

---

УДК 624.131.4

## **Новейшие данные о свойствах лессов в условиях естественного залегания (г. Днепропетровск)**

**К.А. Самойлич**

*Днепропетровский национальный университет имени Олеса Гончара*

Приведены результаты маршрутных исследований в балках, карьерах, месторождениях Днепропетровска и его окрестностей. Охарактеризованы типичные для города геологические разрезы, получены новые данные по физическим, физико-механическим свойствам грунтов четвертичного возраста, выявлены закономерности по изменению просадочных свойств в естественных условиях залегания. Для сопоставления привлечены также результаты лабораторных исследований грунтов из зоны влияния проседающего здания, расположенного на водоразделе Тоннельной и Встречной балок. Выяснены закономерности колебаний влажности, плотности, начального просадочного давления и величины относительной просадочности в условиях городской застройки и естественного залегания.

*Ключевые слова:* лессы, просадочные свойства, типичный разрез, овражно-балочный.

## **The newest data on the properties of loess in the conditions of natural occurrence (Dnepropetrovsk)**

**K.A. Samoilych**

*Oles Gonchar Dnipropetrovsk National University*

The results of the research of routing in the gullies, quarries, fields and the surrounding area of Dnepropetrovsk. We characterize the typical geological sections of the city, new data on the physical, physico-mechanical properties of soils of the Quaternary age, the regularities of change sagging properties in natural occurrence. To compare the results brought the results of laboratory tests of soil from the area of influence of sags of a building located in the watershed of the tract «Balka Tonellna» and «Balka Zustrichna». Clarified laws fluctuations humidity, density, initial pressure and the amount of subsidence relative subsidence in urban areas and natural occurrence.

*Key words:* loess, subsidence properties, a typical cross-section, gullies and ravines.

---

Дніпропетровський національний університет імені Олеса Гончара, просп. Гагаріна, 72, Дніпропетровськ, 49010, Україна.

Oles Honchar Dnipropetrovsk National University, pr. Gagarina, 72, Dnipropetrovsk, 49010, Ukraine.

Tel.: +38-050-157-78-76. E-mail kseniya.sam@mail.ru

**Введение.** Приднепровский регион в основном лежит на Украинском кристаллическом щите, перекрытом неогеновыми глинами и четвертичными породами. Правобережье Днепропетровска относят к приледниковой лессовой равнине, сильно расчлененной овражно-балочной сетью рек Днепр и Мокрая Сура. Днепропетровск относится к городам с незначительной продолжительностью постоянно действующих антропогенных воздействий [12], но хаотичная интенсивная застройка города разноэтажными зданиями и сооружениями на грунтах, склонных к проседанию, стала причиной техногенных катастроф и аварий на ж/м «Тополь», ул. Кирова, ул. Вакуленчука, ул. Гавриленка, ул. Нахимова и др.

Изучение лессовой толщи Днепропетровска начал Л.Л. Иванов в 1914 г. с подробного описания погребенных почв, входящих в ее состав [7]. В 1916 г. В.Д. Ласкарев, исследуя образцы пород из лессовой серии на водораздельном плато между реками Днепр и Мокрая Сура (нынешняя территория между Тоннельной и Встречной балками), установил присутствие трех ярусов лесса, разделенных двумя горизонтами погребенной почвы. При описании типичного стратотипа вблизи с. Старые Кодачи М.Ф. Веклич [13] выделил чередование девяти почвенных и восьми лессовых горизонтов [3]. Построена инженерно-геологическая карта просадочных свойств грунтов территории Днепропетровска (1978), где показано площадное распространение непросадочных и просадочных грунтов I и II типа правобережья города.

В связи с ростом города на его территории постоянно проводились изыскания, но в течении длительного времени анализ физических, физико-механических свойств лессовых отложений выполнялся лишь в пределах территории застройки. Цель исследований – характеристика и выявление изменений физических, физико-механических свойств лессов в условиях естественного залегания. Главными задачами были изучение типичных для города геологических разрезов, отбор монолитов грунтов в количестве, достаточном для получения новых данных по физическим, физико-механическим свойствам пород, проведение лабораторных исследований с применением стандартных методик, выявление закономерностей по изменению просадочных свойств в естественных условиях залегания грунтов.

