

## Определение нефтепроницаемости почв и грунтов расчетным методом

**В.Е. Савенок, Е.В. Шаматульская**

*Учреждение образования «Витебский государственный университет имени П.М. Машерова»*

*Для минимизации возможных последствий нефтяного загрязнения природных ландшафтов должна проводиться предварительная оценка устойчивости почв и грунтов к этому загрязнению. Одним из основных критериев, по которому должна проводиться эта оценка, является нефтепроницаемость почв и грунтов.*

*Цель данной работы – оценка нефтепроницаемости основных типов почв и грунтов, характерных для территории Витебской области.*

**Материал и методы.** *При различных аварийных ситуациях, связанных с разливом нефти на рельеф необходимо, прежде всего, оценить масштабы загрязнения почв и грунтов. Основными расчетными параметрами для определения нефтепроницаемости почв и грунтов являются: коэффициент фильтрации, коэффициент проницаемости, коэффициент скорости фильтрации, коэффициент нефтепроводимости.*

*При прогностических расчетах использовались в качестве исходных данных характеристики почв и грунтов. Характеристиками нефтепродукта, используемыми в расчетах, были: плотность нефтепродукта; температура нефтепродукта; вязкость нефтепродукта.*

**Результаты и их обсуждение.** *Согласно проведенного анализа, основными типами грунтов на территории Витебской области являются: дерново-подзолистые, местами эродированные на моренных глинах и суглинках; дерново-подзолистые и глеевые преимущественно на глинах; дерново-подзолистые, местами эродированные, на лёсах, лёсоподобных суглинках и супесях; дерново-подзолистые на песках. В работе определена нефтепроницаемость почв и грунтов типичных для Витебской области при различных значениях коэффициента фильтрации и других параметров.*

**Заключение.** *Борьба с аварийными разливами нефти и нефтепродуктов, приводящими к загрязнению природной среды является актуальной проблемой сегодняшнего дня. Результаты проведенных исследований могут быть использованы при прогнозной оценке масштабов нефтяного загрязнения почв и грунтов в случае аварийных нефтеразливов на рельеф.*

**Ключевые слова:** *грунт, коэффициент, нефтяное загрязнение, нефтепроницаемость, параметр, пористость, почва, расчет, фильтрация.*

## Определение нефтепроницаемости почв и грунтов расчетным методом

**В.Е. Савенок, Е.В. Шаматульская**

*Educational establishment «Vitebsk State University named after P.M. Masherov»*

*Для минимизации возможных последствий нефтяного загрязнения природных ландшафтов должна проводиться предварительная оценка устойчивости почв и грунтов к этому загрязнению. Одним из основных критериев, по которому должна проводиться эта оценка, является нефтепроницаемость почв и грунтов.*

*Цель данной работы – оценка нефтепроницаемости основных типов почв и грунтов, характерных для территории Витебской области.*

**Материал и методы.** *При различных аварийных ситуациях, связанных с разливом нефти на рельеф необходимо, прежде всего, оценить масштабы загрязнения почв и грунтов. Основными расчетными параметрами для определения нефтепроницаемости почв и грунтов являются: коэффициент*

фильтрации, коэффициент проницаемости, коэффициент скорости фильтрации, коэффициент нефтепроводимости.

При прогностических расчетах использовались в качестве исходных данных характеристики почв и грунтов. Характеристиками нефтепродукта, используемыми в расчетах, были: плотность нефтепродукта; температура нефтепродукта; вязкость нефтепродукта.

**Результаты и их обсуждение.** Согласно проведенного анализа, основными типами грунтов на территории Витебской области являются: дерново-подзолистые, местами эродированные на моренных глинах и суглинках; дерново-подзолистые и глеевые преимущественно на глинах; дерново-подзолистые, местами эродированные, на лёсах, лёсоподобных суглинках и супесях; дерново-подзолистые на песках. В работе определена нефтепроницаемость почв и грунтов типичных для Витебской области при различных значениях коэффициента фильтрации и других параметров.

**Заключение.** Борьба с аварийными разливами нефти и нефтепродуктов, приводящими к загрязнению природной среды является актуальной проблемой сегодняшнего дня. Результаты проведенных исследований могут быть использованы при прогнозной оценке масштабов нефтяного загрязнения почв и грунтов в случае аварийных нефтеразливов на рельеф.

**Ключевые слова:** грунт, коэффициент, нефтяное загрязнение, нефтепроницаемость, параметр, пористость, почва, расчет, фильтрация.

