

# Geology • Geography Dnipro university bulletin

Journal home page: [geology-dnu-dp.ua](http://geology-dnu-dp.ua)

ISSN 2313-2159 (print)  
ISSN 2409-9864(online)

Dniprop. Univer. bulletin.  
Geology, geography.,  
26(1), 227-234.

doi: 10.15421/111823

G. P. Yevgrashkina, T. P. Mokrickaja,  
V. K. Marchenko, K.S. Lomova

Dniprop. Univer. bulletin, Geology, geography., 26(1), 227-234.

## Прогноз уровня режима подземных вод оползнеопасных участков (на примере г. Днепро)

Г. П. Евграшкина, Т. П. Мокрицкая, В. К. Марченко, К.С. Ломова

*Днепропетровский национальный университет имени Олеся Гончара, Днепр, Украина, e-mail: marchenlo\_lera@icloud.com*

*Received 30.01.2018*

*Received in revised form 04.02.2018*

*Accepted 15.02.2018*

**Анотація.** Прогноз уровня режима подземных вод – важная и обязательная составляющая комплекса полевых, лабораторных и научных исследований для обоснования оптимальных природоохранных мероприятий гидрогеологической направленности. Классический гидрогеологический прогноз включает решение всех видов фильтрационных задач в соответствии с их

классификацией: прямые, инверсные, обратные, индуктивные и обобщенные. Вначале решаются обратная и инверсная задачи. Их результат – обоснование расчетной схемы, определение граничных условий и фильтрационных параметров. На втором этапе рассматриваются варианты индуктивных задач для выбора уравнений, описывающих исследуемые процессы, и соответствующих им аналитических и численных решений, наиболее достоверных в исследуемых условиях. Адекватность выбранного решения реальным условиям подтверждается результатами эпигнозного расчёта путем сопоставления его с режимными наблюдениями. На основе выполнения всех названных действий обоснованно доказано, что для прогноза уровня режима оползнеопасных территорий, примыкающих к балкам, оптимальными в методическом и научном аспектах признаны две схемы – предельного или максимального подъема и полуплоскость в полуограниченном пласте. Здесь рассматриваются участки, схематизированные по первой схеме. Исследования завершаются решением прямой задачи – определения величины подъема уровня с учетом испарения с их поверхности. Рассмотрены также аварийные ситуации с образованием и растеканием техногенных бугров.

*Ключевые слова:* гидрогеологический прогноз, граничные условия, достоверность, адекватность, эпигноз, прямая задача, режимные наблюдения

## Forecast of the level regime of groundwater in landslide areas (on the example the city of the Dnipro)

G. P. Yevgrashkina, T. P. Mokrickaja, V. K. Marchenko, K.S.Lomova

*Oles Honchar Dnipro National University, Dnipro, Ukraine, e-mail: marchenlo\_lera@icloud.com*

**Abstract.** The forecast of the groundwater regime is an important and compulsory component of a complex of field, laboratory and scientific studies to justify the optimal nature protection measures of hydrogeological orientation. The classical hydrogeological forecast includes the solution of all types of filtration problems in accordance with their classification: direct, inverse, inverse, inductive and generalized. First, the inverse and direct problems are solved. Their result is the justification of the design scheme, the definition of boundary conditions and filtration parameters. In the second stage, we consider variants of inductive problems for the choice of equations describing the processes under study and the corresponding analytical and numerical solutions that are most reliable under the conditions under study. The adequacy of the chosen solution to the real conditions is confirmed by the results of the epicopic calculation by comparing it with the observational observations. On the basis of the implementation of all the above-mentioned actions, it was reasonably proved that for the forecast of the level regime of landslide-dangerous territories adjacent to the beams, the optimal in the methodical and scientific aspects was recognized as two schemes - limit or maximum lift and a half-plane in a semi-bounded bed. Here we consider the sections schematized according to the first scheme. The investigations are completed by solving the direct problem of determining the amount of rise in the level with allowance for evaporation from their surface. Also considered are emergency situations with the formation and spreading of man-made hillocks. The methods of determining the value of infiltration supply are described in the present paper for solving the problems without limitations in the presence of regime-based observations. These methods are well-coordinated with each other, confirming their high reliability. The amount of infiltration feed in all areas adjacent to the territories of the Yevpatoriskaya, Tunelnaya, Krasnopolyanskaya and Krasnopovstancheskaya alleys indicates a steady but very slow rise in the level of groundwater. For the first time, two-dimensional nonlinear equations that take into account the filtration