Определение просадочных свойств лессовых пород проводилось в рамках госбюджетной темы НИИ геологии ДНУ имени Олесь Гончара «Экспериментальное определение и прогноз изменений просадочных свойств (деградации) лессовых грунтов при техногенезе».

**Материалы и методы исследований.** Маршрутные наблюдения (2011 – 2014) проводились в Днепропетровске и за его пределами. Отобраны образцы лессов и погребенных почв: в Евпаторийской, Тоннельной, Встречной балках; в обнажении четвертичных пород вблизи с. Новониколаевка (Днепропетровский р-н); на верхних уступах Рыбальского гранитного карьера; из разработанных четвертичных горизонтов при добыче титано-циркониевых песков Малышевского месторождения (г. Вольногорск, Днепропетровская обл.) (рис. 1, а – е). Маршрутные наблюдения показали, что происходит активизация оползневых процессов на склонах Тоннельной, Евпаторийской, Встречной балок. Для сравнения физико-механических свойств в естественном состоянии и в зоне влияния сооружения были отобраны образцы из скважин, пробуренных для

определения причин проседания нового 12-этажного здания на водоразделе Встречной и Тоннельной балок.

После изучения геологических карт и основных типичных разрезов (при участии канд. геол.-мин. наук В.В. Маниюка [9]) в качестве объекта изучения были выделены такие стратиграфические типы (табл. 1):

Таблица 1

**Исходный материал для лабораторных исследований**

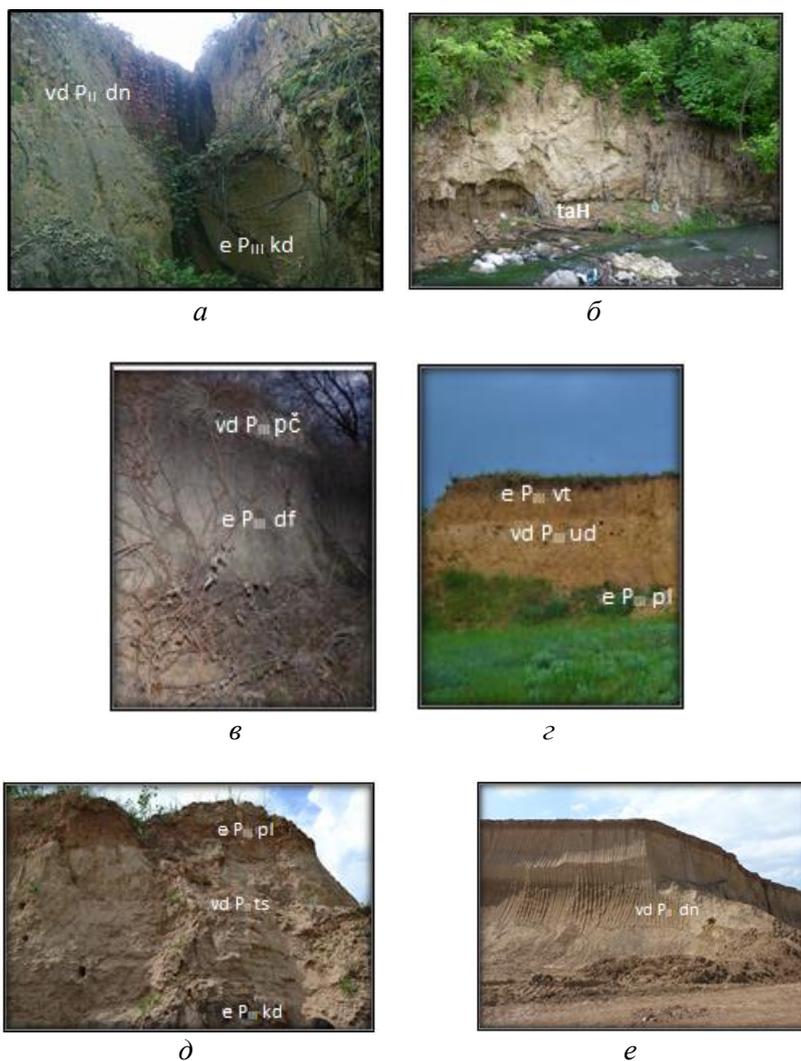
Место отбора монолитов	Стратиграфический индекс отобранных образцов
Обнажение в овраге балки Евпаторийской	vd P <sub>II</sub> ts, vd P <sub>II</sub> dn, e P <sub>III</sub> kd
Обнажение в верховье правого борта балки Тоннельной	vd P <sub>III</sub> pч, e P <sub>III</sub> df, e P <sub>III</sub> bg, vd P <sub>III</sub> ud
Обнажение в низовье левого борта балки Встречной	taH
Обнажение четвертичных пород вблизи с. Новониколаевка (Днепропетровский р-н)	e P <sub>III</sub> vt, vd P <sub>III</sub> ud, e P <sub>III</sub> pl
Верхний уступ Рыбальского гранитного карьера	e P <sub>III</sub> pl, vd P <sub>II</sub> ts, e P <sub>III</sub> kd
Разработка четвертичных горизонтов при добыче титано-циркониевых песков Малышевского месторождения (г. Вольногорск, Днепропетровская обл.)	vd P <sub>II</sub> dn
Скважины, пробуренные в зоне влияния проседающего 12-этажного здания на водоразделе Тоннельной и Встречной балок	e P <sub>III</sub> df, e P <sub>III</sub> vt, vd P <sub>III</sub> ud, vd P <sub>II</sub> dn, vd P <sub>II</sub> ts