Важным фактором при оценке состояния природных ландшафтов выступает устойчивость почв и грунтов к химическому загрязнению. Количественная оценка устойчивости грунтов позволяет учитывать региональную специфику территории и характеризовать потенциальные возможности различных грунтов и их ответную реакцию на равное техногенное воздействие независимо от характера этого воздействия. Для минимизации возможных последствий нефтяного загрязнения должна проводиться предварительная оценка устойчивости почв и грунтов к этому загрязнению. Одним из основных критериев, по которому должна проводиться эта оценка, является нефтепроницаемость почв и грунтов.

Разлитые по поверхности грунта нефть и нефтепродукты, полностью заполняющие поры грунтов и трещины в различных породах, при определенных условиях перемещаются в порах. Проницаемость грунта зависит от его пористости, а также от характера пустот и пор.

Цель данной работы – оценка нефтепроницаемости основных типов почв и грунтов, характерных для территории Витебской области. В работе приведена методика определения коэффициентов фильтрации и пористости для рассматриваемых типов почв и грунтов, необходимая для прогнозной оценки загрязненности почв и грунтов различными видами нефтепродуктов и представлены прогностические расчеты.

**Материал и методы.** В Витебской области широко распространены ледниковые и озерно-ледниковые суглинистые и глинистые отложения, а также частично пески; кроме того, встречаются суглинистые и песчаные образования аллювиального генезиса [1, 2].

*Глинистые грунты ледникового и водно-ледникового происхождения.* Эта группа грунтов представлена главным образом моренными супесями, суглинками и глинами, содержащими различное количество дресвы, гравия, гальки и валунов, слагающих различные по мощности тела, в которых часто встречаются внутриморенные линзы водонасыщенных песков, которые, с одной стороны, увеличивают неоднородность строения толщ, а с другой – уменьшают их устойчивость в стенках откосов и котлованов. Глинистые моренные грунты являются полиминеральными образованиями. В их глинистой фракции чаще всего преобладают гидрослюды. Наряду с ними здесь содержится значительное количество кварца, полевых шпатов и других минералов. Содержание водорастворимых солей в глинистых моренных грунтах незначительно; часто они совсем отсутствуют. Карбонатов больше в нижних частях моренных толщ. Органическое вещество в этих грунтах, как правило, отсутствует. Отличительной чертой глинистых моренных грунтов является их высокая плотность, значения которой колеблются от 1,80–1,90 до 2,20–2,30 г/см<sup>3</sup>. Пористость этих грунтов мала – обычно 25–35%. Показатели механических свойств характеризуют морену как плотный, слабосжимаемый грунт. Необходимо отметить, что моренные суглинки и глины, хотя и обладают значительной водопрочностью, все же размокают и размываются водой. Эта способность моренных грунтов иногда является причиной деформаций откосов и дна выемок и котлованов.

*Современные речные, озерные глинистые грунты (аллювиальные).* Среди аллювиальных грунтов глинистые грунты развиты очень широко, особенно в долинах рек Витебской области. Они отлича-

ются разнообразием, как по составу, так и по свойствам. Обычно они представлены супесями и суглинками, нередко содержащими органические остатки. По форме тел это: горизонтально, волнисто и линзовидно-слоистые суглинки и глины; супеси встречаются реже. Обычно это серые, черно-серые образования вследствие их оглеения и обогащения органическими веществами; иногда бурые или коричневые. Молодые пойменные глины, суглинки и супеси обычно очень рыхлые, влажные и слабо связанные. Высыхание их сопровождается изменением структуры породы и появлением мельчайших трещинок, разбивающих породу на отдельные неправильной формы. По стенкам трещин нередко отлагаются бурые окислы железа, увеличивающие неоднородность строения пойменных отложений. Очень часто в разрезах современного аллювия наблюдаются погребенные почвы или темноцветные горизонты, обогащенные органическим материалом. Наличие таких горизонтов и погребенных почв ухудшает свойства грунтов, поскольку высокое содержание органического материала в этих прослоях повышает гидрофильность, влажность, набухаемость, сжимаемость и снижает сопротивление сдвигу аллювиальных глинистых грунтов. Специфические глинистые грунты формируются в брошенных старых руслах – старицах, которые постепенно превращаются в замкнутые заболоченные понижения, заполняющиеся в паводковый период пылевато-глинистым материалом. Богатство этих отложений гниющими органическими остатками нередко вызывает процессы торфообразования и типичный при недостатке кислорода процесс минералообразования. Для отложений стариц, в отличие от глинистых грунтов остальной части поймы, характерно также постоянное полное водонасыщение. После спада паводковых вод глинистые отложения поймы подвергаются длительному просыханию, а старичные отложения, как правило, остаются все время покрытыми водой. В этих условиях старичные глинистые грунты приобретают явные коллоидные свойства, обуславливающие их обычно пластичное или даже текучее состояние и весьма низкие показатели механических свойств. Озерные суглинки и глины, как правило, тонкослоистые, реже линзовиднослоистые. Отличительной их особенностью является значительное содержание органических веществ. Все типы глинистых аллювиальных грунтов характеризуются высокой сжимаемостью и низкими показателями сопротивления сдвигу. Водопроницаемость грунтов, несмотря на их значительную общую пористость, очень небольшая.