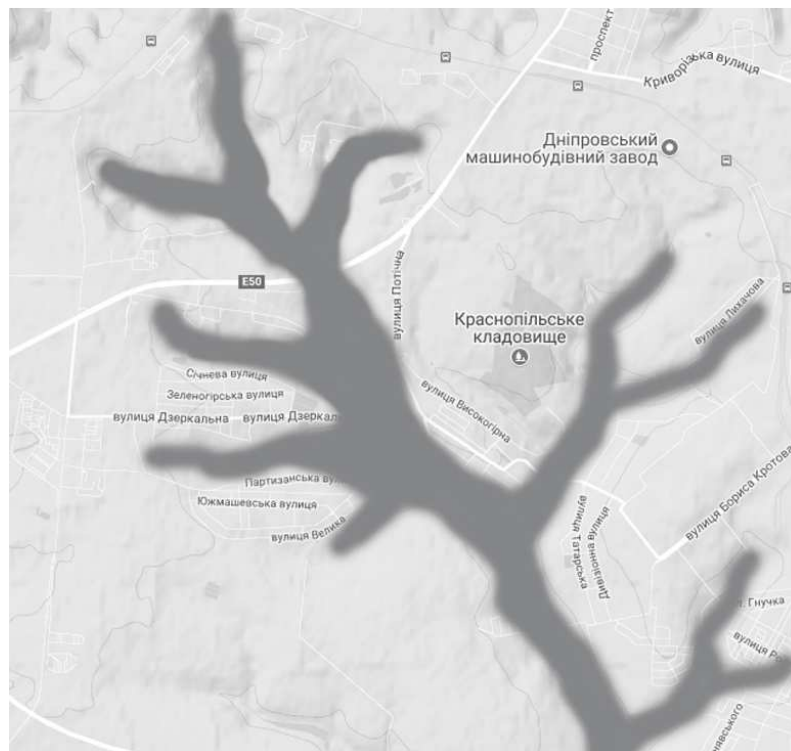
anisotropy in finite-difference form are used to determine the value of infiltration nutrition. There are no similar publications in the modern scientific physiotherapist, and previous authors use more simple methods. In determining the magnitude of evaporation for the city of Dnipro, a plot of the dependence of evaporation from the depth of the occurrence of groundwater level was constructed.

*Keywords: hydrogeological forecast, boundary conditions, reliability, adequacy, epignosis, direct problem, regime observations*

**Введение.** Известно, что в последние годы город Днепро несет значительные убытки в связи с активизацией оползневых процессов (National report on the state of technogenic and natural safety in Ukraine in 2014, 2014). Природные факторы активизации связаны с обильным выпадением осадков в условиях повышенной эрозионной опасности территорий (Carrarelli & Versace, 2014). Антропогенные причины развития оползневых процессов связаны с нерациональной застройкой, частичным или полным засорением балок и строительством в них различных объектов, нарушением работы систем водопровода и канализации, а также неконтролируемым размещением промышленных и бытовых отходов (Ковтов, 2015). Наиболее оползнеопасной является территория правобережья р. Днепр, где сосредоточены 15 крупных балок и более 20 оврагов (Zuska, 2006). Собственно, это и выбрано основной проблемой представленного исследования, что определяет его актуальность как в чисто гидрогеологическом, инженерно-геологическом, так и в прикладном аспекте.