В связи с освоением и урбанизацией свободных от строительства территорий города, предназначенных для малоэтажного строительства, важно иметь обновленную информацию о физико-механических свойствах пород в естественном залегании, в частности о просадочности грунтов.

Для определения просадочности лессового горизонта можно применять два подхода: косвенный и прямой [10]. К косвенным относятся физико-географические признаки (недостаточное увлажнение, значительная мощность толщи, глубокое залегание грунтовых вод), характеристики состава и состояния породы (низкая пластичность, высокая пористость, низкая естественная влажность, наличие цемента из водорастворимых солей), специальные показатели (K, K<sub>d</sub> – показатель уплотненности). К прямым можно отнести те, которые непосредственно указывают на просадочные свойства и величину ожидаемой деформации. Величина этих показателей непосредственно связана с нагрузкой, объемом и характером увлажнения, при определенной величине которой возможно развитие просадочности. К таким показателям относятся: коэффициент относительной просадочности, начальные просадочные давление и влажность, а также суммарная просадка толщи лессовых пород и величина мощности просадочной толщи.

Для объяснения возникновения просадок в лесах [2] применялось установленное Б.В. Дерягиным представление о расклинивающем действии тонкого слоя воды. Просадочность грунтов обусловлена особенностями процесса формирования и существования толщ этих грунтов, в результате чего они находятся в недоуплотненном состоянии. В статье немецких исследователей [6; 11] отмечается, что одной из основных проблем лессовых отложений на практике являются структурные обвалы, вызванные нагрузкой и замачиванием. Этот процесс называется гидроконсолидацией, он описан как переход от открытой части упаковки частиц к более плотноупакованным. Наблюдения Ф.Л. Андрухина показали, что просадки начинаются и протекают по-разному, выделено четыре типа

просадочных деформаций: 1) проявляются немедленно после замачивания породы; 2) проявляются через длительное время после замачивания; 3) проявляются в течение длительного времени, медленно возрастая; 4) проявляются в виде карстового процесса, в лессах или глинах [1].



