

УДК 622.271.4:504.062:631.445.52

Н.Н. ХАРИТОНОВ
Днепровский государственный аграрно – экономический университет
И.И. КЛИМКИНА
Национальный технический университет «Днепровская политехника»
О.В. ТИТАРЕНКО
Научный центр аэрокосмических исследований Земли ИГН НАНУ
Л.Б. АНИСИМОВА
Институт проблем природопользования и экологии НАНУ

ГЕОПРОСТРАНСТВЕННАЯ ОЦЕНКА ВОЗДЕЙСТВИЯ ДОБЫЧИ УГЛЯ НА ФОРМИРОВАНИЕ ЛАНДШАФТОВ В ПОЙМЕ РЕКИ САМАРА

Разработка шахтами каменного угля в Западном Донбассе приводит к образованию на поверхности поймы реки Самара просадок (до 3-7 м). Просевшая территория заполняется грунтовыми и поверхностными водами и превращается в заболоченный водоем. При этом ухудшается плодородие почвы, состояние пойменных лугов и лесов. Полевые опыты, заложенные на землях, нарушенных горными разработками земель, связаны с обоснованием выбора смягчающей технологии с последующим моделированием и прогнозом ее воздействия на окружающую среду. Применение методов математического моделирования для оценки процессов техногенного воздействия на окружающую среду должно базироваться на использовании данных долгосрочного мониторинга. Основной целью нашего исследования была геопространственная оценка антропогенного воздействия на формирование ландшафтов в пойме реки Самара с последующим моделированием и прогнозом вертикального засоления насыпного слоя почвы. Оценка проективного покрытия земной поверхности возможна благодаря изучению спектральных отражающих особенностей растительного покрова. Мультиспектральные снимки спутниковой системы Landsat были использованы для дистанционного зондирования поймы реки Самара в 2004-м и 2020-м годах. Сравнение уровней проективного покрытия растительностью пойменной части реки Самара свидетельствует о деградации почвенного покрова за последние 17 лет.

Исследования эффективности технологии рекультивации шахтных отвалов были проведены в условиях Павлоградского стационара рекультивации нарушенных земель. Исходными данными были результаты определения реакции водной вытяжки (рН) и засоления рекультивированного трехслойного профиля, которые были получены в 2003-м, 2008-м, 2016-м и 2020-м годах. Данные ГИС картирования экспериментальных участков позволили определиться с местом отбора проб почвы для оценки вертикальной миграции солей вдоль рекультивированного профиля. Согласно полученным данным прогноза засоления слоев искусственного профиля, процесс засоления рекультивированных земель без орошения будет постепенно развиваться. Вместе с тем, необходимо признать, что интенсивность транспирации луговой растительности значительно ниже, чем у сельскохозяйственных культур. Последний тип природопользования в Западном Донбассе связан с меньшим риском развития процессов вертикального засоления почв, учитывая тенденцию перехода к стратегии природного луговодства.

Ключевые слова: дистанционное зондирование, ГИС картирование, математическое моделирование, рекультивированные земли, природопользование.

М.М. ХАРИТОНОВ
Дніпровський державний аграрно – економічний університет
І.І. КЛІМКІНА
Національний Технічний Університет «Дніпровська політехніка»
О.В. ТИТАРЕНКО
Науковий центр аерокосмічних досліджень Землі ИГН НАНУ
Л.Б. АНИСИМОВА
Інститут проблем природокористування та екології НАНУ