Цель исследований – создание современной методики прогноза уровня режима на оползнеопасных участках городских территорий с овраго-балочными формами рельефа. Гидрогеологический прогноз – это всегда многовариантные комплексные исследования изменения режима подземных вод во времени и пространстве под влиянием естественных и техногенных факторов. Настоящее исследование является продолжением ранее выполненных определений инфильтрационного питания (инверсная задача) (Evgrashkina, Mokritskaja, & Marchenko, 2017). Здесь основное внимание уделено решению прямых задач – определению подъема уровня грунтовых вод для четырех оползнеопасных участков, которые названы по граничным условиям – балкам Краснополянская, Евпаторийская, Туннельная и Красноповстанческая. Для этих объектов рассмотрены также аварийные ситуации прорыва сетей водоснабжения или сброса с образованием техногенных бугров и их растеканием.

**Методы, объекты, результаты.** Первый объект исследований – балка Краснополянская (рис. 1)



**Рис. 1.** Балка Краснополянская (г. Днепро)

Верхняя часть разреза, которая содержит грунтовые воды, сложена суглинками с коэффициентами фильтрации 0,057 – 0,19 м/сут. В таких породах, согласно предпосылке Мятиева – Гиринского, движение подземных вод происходит преимущественно по вертикали. Горизонтальная составляющая настолько мала, что ею можно пренебречь. Здесь правомерным для определения величины подъема уровня грунтовых вод будет использование аналитической формулы предельного подъема (Zhernov, Soldak, Kushh, & Gryza, 1972):

$$\Delta h = \frac{\varepsilon t}{\mu}, \quad (1)$$

где  $\Delta h$  – величина подъема уровня грунтовых вод, м;

$t$  – срок прогнозного расчета, сут.;

$\mu$  – коэффициент недостатка насыщения, д.ед.

Для однозначного выбора расчетной зависимости решаем индуктивную задачу, выполняя расчет по более сложной формуле:

$$\varepsilon = \frac{z\mu}{t(1-2i^2\operatorname{erfc}z)}. \quad (2)$$

Она представляет собой конечно – разностную аппроксимацию уравнения:

$$\frac{\partial}{\partial x} \left( T \frac{\partial^2 H}{\partial x^2} \right) + \varepsilon = \mu \frac{\partial H}{\partial x}. \quad (3)$$

и учитывает фильтрационную анизотропию и боковое растекание. Результаты расчета по формулам (1) и (2) оказались одинаковыми, поэтому в дальнейших исследованиях отдаётся предпочтение формуле (1) как более простой и менее трудоёмкой. Для склоновой части балки при наличии водного потока математически корректно подходит схема «полуплоскость в полуограниченном пласте» (Rudakov, 1970).

Второй объект исследований – балка Евпаторийская (рис. 2).



Рис. 2. Балка Евпаторийская (г. Днипро)

Объект расположен в южной части города на склоне правого берега реки Днепр. Многолетние режимные наблюдения по трем скважинам использованы для определения величины инфильтрационного питания (статья), которые изменяются в пределах  $(1 - 27,7) \cdot 10^{-5}$  м/сут. для положительных значений и  $(0,3 - 23,7) \cdot 10^{-5}$  м/сут. для отрицательных. Среднемноголетнее значение величины  $\varepsilon$  – положительное и равно  $1,7 \cdot 10^{-5}$  м/сут., что обеспечивает очень медленный подъем уровня грунтовых вод до глубины, при которой  $\varepsilon$  равно  $U$ , испарению с поверхности грунтовых вод. Формула подъема уровня с учетом расхода на их испарение имеет вид:

$$z = \frac{(\varepsilon - U) \cdot t}{\mu}, \quad (4)$$

где  $U$  – испарение с уровня грунтовых вод, м/сут. Остальные обозначения приведены выше.

Для определения величины  $U$  выполнен расчет и построен график  $U = f(z)$  (рис. 3).

Третий объект исследований балка Красноповстанческая, расположен между балками Туннельная и Запорожская (рис. 4).

Четвертый объект исследований, балка Туннельная, расположен между двумя предыдущими (рис. 5).

