в зоне расположения водоотстойников центрального Кривбасса / Т.И. Перкова, Д.В. Рудаков // Вестник Криворожского национального университета. – 2012. – вып.31. – С. 122–126.

Perkova, T.I. and Rudakov, D.V. (2012), "Creation and identification of a model for underground transport of mineralized mine water in the zone of tailing facility location in Central Krivbas", *Vestnik Natsionalnogo Krivorozhskogo universiteta*, no. 31, pp. 121–126.

3. Dreybrodt, W. (1993), "A model of karstification in the vicinity of hydraulic structures. Hydrogeological processes in karst terrains", *Proceedings of the Antalya Symposium and Field Seminar*, October 1990, *International Association of Hydrological Sciences Publication*, Vol. 207, pp. 33–44.

4. 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 // Экология окружающей среды и безопасность жизнедеятельности. – 2006. – №2. – С. 17–22.

Mokhonko, V.I., Suvorin, A.V. and Chepizhko, A.V. (2006), "Studying the conditions of karst activation in chalky rocks of Maastricht age on the territory of North-West of Donbass", *Ekologiya okruzhayushchey sredy i bezopasnost zhiznedeyatelnosti*, no. 2, pp. 17–22.

5. Palmer, A.N., Palmer, M.V. (1999), "Patterns of dissolution porosity in carbonate rocks. Karst modeling", *Karst Waters Institute Special Publication*, Vol. 5, pp. 71–78.

6. Гідрогеохімічне навантаження хвостосховищ на навколишнє середовище (на прикладі Криворізького рудного регіону) / О. Криворучкіна, С. Терещенко, І. Байсарович [та ін.] // Вісник Київського національного університету ім. Тараса Шевченка. – № 47. – 2009. – С. 32–35.

Kryvoruchkina, O., Tereshchenko, S., Baysarovych, I. etc. (2009), "Hydrogeochemical impacts on the environment by tailing facilities (on example of Kryvyi Rig ore region)", *Visnyk Kyivskoho Natsionalnoho universytetu imeni Tarasa Shevchenka*, no. 47, pp. 32–35.

7. Осложнения в нефтедобыче / [Ибрагимов Н.Г., Хафизов А.Р., Шайдаков В.В. и др.]; под ред. Ибрагимова Н.Г., Ишемгужина Е.И. – Уфа: Изд-во „Монография“, 2003. – 302 с.

Ibragimov, N.G., Khafizov, A.R., Shaydakov, V.V. etc. (2003), *Oslozhneniya v nefte dobyche* [Complications in Petroleum Production], *Monografiya*, Ufa, Russia.

**Мета.** Оцінка параметрів вилугування кальцію із тріщинуватих карбонатних порід при техногенному карстоутворенні в різній гідрохімічній обстановці та відповідних змін фільтраційних властивостей.

**Методика.** Проведення експериментів із розчинення зразків карбонату кальцію в модельних розчинах різного іонного складу та мінералізації, а також аналітичні оцінки змін фільтраційних параметрів тріщинуватих карбонатних порід.

**Результати.** Проведено комплекс лабораторних досліджень та аналітичного моделювання. Експерименти із розчинення монолітних зразків вапняку розчинами різного хімічного складу та іонної сили дозволили кількісно оцінити кінетику вилугування кальцію з досліджуваної породи. У результаті якісної оцінки насичення модельних сумішей карбонатом кальцію встановлено ступінь агресивності розчинів по відношенню до кавернозного вапняку. Аналітичними дослідженнями встановлено діапазони параметрів вилугування карбонатних порід.

**Наукова новизна.** Уперше виконані експерименти з дослідження взаємодії розчинів, що моделюють техногенно-змінені підземні води, з монолітними зразками неогенового вапняку. Встановлена інтенсивність розчинення карбонатів у розчинах різного складу, визначені фактори, що впливають на зміну розчинності породи, кількісно оцінена кінетика вилугування.

**Практична значимість.** Отримані результати дозволяють адекватно оцінювати фільтраційні деформації карбонатних порід під впливом шахтних вод різного хімічного складу. Це дає можливість підвищити достовірність прогнозування міграції розсолів у вапняках у зонах впливу водовідстійників гірничодобувних підприємств.

**Ключові слова:** ставок-накопичувач, мінералізовані шахтні води, техногенний карст, кінетика розчинення, індекс насичення, фільтраційні параметри

**Purpose.** To estimate the parameters of calcium leaching from fractured carbonate rocks under various geochemical conditions of man-caused karst, and to evaluate relevant changes of flow properties.

**Methodology** includes the experiments of dissolution of calcium carbonate samples in reproduced solutions of different ion composition and mineralization as well as analytical assessment of flow parameters changes of fractured carbonate rocks.