При различных аварийных ситуациях, связанных с разливом нефти на рельеф необходимо, прежде всего, оценить масштабы загрязнения почв и грунтов. Для чего требуется знать нефтепроницаемость почв и грунтов.

Основными расчетными параметрами для определения нефтепроницаемости почв и грунтов являются: коэффициент фильтрации, коэффициент проницаемости, коэффициент скорости фильтрации, коэффициент нефтепроводимости.

Важным показателем, при прогнозной оценке загрязненности почв нефтепродуктами является коэффициент фильтрации. Коэффициент фильтрации является основной характеристикой нефтепроницаемости почв и грунтов и служит исходным параметром для всех фильтрационных расчетов [3]. Коэффициент фильтрации может определяться инструментальными и расчетными методами (лабораторными исследованиями). Как показывают многочисленные экспериментальные исследования, расход фильтрационного потока пропорционален площади поперечного сечения потока и гидравлическому уклону – это основной закон фильтрации (закон Дарси) [4]. Коэффициентом пропорциональности служит величина  $K$ , называемая коэффициентом фильтрации:

$$Q = K \cdot F \cdot J \quad (1)$$

где  $Q = v \cdot F$  - расход фильтрационного потока;  $F$  - площадь поперечного сечения потока;  $v$  - скорость фильтрации (расход воды через единицу площади поперечного сечения грунта, включая площадь сечения порового пространства и скелета грунта);  $J$  – гидравлический уклон (напорный градиент).

Коэффициент фильтрации  $K$  представляет собой скорость фильтрации при напорном градиенте, равном единице ( $J=1$ ) иначе коэффициент фильтрации это фильтрационный расход, отнесенный к площади поперечного сечения потока при напорном градиенте, равном единице:

$$K = v = Q/F \quad (2)$$

При практических расчетах коэффициент фильтрации измеряют в метрах в сутки или в сантиметрах в секунду. В лабораторных условиях коэффициент фильтрации грунта определяется помощью прибора Дарси.

Проницаемостью называется свойство грунтов (почв) пропускать через себя жидкости, газы и их смеси при наличии перепада давления (напора); проницаемость зависит от размера сообщающихся между собой пор и трещин в грунтах. Коэффициент проницаемости представляет собой расход жидкости, имеющей динамическую вязкость  $1 \text{ мПа}\cdot\text{с}$ , фильтрующейся через поперечное сечение площадью  $1 \text{ см}$  при перепаде давления  $0,1 \text{ МПа}$ . Он измеряется в *дарси* ( $1 \text{ дарси} = 1,02 \cdot 10^{-8} \text{ см}^2$ ).

Коэффициент проницаемости может быть выражен формулой

$$C = Q\mu\Delta l / (\Delta P F), \quad (3)$$

где  $Q$  – объемный расход жидкости,  $\text{см}^3/\text{с}$ ;  $\mu$  – коэффициент динамической вязкости жидкости,  $\text{мПа}\cdot\text{с}$ ;  $\Delta l$  – отрезок пути фильтрации, на котором происходит изменение давления  $\Delta P$ ,  $\text{см}$ ;  $\Delta P$  – перепад давления,  $\text{МПа}$ ;  $F$  – площадь поперечного сечения потока,  $\text{см}^2$ .

Связь коэффициента фильтрации  $K$  с коэффициентом проницаемости  $C$  выражается формулой [3]:

$$K = a \cdot C \cdot \rho / (\mu \cdot 1000), \quad (4)$$

где  $a$  – коэффициент размерности; если  $K$  выражен в сантиметрах в секунду, то  $a=1$ ; если в метрах в сутки, то  $a = 0,01 \cdot 24 \cdot 3600 = 864$ ;  $\rho$  – плотность жидкости (для воды  $\rho = 1000 \text{ кг/м}^3$ ).