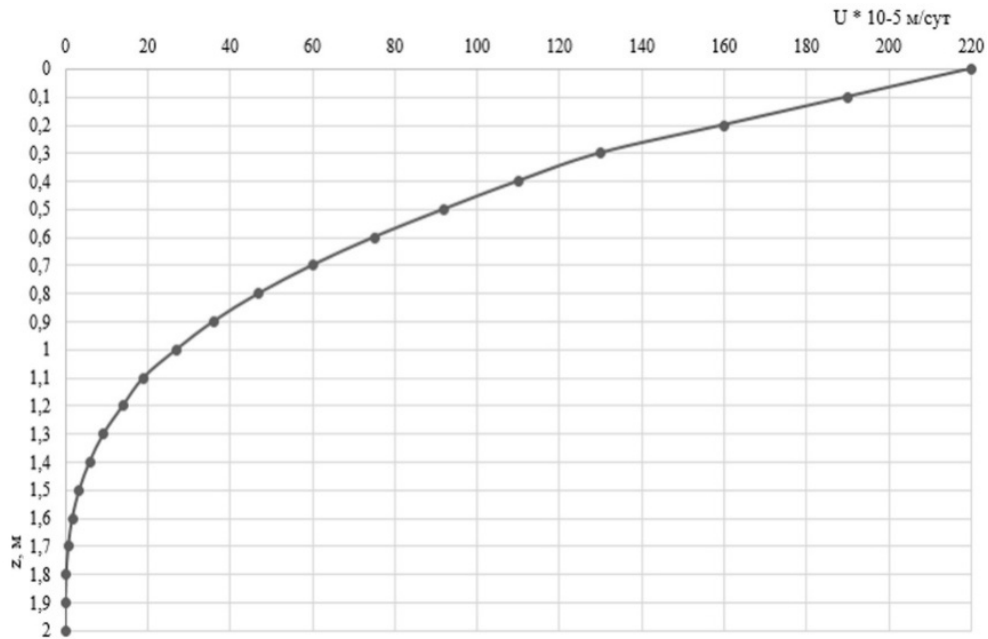


Рис. 3. График зависимости испарения от глубины залегания уровня грунтовых вод

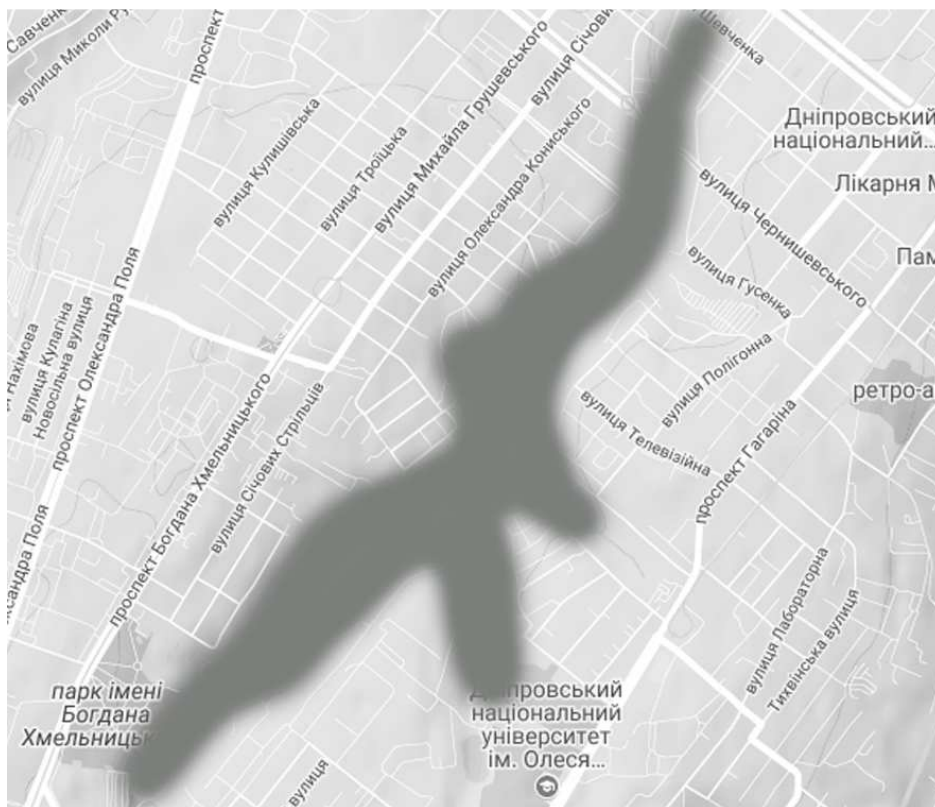


Рис. 4. Балка Красноповстанческая (г. Днипро)