**Findings.** Laboratory studies and analytical evaluations have been carried out. The experiments of dissolution of limestone massive samples using solutions of different compositions and ionic intensity allowed quantifying the kinetics of calcium leaching from the rock. As a result of qualitative assessment of saturating the model mixtures with calcium carbonate a high activity of solutions against cavernous limestone has been established. Analytical studies have determined the ranges of parameters that quantify leaching in carbonate rocks.

**Originality.** First time the experiments have been conducted to study the mutual reaction between massive samples of Neogen limestone and solutions reproducing man-changed ground waters. The rate of carbonates dissolution in solutions of different content as well as the factors influencing on changes of rocks solubility have been identified and leaching kinetics has been evaluated.

**Practical value.** The results obtained allow proper evaluating the seepage-induced deformations of carbonate rocks under the impacts of mine waters of different chemical composition. It makes possible to enhance the trustworthiness of salt transport prediction in limestone in the zones affected by tailing facilities.

**Keywords:** *accumulating pond, mineralized mine water, man-caused karst, kinetics of dissolution, saturation index, flow parameters of rocks*

*Рекомендовано до публікації докт. техн. наук І.О. Садовенком. Дата надходження рукопису 04.10.13.*

УДК 550.832

**Є.В. Солодкий,  
О.М. Карпенко, д-р геол. наук, проф.**

Київський національний університет імені Тараса Шевченка, м.Київ, Україна, e-mail: Eugeniy\_Solodkiy@ukr.net, alexbrig@inbox.ru

## ВИЗНАЧЕННЯ ГАЗОНАСИЧЕННЯ ПРИСВЕРДЛОВИННОЇ ЗОНИ ПЛАСТА-КОЛЕКТОРА ЗА ГЕОФІЗИЧНИМИ ДАНИМИ

**Ye.V. Solodkiy,  
O.M. Karpenko, Dr. Sci. (Geol.), Prof.**

Taras Shevshenko Kyiv National University, Kyiv, Ukraine, e-mail: Eugeniy\_Solodkiy@ukr.net, alexbrig@inbox.ru

## ESTIMATION OF GAS SATURATION IN NEARFIELD RESERVOIR BED BY GEOPHYSICAL DATA

**Мета.** Створення методики визначення пористості газонасичених теригенних порід-колекторів з урахуванням впливу радіальної неоднорідності розподілу залишкового газонасичення в зоні проникнення фільтрату промивної рідини.

**Методика.** Проведені інтерпретація та переінтерпретація каротажного матеріалу по пластах-колекторах одного віку, літології, глибини залягання та різного, за результатами випробувань, газонасичення (визначення пористості за результатами акустичного, радіоактивного та електричного каротажу).

**Результати.** Виявлений вплив характеру газонасичення присвердловинної зони пласта на покази нейтронних і акустичних методів визначення пористості. Проаналізований механізм утворення зони проникнення простого колектора та характер розподілу залишкового газонасичення в ній. Показані основні недоліки існуючих методик визначення пористості газонасиченого колектора. Також наведені особливості різних геофізичних методів дослідження свердловин (ГДС) щодо їх радіальної глибинності та вплив на їх покази залишкового газонасичення в межах радіусу дослідження. На основі аналізу впливу флюїдонасичення на покази різних методів ГДС та глибинності дослідження методів розроблений підхід, що дозволяє проводити оцінку зміни залишкового газонасичення в радіальному напрямку від свердловини та виявлення газонасичених порід-колекторів за даними нейтронних і акустичного методів дослідження. Теоретичні висновки підтверджені статистичним аналізом результатів інтерпретації даних ГДС.

**Наукова новизна.** Наукова новизна запропонованого в роботі підходу – адекватне врахування впливу залишкового газонасичення на обраховану за результатами ГДС пористість.

**Практична значимість.** Запропонована методика, що дозволяє визначати пористість газонасичених колекторів, знаходити коефіцієнти залишкового газонасичення на відстанях, що відповідають радіусам дослідження методів пористості.

**Ключові слова:** *колектор, зона проникнення, пористість, коефіцієнт залишкового газонасичення*

**Постановка проблеми.** Дефіцит вуглеводневої сировини в Україні потребує збільшення обсягів видобутку природного газу за рахунок розробки колекторів, що мають граничні, або на межі граничних, значення коефіцієнта пористості ( $K_n$ ). При прийнятті рішень щодо розробки того чи іншого пласта-колектора необхідно оперувати реальними значеннями коефіцієнта пористості та коефіцієнта газонасичення пласта ( $K_c$ ). Таку інформацію, у більшості випадків, отримують із результатів інтерпретації

даних геофізичних досліджень свердловин (ГДС). Існуючі класичні методики визначення  $K_n$  газонасичених порід-колекторів базуються на використанні даних лише одного з методів пористості (акустичний, радіоактивний або електричний) і не враховують реальний вплив газонасичення присвердловинної зони пласта на покази, отримані методами каротажу. При такому підході вважається, що вміст залишкового газонасичення ( $K_{c3}$ ) дорівнює нулю та не впливає на покази пористості. Неврахування наявності залишкового газонасичення в зоні проник-