

2. Геологічні пам'ятки України. Geological landmarks of Ukraine. У 3-х томах, укр. та англ. Мовами / К-в авт. – К., 2006 – т. 1, – 320 с., 2007: – т. 2 – 320 с.
3. Геологічні пам'ятки природи України: вивчення, збереження та раціональне використання / В.П. Гриценко, А.А. Іщенко, О.О. Русько. К., 1996. – 60 с.
4. Исторический обзор изучения геологического наследия в Украине. // Материалы Рабочего совещания Российской группы ProGEO, Миасс, 2007. – С. 47-49.
5. Мінерально-сировинна база Дніпропетровщини. // зб. наук. праць КТУ, серія геол.-мінерал. Кривий Ріг, 1999. – С.25 – 34.
6. Preservation of the geological heritage of Ukraine: new steps towards the creation of a database of geosites. // Uppsala, Sweden, ProGEO NEWS, 2005, №2. – P.1 – 8.

Надійшла до редколегії 20.10.08.

УДК 556.332.4

**Г.П. Евграшкина, Н.П. Шерстюк**

*Днепропетровский национальный университет им. Олеся Гончара*

## **ПРОГНОЗ РАЗВИТИЯ ПРОЦЕССОВ ВТОРИЧНОГО ЗАСОЛЕНИЯ ПОЧВОГРУНТОВ В РАЙОНАХ ГОРНОДОБЫВАЮЩЕЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ**

**Виконано прогнози розрахунки процесу вторинного засолення ґрунтів на території розташування гірничо-видобувних підприємств на основі теорії фізико-хімічної гідродинаміки пористих середовищ.**

**Постановка проблеми.** Многолетняя эксплуатация крупных горнодобывающих предприятий приводит к необратимым явлениям регионального характера – формированию новых геологических систем с аномальными свойствами. Добыча полезных ископаемых проводится в условиях осушения карьеров и шахт и, соответственно, снижению уровня подземных вод в зоне их влияния. В этих условиях образуются ландшафты неполного профиля, в которых отсутствует связь между грунтовыми водами и почвенными процессами [1]. На территории горнодобывающих предприятий Кривбасса расположены обогатительные фабрики, техногенные водоемы (хвостохранилища) без экранизации водовмещающей части, что приводит к значительным водопотерям. Последнее обуславливает повышение уровня грунтовых вод или формирование техногенных водоносных горизонтов с аномальными гидрогеологическими свойствами. На таких участках формируются ландшафты полного профиля, в которых глубина залегания и химический состав грунтовых вод оказывают существенное, а иногда и решающее значение на формирование почвенного покрова.

Геохимические особенности ландшафта формируются под влиянием ландшафтно-геохимических процессов. Наиболее значимыми ландшафтно-геохимическими процессами являются гидрогенез, биогенез, галогенез. Галогенез протекает повсеместно, где испаряемость превышает количество осадков и возможна испарительная концентрация растворов. В галогенезе принимают участие химические элементы преимущественно с большими радиусами ионов и низкой валентностью: катионогены – Na, K, H, Ca, Mg; анионогены – Cl, S, C, O, N. Они образуют простые и сложные соли: хлориды, сульфаты, карбонаты, реже нитраты. В

© Г.П. Евграшкина, Н.П. Шерстюк, 2009

условиях развития горнодобывающей промышленности источником солей в ландшафтах являются промстоки (особенно шахтные воды, которые сбрасываются в техногенные водоемы).

Испарительная концентрация солей в грунтовых водах начинается на глубине 3,5–4,0 м, усиливаясь с глубиной 2,8–3,0 м. В капиллярной зоне над грунтовым потоком испарение еще более возрастает и достигает максимума в почвенном слое. В зависимости от глубины залегания грунтовых вод и водоподъемной способности пород и почв полное испарение растворов наступает внутри грунтового профиля, или на поверхности почвы. Это вызывает засоление и осолонцевание почв и грунтов.