Рис. 5. Балка Туннельная (г. Днипро)

Для балок Туннельная и Красноповстанческая, как и для территории балки Краснополянская выполнены аналогичные исследования для определения величины подъема уровня грунтовых вод с учетом испарения с их поверхности. Результаты представлены в таблице 1.

Прогноз изменения уровня грунтовых вод при аварийной ситуации. Постановка задачи такая: случился прорыв системы водоснабжения или сброса – бытового или промышлен-

ного. Зона аэрации заполняется водой до поверхности земли и образуется бугор. В это же время происходит растекание бугра на прилегающую территорию, но значительно медленнее, чем его образование, поэтому на стадии возникновения одновременным растеканием можно пренебречь. Во всех расчетах растекания бугра выходят из предпосылки, что он «образовался мгновенно». Задаче в такой постановке отвечает схема бугор – полоса (рис. 6):

Таблица 1. Исходные данные и результаты расчета

| № п/п | Название объекта исследований | Среднеголетняя величина инфильтрационного питания $\epsilon$ , м/сут. | Скорость подъема уровня грунтовых вод, м/год | Глубина УГВ от поверхности земли, м | Глубина, при которой $\epsilon = U$ |
|-------|-------------------------------|---|--|-------------------------------------|-------------------------------------|
| 1     | Балка Краснополянская         | $2,3 \cdot 10^{-5}$   | 0,57   | 3,0                                 | 1,45                                |
| 2     | Балка Евпаторийская           | $1,7 \cdot 10^{-5}$   | 0,57   | 6,5                                 | 1,51                                |
| 3     | Балка Красноповстанческая     | $1,2 \cdot 10^{-5}$   | 0,54   | 2,49                                | 1,5                                 |
| 4     | Балка Туннельная              | $0,4 \cdot 10^{-5}$   | 0,36   | 12,4                                | 1,65                                |

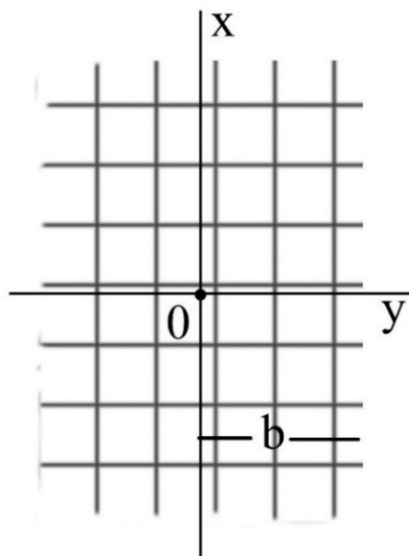


Рис. 6. Расчетная схема бугор – полоса

$$\Delta h = 0,5 \cdot \Delta h_0 \cdot (erf\eta - erf\xi_x), \quad (5)$$

$$\eta = \frac{x+b}{2\sqrt{at}}, \quad (6)$$

$$\xi_x = \frac{x-b}{2\sqrt{at}}, \quad (7)$$

$$t = 5 \text{ сут.};$$

$$k = 0,012 \text{ м/сут.};$$

$$m = 18,5 \text{ м};$$

$$\mu = 0,008.$$

$$a = \frac{T}{\mu}, \quad (8)$$

$$T = k \cdot m. \quad (9)$$

В уравнениях (5) – (7) приняты такие обозначения:

$\Delta h$  – высота остаточного бугра через промежуток времени  $t$ , сут.;

$\Delta h_0$  – высота бугра, который образовался, м;

$a$  – величина уровнепроводимости, м<sup>2</sup>/сут.;

$x$  – расстояние расчетной точки от начала координат, м;

$b$  – половина ширины полосы инфильтрации 20 м.