ГЕОПРОСТОРОВА ОЦІНКА ВПЛИВУ ВИДОБУТКУ ВУГІЛЛЯ НА ФОРМУВАННЯ ЛАНДШАФТІВ В ЗАПЛАВІ РІЧКИ САМАРА

Розробка шахтами кам'яного вугілля у Західному Донбасі призводить до утворення на поверхні заплави річки Самара просядок (до 3-7 м). Територія, що просідає, заповнюється ґрунтовими і поверхневими водами і перетворюється в заболочену водойму. При цьому погіршується родючість ґрунтів, стан заплавної луки і лісів. Польові дослідження, закладені на землях, порушених гірничими розробками земель, пов'язані з обґрунтуванням вибору пом'якшувальної технології з подальшим моделюванням і прогнозом її впливу на довкілля. Застосування методів математичного моделювання для оцінки процесів техногенного впливу на навколишнє середовище повинно базуватися на використанні даних довгострокового моніторингу. Головною метою нашого дослідження була просторова оцінка антропогенного впливу на формування ландшафтів в заплаві річки Самара з подальшим моделюванням і прогнозом вертикального засолення насипного шару ґрунту. Оцінка проективного покриття земної поверхні можлива завдяки вивченню спектральних відображаючих особливостей рослинного покриву. Мультиспектральні знімки супутникової системи Landsat були використані для дистанційного зондування заплави річки Самара в 2004-му і 2020-му роках. Порівняння рівнів проективного покриття рослинністю у заплавної частині річки Самара свідчить про деградацію ґрунтового покриву за останні 17 років. Дослідження ефективності технології рекультивувати шахтних відвалів були проведені в умовах Павлоградського стаціонару рекультивувати порушених земель. Вихідними даними були результати визначення реакції водної витяжки (рН) і засолення рекультивованого тришарового профілю, які були отримані в 2003-му, 2008-му, 2016-му та 2020-му роках. Дані ГІС картування експериментальних ділянок дозволили визначитися з місцем відбору проб ґрунту для оцінки вертикальної міграції солей уздовж рекультивованого профілю. Згідно з отриманими даними прогнозу засолення, процес засолення рекультивованих земель без зрощення буде поступово розвиватися. Разом з тим, необхідно визнати, що інтенсивність транспірації лучної рослинності значно нижче, ніж у сільськогосподарських культур. Останній тип природокористування в Західному Донбасі пов'язаний з меншим ризиком розвитку процесів вертикального засолення ґрунтів з огляду на тенденцію переходу до стратегії природного луківництва.

Ключові слова: дистанційне зондування, ГІС картування, математичне моделювання, рекультивовані землі, природокористування.

M.M. KHARYTONOV

Dnipro State Agrarian – Economic University

I.I. KLIMKINA

Dnipro University of Technology

O.V. TITARENKO

Scientific Centre for Aerospace Research of the Earth of IGS NASU

L.B. ANISIMOVA

Institute of Nature Management and Ecology of NASU

GEOSPATIAL ASSESSMENT OF THE OF COAL MINING IMPACT ON THE LANDSCAPES FORMATION IN THE FLOOD - PLAIN OF THE SAMARA RIVER

Coal mining in Western Donbass leads to the formation of subsidence on the surface of the floodplain of the Samara River (up to 3-7 m). The sagging area is filled with ground and surface water and turns into a swampy body of water. As a result, soil fertility, floodplain meadows and forests are deteriorating. Field experiments carried out on lands disturbed by mining are associated with the justification of the choice of mitigating technology with subsequent modeling and forecast of its environment impact. The use of mathematical modeling methods to assess the processes of technogenic impact on the environment should be based on the use of long-term monitoring data. The main objective of our study was a geospatial assessment of anthropogenic impact on the formation of landscapes in the Samara River floodplain with subsequent modeling and forecasting of vertical salinization of the bulk soil layer. Assessment of the projective cover of the earth's surface is possible due to the study of the spectral reflective features of the vegetation cover. Multispectral images of the Landsat satellite system for 2004 and 2020 were used for remote sensing of the floodplain part of the Samara River. Comparison of the levels of projective vegetation cover of the Samara River floodplain indicates degradation of the land cover over the past 17 years.

Studies of the effectiveness of mine dumps reclamation technology were carried out in the conditions of the Pavlograd station for reclamation of disturbed lands. The results of determining the reaction of water extract (pH) and salinity of the reclaimed three-layer profile were the initial data obtained in 2003, 2008, 2016 and 2020. The GIS data of the experimental plots mapping made it possible to determine the location of soil sampling for assessing the vertical migration of salts along the reclaimed profile. The process of salinization of reclaimed lands without irrigation will gradually develop according to the obtained forecast data for salinization of artificial profile layers. At the same time, it must be recognized that the intensity of transpiration of meadow vegetation is much lower comparative to crops. The last type of nature management of reclaimed lands in the Western Donbass is associated with a lower risk of the development of processes of vertical soil salinization, given the trend of transition to the strategy of natural meadow culture.

Key words: remote sensing, GIS mapping, mathematical modeling, reclaimed land, nature management.

Постановка проблеми

Разработка шахтами угольных пластов в Западном Донбассе приводит к образованию на поверхности поймы реки Самара глубоких трещин и интенсивных просадок (до 3-7 м). Просевшая территория заполняется грунтовыми и поверхностными водами и превращается в заболоченный водоем. При этом ухудшается плодородие почв, состояние пойменных лугов и лесов. Полевые опыты, заложенные на землях, нарушенных горными разработками земель, связаны с обоснованием выбора той или иной технологии “смягчения” или размещения отложений горных пород таким образом, чтобы малейшие негативные последствия для окружающей среды были сведены к минимуму. Необходимость внедрения процедуры оценки воздействия на окружающую среду (ОВОС) для рекомендованных технологий рекультивации нарушенных земель очевидна. Методология ОВОС предусматривает проведение идентификации воздействий, выбор смягчающей технологии с последующим моделированием и прогнозом ее эффекта [1].