**Рис. 1. Объекты исследования:**

*a* – обнажение в овраге балки Евпаторийской; *б* – обнажение в низовье левого борта балки Встречной; *в* – обнажение в верховье правого борта балки Тоннельной; *г* – обнажение вблизи с. Новониколаевка (Днепропетровский р-н); *д* – обнажение в верхнем уступе Рыбальского гранитного карьера; *е* – обнажение, вскрытое при разработке титаново-циркониевого Малышевского месторождения (г. Вольногорск)

**Результаты и их обсуждение.** В соответствии с задачами исследования получены новые данные о физических, физико-механических свойствах грунтов в естественном залегании. Определены природная влажность ( $W$ ), плотность ( $\rho$ ),

число пластичности ( $I_p$ ) и показатель текучести ( $I_L$ ); по результатам компрессионных испытаний рассчитаны модуль деформации в природном ( $E$ ) и водонасыщенном ( $E_{sat}$ ) состояниях, начальное просадочное давление ( $P_{sl}$ ) и величина относительной просадочности ( $E_{sl}$ ). Все испытания и расчёты проводились самостоятельно по стандартным методикам в соответствии с ГОСТ-ами и действующими нормами. Компрессионные испытания проводились в лаборатории грунтоведения и механики грунтов ГААДУ «Укравтодор». В компрессионных приборах системы «Гидропроект» определен модуль деформации для монолитов ненарушенной структуры в интервале нагрузок 0,05 – 0,6 МПа. Получены просадочные характеристики лессовых грунтов в результате компрессионных испытаний по методике «двух кривых» с нагрузкой на образец до 0,6 МПа. Для некоторых образцов деформационные и просадочные показатели определялись в результате компрессионных испытаний по методике «одной кривой» с равномерной нагрузкой до 0,6 МПа.

В табл. 2 представлены результаты лабораторных исследований грунтов балки Тоннельной и зоны влияния сооружения на водоразделе балок Тоннельной и Встречной, которые сравнивались со средними значениями соответствующих горизонтов, полученных при составлении карты просадочных свойств грунтов территории Днепропетровска (1978). Данный отчет выбран из-за совпадения конечных целей исследования – определения просадочных свойств лессовых грунтов территории Днепропетровска.

Влажность пород естественного залегания в балке Тоннельной невысока из-за того, что образцы отобраны на выветриваемых стенках срыва. В зоне влияния сооружения высокая влажность в основном связана с изменениями поверхностного дренажа, временем года, снижением транспирации, утечками из бытовых и промышленных канализаций, строением фундамента [4]. В условиях города влажность грунта – непостоянная величина, которая меняется в широких пределах. Во время кратковременных циклов заморозания-оттаивания грунтов частицы подвергаются интенсивному тепло- и массообмену [5], что может стать причиной формирования новых грунтов с улучшенными либо ухудшенными свойствами.

Проанализировав результаты исследования, можно увидеть, что для причерноморского горизонта ( $vd P_{III} p\check{c}$ ) плотность грунта увеличилась, число пластичности не изменилось, начальное просадочное давление увеличилось на несколько пунктов, а величина относительной просадочности незначительно уменьшилась.

Дофиновский горизонт ( $e P_{III} df$ ) вскрыт на обоих участках исследования, плотность грунта увеличилась только на водоразделе, что вызвано нагрузкой от веса фундамента самого здания и размещенных рядом сооружений. Число пластичности лежит в пределах 0,05 – 0,09, начальное просадочное давление стало больше, что вызвано предварительным уплотнением грунтов перед строительством. Величина относительной просадочности в естественном залегании выше, чем на застроенном участке.

Сравнение физических, физико-механических свойств образцов грунтов (г. Днепропетровск)