По условию на четырех участках, которые прилегают к территориям балок Евпаторийская, Туннельная, Красноповстанческая и Краснополянская, произошла аварийная ситуация – повреждена труба. Из-за повреждения образовался бугор и необходимо рассчитать, за какое время он полностью исчезнет, а глубина снова дойдет до исходной отметки.

Пример расчетов приведен для территории, прилегающей к балке Евпаторийская. Исходные данные

$$\Delta h_0 = 6 \text{ м};$$

$$b = 20 \text{ м};$$

В формулах (8) – (9) приведены такие обозначения:

$T$  – водопроницаемость, м<sup>2</sup>/сут.;

$\mu$  – коэффициент водоотдачи, д. ед.;

$k$  – коэффициент фильтрации, м/сут.;

$m$  – мощность водоносного горизонта, м.

По формуле (9) рассчитано:

Через 5 сут. высота остаточного бугра в центре, где  $x = 0$  м, будет равна по формулам (5 – 9):

$$\eta = \frac{0+20}{2\sqrt{27,7 \cdot 5}} = 0,85,$$

$$\xi_x = \frac{0-20}{2\sqrt{27,7 \cdot 5}} = -0,85,$$

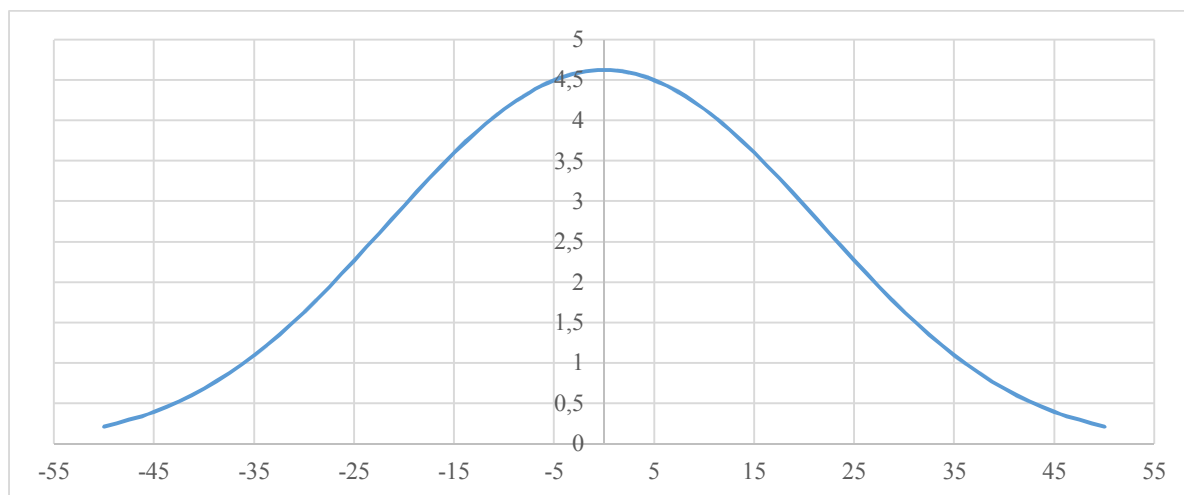
$$\Delta h = 0,5 \cdot 6 \cdot (0,7706 - (-0,7706)) = 4,62 \text{ м}.$$

Аналогично рассчитываем высоту остаточного бугра через каждые 5 м, результаты расчетов приведены в таблице 2