Анализ последних исследований и публикаций

Анализ последних исследований и публикаций по применению методов математического моделирования для оценки процессов антропогенного воздействия показывает, что моделирование является приемлемой альтернативной методикой, которая экономит время и затраты на мониторинг окружающей среды [2, 3]. Применение методов математического моделирования для оценки процессов техногенного воздействия на окружающую среду должно базироваться на использовании данных долгосрочного мониторинга. Судьба химических веществ в почве является сложной и динамичной, и зависит от таких факторов, как текстура, рН, засоление и многие другие. Для описания процессов миграции растворенных веществ в пористых средах разработано несколько числовых и аналитических моделей. К ним относятся как методы конечных разностей, так и числовые модели [4-6]. HYDRUS-1 и SALTMED широко используются как сезонные модели для рассмотрения взаимодействия между почвой, водой и водорастворимыми солями [7]. Основной целью нашего исследования была геопространственная оценка антропогенного воздействия на формирование ландшафтов в пойме реки Самара с последующим моделированием и прогнозом вертикального засоления насыпного слоя почвы.

Изложение основного материала исследований

Изучение влияния горнодобывающей промышленности на гидрогеологические и почвенно-мелиоративные просевшие участки поймы реки Самары в каменноугольном регионе Западного Донбасса проводится последние полвека [8]. Оценка проективного покрытия земной поверхности возможна благодаря изучению спектральных отражающих

особенностей растительного покрова. Мультиспектральные снимки спутниковой системы Landsat были использованы для дистанционного зондирования пойменной части реки Самара в 2004-м и 2020-м годах (рис.1). Сравнение уровней проективного покрытия растительностью пойменной части реки Самара свидетельствует о деградации почвенного покрова за последние 17 лет. Исследования эффективности технологии рекультивации шахтных отвалов были проведены в условиях Павлоградского стационара рекультивации нарушенных земель ДДАЕУ. Они представлены несколькими искусственными профилями (без и с экраняющим слоем лессовидного суглинка): шахтная порода (ШП); шахтная порода (ШП) + 30 см насыпного слоя чернозема (30НСЧ); ШП + 50 НСЧ; ШП + 50 см лессовидного суглинка (50ЛС) + 30 НСЧ; ШП + 50ЛС + 50 НСЧ; ШП + 50ЛС + 70 НСЧ. Расчетными данными были результаты определения реакции водной вытяжки (рН) и засоления рекультивированного трехслойного профиля, которые были получены в условиях Павлоградской экспериментальной станции рекультивации земель ДДАЕУ в 2003-м, 2008-м, 2016-м и 2020-м годах.