Стратиграфический индекс	Тип грунта	Плотность грунта $\rho$ , г/см <sup>3</sup>	Природная влажность, W, д.е.	Число пластичности $I_p$ , д. е.	Начальное просадочное давление $P_{sl}$ , МПа	Величина относительной просадочности $E_{sl}$
Тоннельная балка						
vd P <sub>III</sub> pč	Суглинки светло- и серовато-коричневые, легкие, лессовидные, сверху гумусированные	<u>1,51</u> 1,20 – 1,45	0,09	<u>0,04</u> 0,04 – 0,06	<u>0,25</u> 0,028 – 0,035	<u>0,019</u> 0,025 – 0,035
e P <sub>III</sub> df	Суглинки серовато-коричневые, легкие и средние, местами песчаные	<u>1,45</u> 1,25 – 1,50	0,11	<u>0,08</u> 0,05 – 0,09	<u>0,4</u> 0,20 – 0,55	<u>0,058</u> 0,020 – 0,035
e P <sub>III</sub> bg	Лессы и лессовидные суглинки, желто-палевые, легкие, макропористые, карбонатные	<u>1,51</u> 1,35 – 1,55	0,12	<u>0,05</u> 0,04 – 0,06	<u>0,25</u> 0,45 – 1,20	<u>0,059</u> –
vd P <sub>III</sub> ud	Лессы, лессовидные суглинки светло-палевые, легкие, известковистые	<u>1,50</u> 1,35 – 1,60	0,08	<u>0,04</u> 0,04 – 0,06	<u>0,25 – 0,45</u> –	<u>0,056 – 0,093</u> –
Зона влияния сооружения на водоразделе Тоннельной и Встречной балок						
e P <sub>III</sub> df	Суглинки серовато-коричневые, легкие и средние, местами песчаные	<u>1,60</u> 1,25 – 1,50	0,20	<u>0,08</u> 0,05 – 0,09	<u>1,0</u> 0,20 – 0,55	<u>0,025</u> 0,020 – 0,035
e P <sub>III</sub> vt	Суглинки светло- и темно-буро-коричневые с красным оттенком	<u>1,79</u> –	0,15	<u>0,05</u> 0,06	<u>5,0</u> –	<u>0,015</u> –
vd P <sub>III</sub> ud	Лессы, лессовидные суглинки светло-палевые, легкие, известковистые	<u>1,57</u> 1,35 – 1,60	0,13	<u>0,05</u> 0,04 – 0,06	<u>0,75</u> –	<u>0,019</u> –
vd P <sub>III</sub> ud	Лессы, лессовидные суглинки светло-палевые, легкие, известковистые	<u>1,65</u> 1,35 – 1,60	0,13	<u>0,04</u> 0,04 – 0,06	<u>0,6</u> –	<u>0,032</u> –
vd P <sub>II</sub> dn	Лессы и суглинки лессовидные, желто-палевые и светло-палевые, легкие и средние, известковистые	<u>1,76</u> –	0,18	<u>0,06</u> –	<u>0,9</u> –	<u>0,016</u> –
vd P <sub>II</sub> dn	Лессы и суглинки лессовидные, желто-палевые и светло-палевые, легкие и средние, известковистые	<u>1,75</u> –	0,20	<u>0,07</u> –	<u>1,2</u> –	<u>0,025</u> –
vd P <sub>II</sub> ts	Суглинок палево-желтый, коричневатопалевый, известковистый, слабоуплотненный	<u>1,85</u> 1,40 – 1,54	0,22	<u>0,05</u> –	<u>1,0</u> –	<u>0,011</u> –

Примечание: в числителе – результаты лабораторных исследований за 2014 г.; в знаменателе – средние данные по физическим и физико-механическим свойствам для соответствующих горизонтов за 1978 г. [7] (величина относительной просадочности в обоих случаях определена при давлении 3 МПа).

Бугский горизонт ( $e_{P_{III}} bg$ ) характерен только для Тоннельной балки, показатели плотности и пластичности входят в пределы средних значений, а начальное просадочное давление уменьшилось.

Витачевский горизонт ( $e_{P_{III}} vt$ ) характерен для водораздела балок Тоннельной и Встречной, показатели пластичности с 1978 г. не изменились, характерны высокие значения начального просадочного давления.