Таким образом, процессы галогенеза, которые развиваются на территории горнодобывающих предприятий оказывают большое влияние на общее состояние геологической среды и их необходимо изучать, анализировать и прогнозировать в комплексе с другими негативными процессами.

**Анализ основных исследований и публикаций.** Круг вопросов преобразования химического состава ландшафтов в районах добычи и переработки полезных ископаемых освещен в работах Л.Г. Зубовой, В.А. Гречки, И.В. Бабич [2;3]. Анализ и прогноз формирования засоления и осолонцевания наиболее разработан для условий орошения [4]. Составлен прогноз развития засоления для условий Западного Донбасса на рекультивированных отвалах [5]. Тем не менее, вопросам геохимических изменений ландшафтов Приднепровья, которые обусловлены добычей железной руды открытым способом в отечественной литературе надлежащего внимания не уделено.

**Цель исследования.** Анализ результатов наблюдений за уровнем грунтовых вод на территории Кривбасса, а именно Северного обогатительного комбината (СевГОКа) показывает, что тут существуют отдельные участки с глубинами залегания уровня 2,0 м от поверхности и меньше. При этом минерализация грунтовых вод составляет от 3 до 5 г/дм<sup>3</sup>.

Целью работы является оценка и прогноз развития процессов вторичного засоления пород зоны аэрации на этой территории.

**Изложение основного материала.** Для суждения о возможности вторичного засоления при повышении уровня грунтовых вод академиком Б.Б. Польшовым в 1936 г. [6] впервые введено понятие о критической глубине залегания уровня минерализованных грунтовых вод. В среднем критическая глубина уровня минерализованных грунтовых вод для засушливых районов колеблется от 2 до 3 м, для Среднего Приднепровья принята 2,2 м.

Современное прогнозирование процессов засоления пород зоны аэрации базируется на теории физико-химической гидродинамики пористых сред. Согласно этой теории процессы засоления описываются уравнениями движения и сохранения массы вещества [7].

Для одномерных процессов масопереноса с постоянными миграционными параметрами и отсутствием солей твердой фазы это уравнение имеет вид [7]

$$D \frac{\partial^2 C}{\partial x^2} - V \frac{\partial C}{\partial x} = m \frac{\partial C}{\partial t}, \quad (1)$$

где  $D$  – коэффициент гидродисперсии, м<sup>2</sup>/сут;  $C$  – минерализация подземных вод, г/дм<sup>3</sup>;  $V$  – результирующая скорость вертикального влагопереноса, м/сут

$$V = V_2 - V_1; \quad (2)$$

$V_2$  – скорость нисходящего потока влаги (осадки, орошение), м/сут;  $V_1$  – скорость восходящего потока влаги (в наших условиях величина испарения с уровня грунтовых вод), м/сут;  $x$  – пространственная координата, м;  $m$  – объемная влажность, д. е.;  $t$  – временная координата, сут.

Для составления моделей массопереноса по уравнению (1) необходимо знать миграционные параметры: скорость вертикального влагопереноса и коэффициент гидродисперсии. Эти параметры определены нами для условий территории СевГОКа (Кривбас) при нейтральной, кислой и щелочной среде в подземных водах и испарительном режиме вертикального влагопереноса, когда уровень грунтовых вод залегает выше критической глубины.

Скорость вертикального влагопереноса является одним из главных параметров, именно он характеризует процесс массопереноса.

Скорость вертикального влагопереноса для испарительного режима, в котором выполнялись экспериментальные исследования ( $V_2=0$ ,  $V=V_1$ ) определяется по формуле [8]

$$V_1 = V_0 \left( 1 - \frac{Z}{Z_k} \right)^n, \quad (3)$$

где  $V_0$  – испаряемость, м/сут;  $Z$  – глубина залегания уровня, м;  $Z_k$  – критическая глубина залегания уровня грунтовых вод, м;  $n$  – показатель степени, изменяется от 1 до 4, по С.Ф. Аверьянову  $n = 2$ .