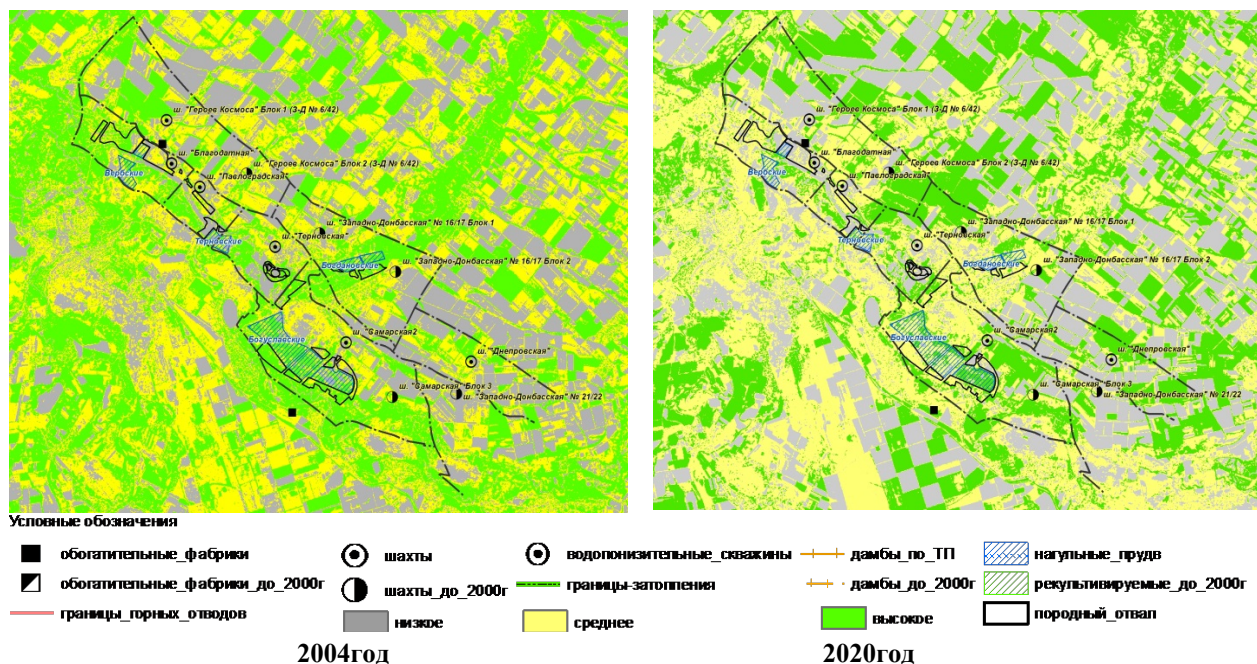


Рис.1. Проективные покрытия поймы реки Самара за 2004 и 2020 гг.

Показатель рН определяли с использованием иономера, степень минерализации водной вытяжки почвы оценивали с использованием кондуктометра. ГИС - картосхемы были созданы в приложении ArcMap 9.3.1 настольной версии программного обеспечения ГИС ArcGIS Desktop от ESRI, при использовании SAS.Planet версии 141212.8406. Для построения ГИС-карт в программном компоненте ArcMap использовались методы интерполяции, которые позволяют предположить промежуточные значения точек растра, основываясь на имеющемся дискретном наборе известных значений. В данной работе применили инструмент Сплайн, который для оценки значения использует метод интерполяций и находит математические функции. Этим достигается минимизация кривизны поверхности. В итоге мы получаем сглаженную поверхность, которая проходит точно через входные точки. ГИС карты послойной оценки распределения рН по площади

шести экспериментальных делянок в 2016-м году приведены на рисунке 2. Передвижение водорастворимых солей из отсыпанных шахтных пород в верхние горизонты искусственного профиля рекультивации обусловлено их подтягиванием с капиллярной каймой грунтовых вод, находящихся в контакте с отвалом.

Полученные данные позволили определиться с местом отбора проб почвы для оценки вертикальной миграции солей вдоль рекультивированного профиля. Для существующего на стационаре растительного покрова балансовым методом провели вычисление скорости влагопереноса за пять лет по формуле (1):

$$V = \frac{O - (I + П)}{1000B}, \quad (1)$$

где O – осадки, мм, I – испарение, мм, $П$ – поглощение воды (вынос влаги с биомассой растений), B – время существования растительного покрова, сутки. Вынос влаги с биомассой растений рассчитывали умножением биопродуктивности за год на коэффициент водопотребления.

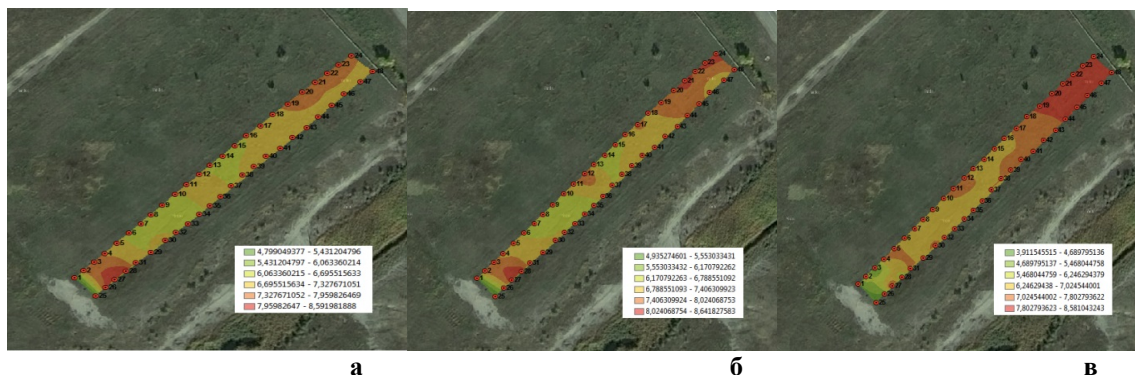


Рис.2. Послойное распределение рН в почве по площади пяти вариантов рекультивации (а - 0-10см; б - 10-20см; в - 20-30см)

В дальнейших вычислениях для расчета коэффициента гидродисперсии применяли формулу (2):

$$D = \frac{V \cdot x}{2 \ln C_2 / C_1}, \quad (2)$$

где V – скорость вертикального влагопереноса, м/сут; C_2 – засоление в точке с координатой шахтного отвала (x , м), C_1 – минерализация на расстоянии 1,2 м от поверхности отвала.