**Таблица 2.** Последовательность расчета растекания бугра

| $x$ , м | $\Delta h$ , м | $\xi_x$   | $erf\xi_x$ | $\eta$    | $erf\eta$ |
|---------|----------------|-----------|------------|-----------|-----------|
| 0       | 4,627 502      | -0,85 106 | -0,77 125  | 0,851 064 | 0,77 125  |
| 5       | 4,502 556      | -0,6 383  | -0,63 331  | 1,06 383  | 0,867 543 |
| 10      | 4,145 018      | -0,42 553 | -0,45 269  | 1,276 596 | 0,928 985 |
| 15      | 3,603 978      | -0,21 277 | -0,23 651  | 1,489 362 | 0,96 482  |
| 20      | 2,95 177       | 0         | 0          | 1,702 128 | 0,983 923 |
| 25      | 2,270 177      | 0,212 766 | 0,236 507  | 1,914 894 | 0,993 232 |
| 30      | 1,634 072      | 0,425 532 | 0,452 688  | 2,12 766  | 0,997 379 |
| 35      | 1,097 272      | 0,638 298 | 0,633 309  | 2,340 426 | 0,999 067 |
| 40      | 0,685 333      | 0,851 064 | 0,77 125   | 2,553 191 | 0,999 695 |
| 45      | 0,397 097      | 1,06 383  | 0,867 543  | 2,765 957 | 0,999 908 |
| 50      | 0,21 297       | 1,276 596 | 0,928 985  | 2,978 723 | 0,999 975 |

При помощи полученных результатов можно сделать вывод, что высота бугра на расстоянии 50 м от центра будет равна 0,2 м (рис. 7).



**Рис. 7.** Бугор на территории балки Евпаторийская

Для расчета промежутка времени, через которое бугор полностью исчезнет используем формулы (5 – 9), при этом считаем, что  $t = 3\ 650$  сут:

$$\eta = \frac{0+20}{2\sqrt{27,7 \cdot 3650}} = 0,035,$$

$$\xi_x = \frac{0-20}{2\sqrt{27,7 \cdot 3650}} = -0,035,$$

$$\Delta h = 0,5 \cdot 6 \cdot (0,0314 - (-0,0314)) = 0,2 \text{ м.}$$

Исходя из расчетов, приведенных выше, можно сделать вывод, что на территории балки Евпаторийская бугор высотой 6 м полностью исчезнет более чем через 10 лет. На рисунке 8 можно увидеть тенденцию растекания бугра через 5 сут., 1, 5 и 10 лет.