Значение испаряемости ( $V_0$ ) и скорости вертикального влагопереноса ( $V_1$ ) определены экспериментально в лаборатории физико-химических методов исследования НИИ геологии ДНУ и равны соответственно  $0,57 \times 10^{-3}$  м/сут и  $0,143 \times 10^{-3}$  м/сут. Полученные значения близки к экспериментальным лизиметрическим наблюдениям проведенным на Каменской оросительной системе и соответствуют марту – апрелю. Кислотно-щелочные условия исследуемых растворов существенно не влияют на эти величины.

Критическая глубина испарения для легких суглинков  $Z_k=2,0$  м [9], глубина залегания уровня в физических моделях составляет  $Z=0,9$  м.

Результаты исследований позволили уточнить для условий эксперимента показатель степени ( $n$ ) в формуле (3), который равняется 2,3.

Глубина залегания уровня грунтовых вод вблизи хвостосховища на северном участке составляет 0,9 м, а на удалении изменяется от 1 до 2 м, поэтому рассчитываем скорость вертикального влагопереноса для глубин залегания 1; 1,25; 1,50; 1,75 м. Результаты расчетов сведены в табл. 1.

Таблица 1  
Скорости вертикального влагопереноса на северном участке от хвостосховища СевГОКа

Глубины залегания уровня грунтовых вод, м	Скорость вертикального влагопереноса, м/сут
0,9	$0,143 \times 10^{-3}$
1,0	$0,116 \times 10^{-3}$
1,25	$0,06 \times 10^{-3}$
1,50	$0,024 \times 10^{-3}$
1,75	$0,005 \times 10^{-3}$

Коэффициент гидродисперсии ( $D$ ) также является необходимым и важным параметром в прогнозных расчетах засоления пород зоны аэрации.

Для определения коэффициента гидродисперсии используем формулы С.Ф. Аверьянова [8] и Н.Н. Веригина [10].

Формула С.Ф. Аверьянова

$$D = \frac{V \cdot x}{2 \ln \frac{C_1}{C_0}}, \quad (4)$$

где  $x$  – глубина залегания уровня грунтовых вод на физической модели, м;  $C_0$  – засоление пород (или минерализация грунтовых растворов) при  $x=0$ , г/дм<sup>3</sup>;  $C_1$  – засоление пород в точке с координатой  $x$ , г/дм<sup>3</sup>.

Формула Н.Н. Веригина

$$D = \frac{V \cdot \Delta x}{\ln(\bar{C} - 1)}; \bar{C} = \frac{C_1 - C_3}{C_1 - C_2}, \quad (5)$$

где  $\bar{C}$  – приведенная минерализация порового раствора;  $C_1, C_2, C_3$  – минерализация порового раствора в трех точках зоны аэрации, расположенных на расстоянии  $\Delta x$  одна от другой, г/дм<sup>3</sup>.

Остальные обозначения в формулах (4) и (5) приведены выше.

Для общего засоления коэффициент гидродисперсии при кислой, нейтральной и щелочной реакциях рН рассчитываем по формуле (4) и (5). Расчеты выполнены по результатам физико-химического экспериментов, которые продолжались 6 недель и 6 месяцев, всего проведено 7 экспериментов.

Таким образом, по результатам расчетов, коэффициент гидродисперсии изменяется от  $0,24 \times 10^{-3}$  м<sup>2</sup>/сут до  $0,018 \times 10^{-3}$  м<sup>2</sup>/сут для различных условий выполнения эксперимента.

Для выбора расчетного коэффициента гидродисперсии выполнено сопоставление результатов эксперимента и расчетной величины засоления в установившемся режиме.