Значение уровня засоления конкретного слоя профиля для прогноза находили по формуле (3):

$$C = C_{nm} (C^{um} - C_0) + C_0, \quad (3)$$

где C^{um} – засоление шахтной породы в контактной с лессовидным суглинком зоне; C_0 – засоление конкретного слоя профиля.

Расчеты приведенной минерализации почвы на расстоянии $x = 0,2; 0,4; 0,6; 0,8; 1,0; 1,2$ м от контактного слоя шахтной породы с лессовидным суглинком провели согласно фундаментальному решению уравнения массопереноса Карслоу - Егер [9]:

$$C_{nm} = 0,5 \left[\operatorname{erfc} \xi + e^{V \cdot x / D} \cdot \operatorname{erfc} \xi^1 \right]. \quad (4)$$

Значения составляющих формулы ξ и ξ^1 находили по формулам (5):

$$\xi = \frac{(x - Vt/n)}{2\sqrt{Dt/n}} \quad \text{и} \quad \xi^1 = \frac{(x + Vt/n)}{2\sqrt{Dt/n}}, \quad (5)$$

где t – расчетное время вертикальной миграции солей (365·5=1825 суток), n – коэффициент объемной влаги – 0,28.

Конечный прогноз распределения солей по сравнению с экспериментальными данными приведен на рисунке 3. В целом, результаты проведенной прогнозной оценки достаточно близки к реальным данным. Несколько более высокую разницу в засолении между прогнозом и реальными данными можно отнести на счет сорбционных свойств глинистых минералов почвы и лессовидного суглинка. Но поскольку эта разница имеет достаточно постоянный уровень вдоль профиля, она может быть взята в расчет для дальнейшей прогнозной оценки степени засоления почвы.

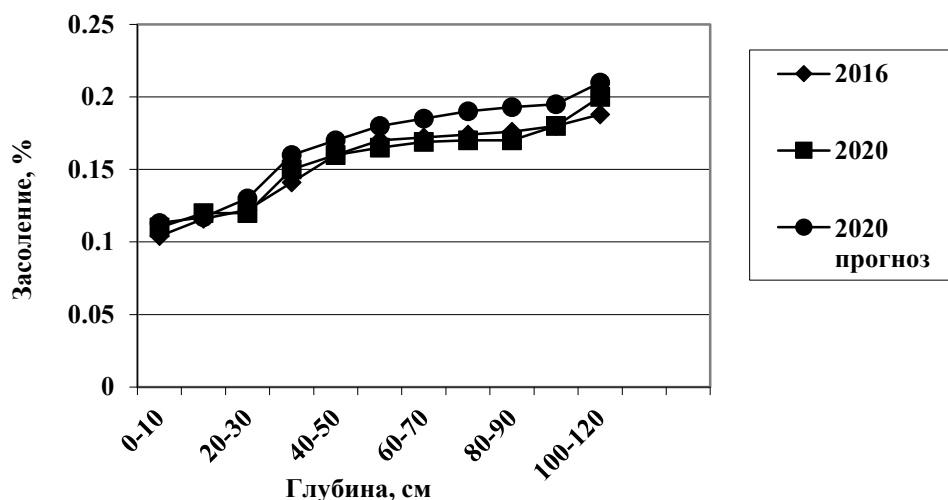


Рис. 3. Профильное засоление почвы в варианте рекультивации 70НСЧ + 50ЛС + ШП

В этом случае насыпной слой чернозема выглядит как объемный фильтр растворимых солей, мигрирующих из нижнего слоя шахтной породы.

Выводы

Согласно полученным данным прогноза, процесс засоления слоев искусственного профиля без орошения будет постепенно развиваться. Вместе с тем, необходимо признать, что интенсивность транспирации луговой растительности значительно ниже, чем у

сельскохозяйственных культур. Учитывая тенденцию перехода от использования земель в качестве сельскохозяйственных угодий к стратегии природного луговодства, последний тип природопользования в Западном Донбассе связан с меньшим риском развития процессов вертикального засоления почв.