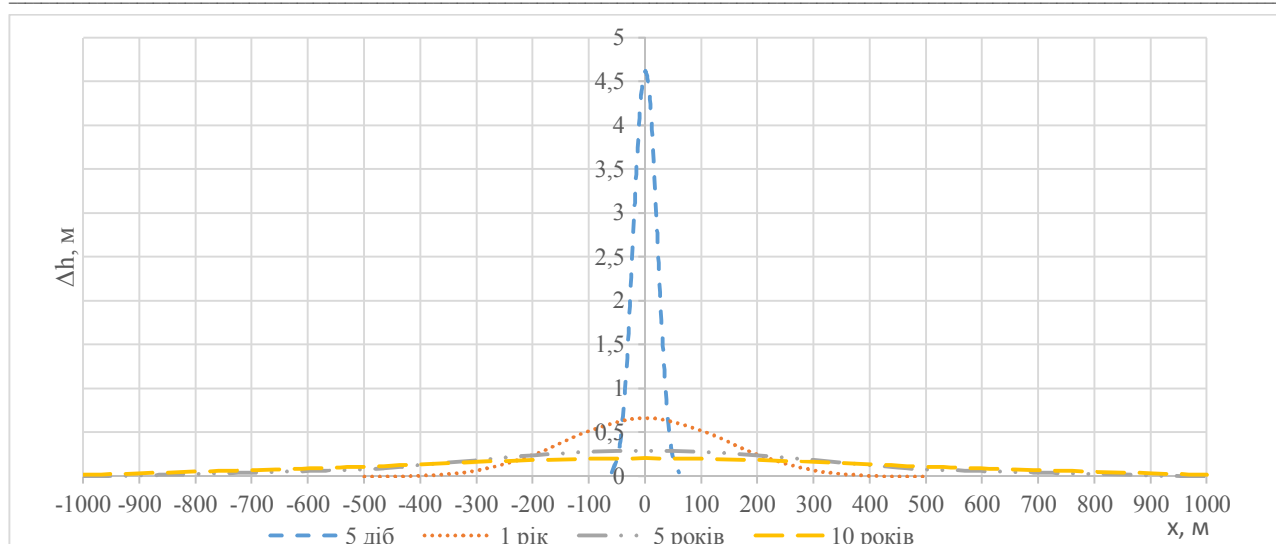


Рис. 8. Прогноз растекания бугра на территории балки Евпаторийская

Аналогичные расчеты проведены для территорий, прилегающих к балкам Туннельная, Красноповстанческая и Краснополянская. Полученные результаты позволяют сделать вывод о том, что бугор на территориях балок Туннельная и Красноповстанческая полностью исчезнет через 10 лет, а на территории балки Краснополянская – уже через 5 лет.

**Выводы:** 1. Для прогноза уровня режима на исследуемых территориях целесообразно использовать формулу предельного подъема, модернизированную с учетом поправки на испарение с уровня для различных глубин залегания.  
2. Последствия аварийных ситуаций самоустраниются в течение 5 – 10 лет.

### Библиографические ссылки

Capparelli G., 2014. Versace P. Analysis of landslide triggering conditions in the Sarno area using a physically based model. *Hydrol. Earth Syst. Sci.*, 18, 3225–3237, 2014 [www.hydrol-earth-syst-sci.net/18/3225/2014/](http://www.hydrol-earth-syst-sci.net/18/3225/2014/) doi:10.5194/hess-18-3225-2014

Evgrashkina G. P., Mokrickaja T. P., Marchenko V. K. 2017. *Opređenje infiltratsionnogo pitaniya pod-zemnyih vod analiticheskimi i chislennymi metodami* [Determination of infiltration nutrition of groundwater by analytical and numerical methods]. *Visn. Dnipropetr. Univ. Ser. Geol. Geogr.*, Vol. 25, № 2. 146 – 150 (in Russian).

Kovrov O.S., 2013. *Otsinka vplyvu hydrogeologichnykh harakterystyk gruntuv na stykist prirodnyh*

*shlyiv dlya prognozu zsuviv. Ekologichna bezpeka.* № 1/2013(15)/ S.72-76 [Evaluation of the influence of soil hydrogeological properties on stability natural slopes for the forecasting landslides. *Environment safety.* № 1/2013(15)/ P.72-76] (in Ukrainian).

Natsionalna dopovid pro stan tehnogennoi ta prirodnoi bezpeki v Ukraini u 2014 rotsi [Elektronniy resurs]. Rezim dostupu: [http://www.dsns.gov.ua/files/prognoz/report/2014/ND\\_2014.pdf](http://www.dsns.gov.ua/files/prognoz/report/2014/ND_2014.pdf) - K.: Ministerstvo ndzvichaynih situatsiy Ukrainy, K., 2014. – 365 s.). National report about technogen and environment safety in Ukraine [internetresource] Made of access [http://www.dsns.gov.ua/files/prognoz/report/2014/ND\\_2014.pdf](http://www.dsns.gov.ua/files/prognoz/report/2014/ND_2014.pdf) - K., 2014. – 365 p. (in Ukrainian).

Rudakov V. K. 1970. *Metody prognoznyh raschetov vliyanija orosheniya na rezhim gruntovyh vod* [Methods for predicting the effect of irrigation on the groundwater regime]. Hydrogeological forecasts in connection with land irrigation and wather supply. Dnipro. (in Russian).

Zhernov I. Je., Soldak A. G., Kushh P. Ju., Gryza O. O. 1972. *Melioratyvna gidrogeologija* [Meliorative gidrogeologiya]. Vyshha shkola, Kyiv (in Ukrainian).

Zuska A.V., 2006. *Vplyv geometrii parametriv masivu na zsuivni procesi v misti Dnipropetrovsku.* *Visnyk ZhDTU.* 2006. № 1 (36). S137-146 [The influence of the geometry of the array parameters on landslides in the city of Dnepropetrovsk. *News of ZSTU.* 2006. № 1 (36). P.137-146] (in Ukrainian).