Величина вторичного засоления в установившемся режиме массопереноса рассчитывается по формуле [4]

$$C = \left( C_0 + \frac{C_2 \cdot V_2}{V_1 - V_2} \right) \exp \frac{(x_1 - x)(V_1 - V_2)}{D} - \frac{C_2 \cdot V_2}{V_1 - V_2}, \quad (6)$$

где  $C_0$  – минерализация подземных вод, г/дм<sup>3</sup>, по условиям опыта равняется 5 г/дм<sup>3</sup>;  $C_2$  – минерализация воды, которая поступает (осадки, орошение), в опыте она равна нулю, г/дм<sup>3</sup>;  $x$  – расстояние от начала координат (от поверхности земли) до точки опробования м;  $x_1$  – мощность зоны аэрации, м.

Остальные обозначения приведены выше.

Поскольку в опыте присутствует только испарение ( $V_2=0$ ), формулу (6) переписываем для этого случая

$$C = C_0 \exp \frac{(x_1 - x)V_1}{D}. \quad (7)$$

Концентрация ионов в поровом растворе пород пересчитывается в проценты солей к массе сухой породы по следующей формуле [4]

$$C_1 = \frac{C(W_{н.в.} - W_r)}{\delta}, \quad (8)$$

где  $C_1$  – засоленность пород, %;  $C$  – концентрация ионов в поровом растворе (г/дм<sup>3</sup>);  $W_{н.в.}$  – наименьшая (полевая) влагоемкость пород, %;  $W_r$  – максимальная гигроскопичность пород, %;  $\delta$  – плотность породы, кг/м<sup>3</sup>.

Для практических расчетов согласно [4] принимается  $W_{н.в.} - W_r = 18\%$ ;  $\delta = 1300 \text{ кг/м}^3$ .

Результаты эксперимента и расчетные значения засоления пород не всегда совпадают. Наиболее достоверной является величина коэффициента гидродисперсии  $0,08 \times 10^{-3} \text{ м}^2/\text{сут}$ . Сопоставление результатов опыта с теоретическим расчетом свидетельствует о том, что в эксперименте, который длился 6 недель режим массопереноса был неустановившийся, при увеличении срока эксперимента до 6 месяцев режим массопереноса можно считать установившимся или близким к такому.

На основе полученных параметров (скорости вертикального влагопереноса и коэффициента гидродисперсии) выполнен расчет возможного развития процесса засоления на территории Северного горно-обогатительного комбината (СевГОКа).

Хвостохранилище СевГОКа эксплуатируется с 1963 года. Его влияние на формирование водоносного горизонта грунтовых вод началось с 1978 года, когда уровень воды в хвостохранилище достиг отметки красно-бурых глин, которые являются водоупором для грунтовых вод.

Расчет прогноза засоления пород зоны аэрации выполнен для условий неустановившегося и установившегося режимов массопереноса.

Для расчета прогнозного засоления пород зоны аэрации при неустановившемся режиме сроком на 1 год при глубине залегания уровня грунтовых вод 0,9 м использована явная конечно-разностная схема вида:

$$D \frac{C_{i-1}^t - C_i^t}{(\Delta x)^2} - D \frac{C_i^t - C_{i+1}^t}{(\Delta x)^2} + V_1 \frac{C_{i-1}^t - C_{i+1}^t}{2\Delta x} = m \frac{C_i^{t+\Delta t} - C_i^t}{\Delta t} \quad (9)$$

с граничным условием I рода на нижней границе (начало координат).

Использование явных конечно-разностных схем вида (9) и других, накладывает ограничение на выбор шагов  $\Delta t$  и  $\Delta x$  [11]:

$$\Delta t \leq \frac{(\Delta x)^2}{2D}, \quad \Delta x \leq \frac{2D}{v} \quad (10)$$

При  $\Delta x = 0,1 \text{ м}$ ;  $\Delta t \leq 73 \text{ сут}$ . С такими шагами и выполнен расчет, результаты которого показали, что через 1 год засоленность приповерхностного слоя почвы достигнет 0,594 %, что соответствует среднему засолению по классификации А.Г. Владимирова [12].