Список использованной литературы

1. Glasson J., Therivel R., Chadwick A. Introduction to Environmental Impact Assessment. Principles and procedures, process, practice and prospects. The natural and Built Environment Series 1: UCL Press. 1997. 342 p.
2. Geng X., Boufadel M.C. Numerical modeling of water flow and salt transport in bare saline soil subjected to evaporation. *Journal of Hydrology*, 2015. Vol. 524. p. 427–438, <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2015.02.046>
3. Van Genuchten M.Th. A Numerical Model for Water and Solute Movement in and below the Root Zone. 1987. *Research Report*. 121.
4. 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.
5. Bresler E. Transport of Salts in Soils and Subsoils. *Agricultural Water Management*. 1981. Vol.4. P.35-62..
6. Евграшкина Г.П., Харитонов Н.Н. Математические модели вертикального солепереноса на шахтных отвалах для обоснования варианта их рекультивации. *Вісник Дніпровського державного аграрно-економічного університету*, 2017. Том.4. С.64–70
7. Noshadi M., Fahandej-SaadI S., Sepaskhah J. A.R. Application of SALTMED and HYDRUS-1D models for simulations of soil water content and soil salinity in controlled groundwater depth. *Arid Land*. 2020. Vol. 12. № 3. 447–461.
8. Евграшкина Г.П. Влияние горнодобывающей промышленности на гидрогеологические и почвенно-мелиоративные условия территорий. Днепропетровск: Монолит, 2003. 200 с.
9. Карслоу Г., Егер Д. Теплопроводимость твердых тел. М.: Наука, 1964. 487 с.

References

1. Glasson, J., Therivel, R., & Chadwick, A. (1997). Introduction to Environmental Impact Assessment. Principles and procedures, process, practice and prospects. The natural and Built Environment Series 1: UCL Press.
2. Geng, X., & Boufadel, M.C. (2015). Numerical modeling of water flow and salt transport in bare saline soil subjected to evaporation. *Journal of Hydrology*, **524**, 427–438, <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2015.02.046>
3. Van Genuchten, M.Th. (1987). A Numerical Model for Water and Solute Movement in and below the Root Zone. *Research Report*, **121**.
4. Brenner, H. (1962). The diffusion model of longitudinal mixing in beds of finite length. Numerical values. *Chemical engineering Science*, **17**, 1, 229–243.
5. Bresler, E. (1981). Transport of Salts in Soils and Subsoils. *Agricultural Water Management*, **4**, 35-62.
6. Yevgrashkina, G.P., & Kharytonov, M.M. (2017). Modely vertykal'nogo soleperenosa na shahtnykh otvalah dlya obosnovaniia varyanta ih rekulytvatsiy. *Vysnyk Dniprovskogo derzhavnogo agrarno-ekonomichnogo universytetu*, **4**, 64–70.

7. Noshadi, M., Fahandej-Saad, S., & Sepaskhah, J. A.R. (2020). Application of SALTMED and HYDRUS-1D models for simulations of soil water content and soil salinity in controlled groundwater depth. *Arid Land*, **12**, 3, 447–461.
8. Yevgrashkina, G.P. (2003). Vliyanie gornodobyvayushchey promyshlennosti na hydrogeologicheskiye i pochvenno-meliorativniye usloviya teritoriy, monographiya. Dnepropetrovsk: Monolit.
9. Karslow, G., & Yeger, D. (1964). Teploprovodnost tverdyh tel. M.: Nauka.

Харитонов Николай Николаевич – д.с.-х.н., профессор, профессор кафедры общего земледелия и почвоведения Днепропетровского государственного аграрно – экономического университета, e-mail: kharytonov.m.m@dsau.dp.ua, ORCID: 0000-0002-4650-5819.

Климкина Ирина Ивановна – к.б.н., доцент, доцент кафедры экологии и технологий защиты окружающей среды Национального технического университета «Днепропетровская политехника», e-mail: irina_klimkina@ukr.net, ORCID: 0000-0002-6074-0145.

Титаренко Ольга Викторовна – к.т.н., ведущий научный сотрудник Научного центра аэрокосмических исследований Земли ИГН НАНУ, e-mail: olgatitarenko66@ukr.net, ORCID: 0000-0001-5804-1022.

Анисимова Лариса Борисовна – к.б.н., заведующий отдела Института проблем природопользования и экологии НАНУ, e-mail: lanisimova@gmail.com, ORCID: 0000-0003-3398-5400.