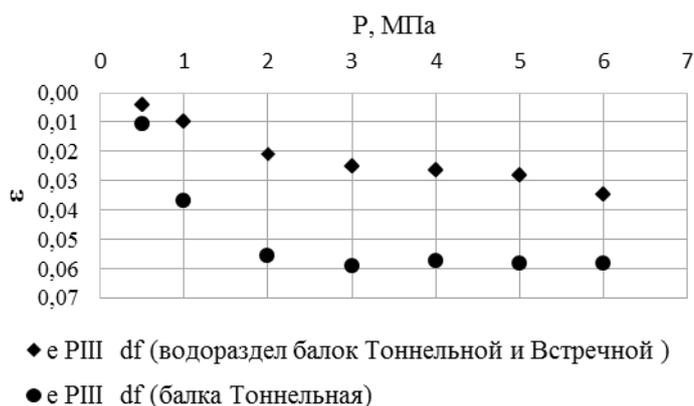
Удайский горизонт ( $vd_{P_{III}} ud$ ) вскрыт на обоих участках исследования, плотность грунтов незначительно выше среднего на водоразделе, что обусловлено давлением вышележащих слоев; пластичность находится в границах средних значений; начальное просадочное давление незначительно выше на водоразделе из-за предварительного уплотнения; величина относительной просадочности больше при естественном залегании в Тоннельной балке.

Днепровский горизонт ( $vd_{P_{II}} dn$ ) характеризуется более высокой плотностью, чем вышележащие слои, что обусловлено их давлением, начальное просадочное давление также достаточно высокое, но все же горизонт является просадочным.

Тясминский горизонт ( $vd_{P_{II}} ts$ ), так же как и предыдущий, достаточно уплотнен, начальное просадочное давление и величина относительной просадочности также сходны.

Таким образом, разница между физико-механическими свойствами на водоразделе и в самих балках в том, что в балках снижена интенсивность техногенного воздействия, уменьшен объем потерь воды. Хотя и Тоннельная, и Встречная балки все же частично застроены, отбор проб проводился на незастроенной территории. Техногенное обводнение зоны влияния 12-этажного сооружения приводит к уплотнению грунта, способствуя снижению гидрофильности и изменению гранулометрического состава. Геоморфологический фактор также влияет на более высокие показатели просадочности водораздела балок Тоннельной и Встречной.

По результатам компрессионных испытаний для дофиновского ( $e_{P_{III}} df$ ) (рис. 2, а) и удайского ( $vd_{P_{III}} ud$ ) (рис. 2, б) горизонтов балки Тоннельной и водораздела балок Тоннельной и Встречной построены графики зависимости относительной деформации просадочности от давления  $\varepsilon_{sl} = f(p)$ , которые показывают, что в естественных условиях грунты более просадочны, так как отсутствует предварительное уплотнение, а просадочность лессовых пород водоразделов выше, чем в балках.



а

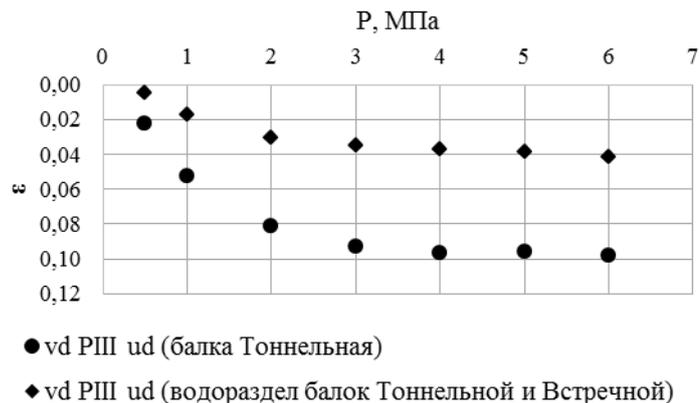


Рис. 2. Графики зависимости относительной деформации просадочности от давления  $\varepsilon_{st} = f(p)$  для дофиновского (а Р<sub>III</sub> df) и удайского (vd Р<sub>III</sub> ud) горизонтов балки Тоннельной и водораздела балок Тоннельной и Встречной

**Выводы.** Таким образом, по результатам проведенных маршрутных исследований в Днепропетровске и его окрестностях получены новые данные по физическим, физико-механическим свойствам грунтов в условиях естественного залегания в откосах, горных выработках и в зонах влияния сооружения. Выяснено, что в естественных условиях лессовые породы более просадочны, так как отсутствует предварительное уплотнение, но в тоже время лессовые породы водоразделов обладают более высокой просадочностью. Так что при изучении лессов нужно принимать во внимание всю совокупность факторов, влияющих на просадочность. Постоянное обновление данных по физико-механическим свойствам грунтов и сведение их в единую базу сократит сроки и затраты при изысканиях.