В выражениях (9), (10) приняты следующие обозначения:  $C_{i-1}^t, C_i^t, C_{i+1}^t$  – засоленность пород на предыдущий момент времени, %;  $C_i^{t+\Delta t}$  – засоленность пород на последующий момент времени, %;  $m$  – объемная влажность, д.е.;  $C_r$  – минерализация грунтовых вод, г/дм<sup>3</sup>, %;  $\Delta x$  – шаг по пространственной координате, м;  $\Delta t$  – шаг по временной координате, сут.

Расчет прогнозного засоления пород зоны аэрации при установившемся режиме массопереноса выполнен как среднемноголетний по формуле (6) со следующими исходными данными:  $C_0 = 5 \text{ г/дм}^3$ ;  $D = 0,08 \times 10^{-3} \text{ м}^2/\text{сут}$ ;  $V_1$  определялась из таблицы 1; глубина залегания грунтовых вод 1,0 м; 1,25 м; 1,5 м. Результаты расчетов приведены в таблице 2.

Как видно по результатам прогнозных расчетов почвы на поверхности становятся засоленными при глубине залегания уровня грунтовых вод 1,25 м и меньше (нижняя граница незасоленных почв 0,2 % [12]).

**Выводы и перспективы дальнейших исследований.** Проведенные исследования и расчеты подтверждают возможность развития на исследуемой территории СевГОКа процессов галогенеза, а именно вторичного засоления пород зоны

азрации. В соответствии с рекомендациями, приведенными в [13] полученные результаты могут стать основой пространственного районирования территории СевГОКа и других горнодобывающих предприятий Кривбасса с выделением участков подверженных изменению некоторых составляющих геологической среды. Такое районирования будет являться основой совершенствования системы мониторинга.

Таблица 2

Прогноз засоления пород зоны азрации на северном участке от хвостохранилища СевГОКа в установившемся режиме процесса массопереноса

Расстояние от начала координат(x), м	Глубина залегания уровня грунтовых вод ( $x_1$ ), м					
	1,0		1,25		1,5	
	Концентрация ионов в поровом растворе (C), г/дм <sup>3</sup> и засоленность пород ( $C_1$ ), %					
	C	$C_1$	C	$C_1$	C	$C_1$
0,0	40,18	0,556	12,85	0,178	7,86	0,110
0,25	15,10	0,209	10,62	0,147	7,29	0,100
0,50	10,36	0,143	8,77	0,121	6,76	0,096
0,75	7,20	0,100	7,29	0,100	6,27	0,087
1,0	—	—	6,05	0,084	5,81	0,080
1,25	—	—	—	—	5,40	0,075

### Библиографические ссылки

1. Глазовская М.А. О геохимических принципах классификации природных ландшафтов / М.А.Глазовская. – М., 1962. – 263 с.
2. Зубова Л.Г. Воздействие горнодобывающей промышленности на естественные ландшафты Донбасса / Л. Г. Зубова, В. А. Гречко, Ю. В. Матюшенко // Экотехнологии и ресурсосбережение, 1999. – №4. – С. 63 – 66.
3. Зубова Л.Г. Воздействие горнодобывающей промышленности на подземные и поверхностные воды Донбасса / Л. Г. Зубова, И. В. Бабич // зб. наук. праць Луганського сільськогосподарського інституту, 1999. – №4 (11).— С. 47 – 50.
4. Горев Л.Н. Мелиоративная гидрохимия / Л. Н. Горев, В. И. Пелешенко. – К., 1984. – 256 с.
5. Евграшкина Г.П. Влияние горнодобывающей промышленности на гидрогеологические и почвенно-мелиоративные условия территорий / Г. П. Евграшкина. – Д., 2003. – 200 с.
6. Полюнов Б.Б. Избранные труды / Б. Б. Полюнов. АН СССР, 1956. – 549 с.
7. Brenner H. The diffusion model of longitudinal mixing in beds of finite length. Numerical values – Chemical engineering Science, 1962. – Vol.17, №1. – P. 229 – 243.
8. Аверьянов С.Ф. Борьба с засолением орошаемых земель / С.Ф.Аверьянов. – М., 1978. – 243 с.
9. Кац Д.М. Контроль режима грунтовых вод на орошаемых землях / Д.М.Кац. – М., 1978. – 240 с.
10. Гидродинамические и физико-химические свойства горных пород / С.В. Васильев, Н. Н. Веригин, С. В. Саркисян, Б. С. Шержуков / под ред. Н. Н. Веригина. – М., 1977. – 271 с.
11. Пасконов В.М. Численное моделирование процессов тепло- и массообмена / В.М.Пасконов. – М., 1984. – 228 с.
12. Владимиров А.Г. Мелиоративная гидрогеология / А. Г. Владимиров. – М., 1960. – 175 с.
13. Лущик А.В. Регіональний моніторинг стану геологічного середовища в гірничопромислових районах України / А. В. Лущик, Е. П. Тіхоненко, Є. О. Яковлев // Матеріали науково-практичної конференції «Екологічна безпека перевантажених регіонів. Оцінка і

Надійшла до редколегії 28.11.08

УДК 624.131

Т.П. Мокрицкая, О. Потапенко

Днепропетровский национальный университет им. Олеся Гончара

## О КОСВЕННЫХ МЕХАНИЧЕСКИХ ВОЗДЕЙСТВИЯХ НА ГЕОЛОГИЧЕСКУЮ СРЕДУ ПРОМЫШЛЕННО-ГОРОДСКИХ АГЛОМЕРАЦИЙ

Наведені результати оцінки геометричних параметрів зони техногенних впливів на геологічне середовище на прикладі запроєктованого відвалу (Донецька промислово-міська агломерація). Доведена необхідність визначення геометричних параметрів зони механічного впливу на навколишнє (геологічне) середовище на стадії розробки проекту подібних споруд.

**Постановка проблеми.** Анализ эколого-геологических функций геологической среды составляет одну из задач эколого-геологических исследований в ходе мониторинга. К эколого-геологическим функциям [1] относят: геохимическую, геофизическую, геодинамическую и ресурсную. Геодинамическая функция геологической среды состоит в образовании закономерных связей между природными геологическими и инженерно-геологическими процессами.

Анализ и прогноз изменений геодинамической функции как изменение соотношений между прямыми и обратными взаимодействиями подсистем разного уровня организации (зоны косвенных техногенно-природных воздействий) необходимы для оптимизации состояния геологической среды.

**Изложение основного материала.** Современные промышленно-городские агломерации являются многоуровневыми природно-техническими системами (ПТС). Описание структуры ПТС представляет самостоятельное исследование. Фундаментальные свойства геологической среды [2] проявляются на разных уровнях организации. Невозможно получить полную информацию о реальных техногенных воздействиях разных классов, о режиме функционирования за длительный период эксплуатации. Эти обстоятельства приводят к неопределенности пространственно-временных границ ПТС. Структура элементарных природно-технических систем охарактеризована в работе [3]. Подсистема многоуровневой ПТС (промышленно-городской агломерации) должна включать некоторый элемент, отражающий комплексное воздействие на геологическую среду от других источников на всех уровнях организации.

Охарактеризовать техногенные воздействия на геологическую среду от одиночного источника не представляет сложности, в том числе, при анализе воздействий механического подкласса. Основное внимание при выполнении оценок уделяется вопросам устойчивости и деформируемости оснований проектируемых сооружений [3] в результате воздействий от данного источника. Расчет зоны механического влияния как зоны косвенных техногенных воздействий для вновь проектируемых сооружений необходим для определения уровня ПТС (элементарный, деталь-