### Библиографические ссылки

1. **Andruhin, F.L.** Issledovanie svyaznyh gruntov: principy kompressionnyh ispytaniy porod [Text]/ F.L. Andruhin. – M. – L., 1939. – 71 p. (in Russian).
2. **Denisov, N.Ja.** O prirode prosadochnykh javlenij v lessovidnykh suglinkah [Text]/ N. Ja. Denisov. – M.: Sov. nauka, 1946. – 173 p. (in Russian).
3. Derzhavna geologichna karta Ukraini. Central'noukrains'ka serija. Arkush M-36-XXXVI (Dnipropetrovs'k) [Tekst]/ V.O. Shpil'chak, V.V. Manjuk, V.V. Sukach, A.I. Nektjach. – K.:UkrDGRI, 2007. – 116 p. (in Ukrainian).
4. **Dinjak, O.** Inzhenerno-geologichne rajonuvannja z metoju vijavlennja diljanok mozhlivogo rozvitku nebezpechnih geologichnih procesiv na bazi GIS ta kartografichnogo modeljuvannja. [Text]/ O. Dinjak// Visn. KNU. Ser. «Geologija» – 2013. – № 2 (61). – p. 53 – 57 (in Ukrainian).
5. **Grigor'ev, B.V.** Gisterezis pri promerzanii-ottaivanii vlazhnogo suglinka [Text]/ B.V. Grigor'ev. – Vestn. Irkuts. un-ta – 2013. - №5 (76). – 61 p. (in Russian).
6. **Jehring, S.** Engineering Geology problems in loess deposits [Electronic resource]. – Across of the mode: [http://www.geo.tu-freiberg.de/oberseminar/os06\\_07/Susann\\_Jehring.pdf](http://www.geo.tu-freiberg.de/oberseminar/os06_07/Susann_Jehring.pdf). – Engineering Geology problems in loess deposits. – Title from the screen.

7. **Kravchenko, A.I.** Otchet inzhenerno-geologicheskaja karta prosadochnyh svojstv gruntov territorii g. Dnepropetrovska [Text]/ A.I. Kravchenko, V.N. Shelyakov. – D.: Izd-vo DISI, 1978. – 150 p. (in Russian).
8. **Krutov, V.I.** Osnovanija i fundamenty na prosadochnyh gruntah [Text]/ V.I. Krutov. – K.: Budivel'nik, 1982. – 224 p. (in Russian).
9. **Manjuk, V.V.** Osoblivosti budovi chetvertinnih vidkladiv u tipovih rozrizah Seredn'ogo Pridniprovs'ja [Text]/ V.V. Manjuk// Visn. Dnipropet. un. Ser. «Geologija. Geografija». – 2013. – №14. – P. 8 – 14 (in Ukrainian).
10. **Priklonskij, V.A.** Gruntovedenie [Text]/ V.A. Priklonskij. – M.: Izd-vo MGU, 1952. – 383 p. (in Russian).
11. **Prost, E.** «Know More About Loess» [Text]/ E. Prost, M. Asce, J. Waxse// Geo-Strata – Geo Institute of ASCE, 2000. – Vol. 13, № 4. – P. 31 – 35.
12. **Sumatohina, I.M.** Ocinka trivalosti zdijsnennja antropogenogo vplivu na teritorii mist [Text]/ I. M. Sumatohina// Visn. Dnipropetr. un. Ser. «Geologija. Geografija». – 2005. – № 9. – P. 100 – 103 (in Ukrainian).
13. **Veklich, M.F.** Stratigrafija lessovyh formacij Ukrainy i sosednih stran [Text]/ M.F. Veklich. – K.: Nauk. dumka, 1968. – 238 p. (in Russian).

*Надійшла до редколегії 28.02.2015*