При прогностических расчетах для определения коэффициента фильтрации ( $\text{м/сут}$ ) по известному коэффициенту проницаемости, формула (4) может быть преобразована к виду:

$$K = b \cdot C / \nu, \quad (5)$$

где  $\nu$  – коэффициент кинематической вязкости,  $\text{м}^2/\text{с}$ ;  $b = 10^{-6}$  – коэффициент размерности, если коэффициент фильтрации определяется в метрах в сутки.

Коэффициентом скорости фильтрации  $K_0$  называется скорость движения жидкости в порах или трещинах грунта при напорном градиенте, равном единице:

$$K_0 = \nu / P_o = Q / (P_o F), \quad (6)$$

где  $P_o$  – активная пористость (скважность) пород.

Коэффициент скорости фильтрации и коэффициент фильтрации связаны зависимостью:

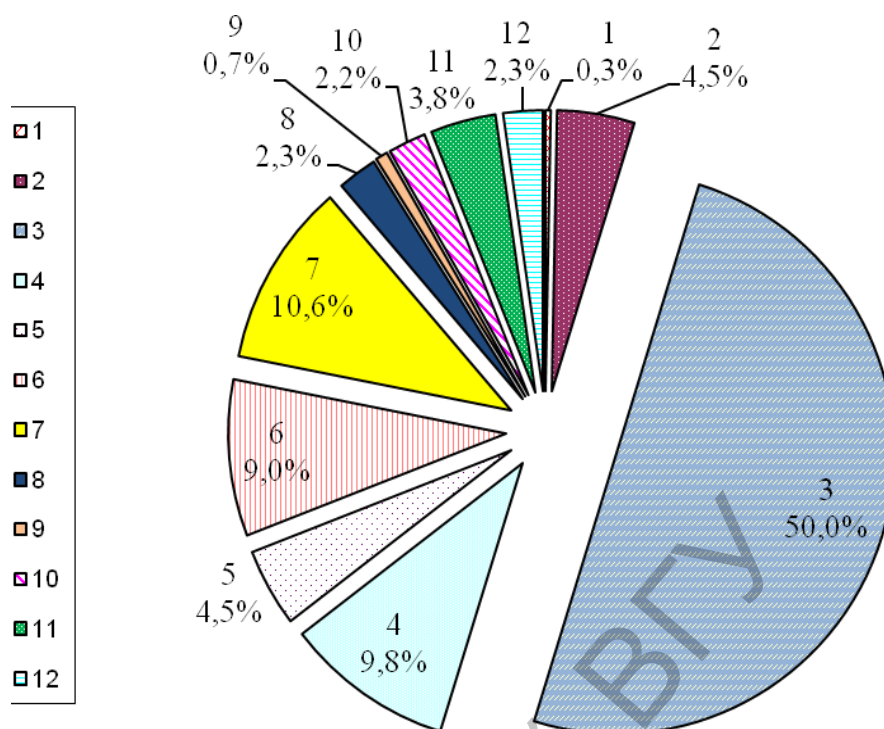
$$K_0 = R / P_o. \quad (7)$$

Коэффициент нефтепроводимости ( $\text{м}^3/\text{сут}$ ) характеризует единичный расход (на  $1 \text{ м}$  ширины) пятна нефтяных загрязнений при напоре градиенте, равном единице. Коэффициент нефтепроводимости  $T$  может быть определен как произведение коэффициента фильтрации на расход нефтяных загрязнений приходящихся на  $1 \text{ м}$  ширины нефтяного пятна  $m$ :

$$T = Km. \quad (8)$$

При прогностических расчетах нами использовались в качестве исходных данных характеристики почв и грунтов. Характеристиками нефтепродукта, используемыми в расчетах, были: плотность нефтепродукта; температура нефтепродукта; вязкость нефтепродукта.

**Результаты и их обсуждение.** Согласно проведенного нами анализа [5,6], основными типами почв (грунтов) на территории Витебской области являются: дерново-подзолистые, местами эродированные на моренных глинах и суглинках, которые составляют 50% от всех типов почв региона; дерново-подзолистые и глеевые преимущественно на глинах (10,6%); дерново-подзолистые, местами эродированные, на лёсах, лёсоподобных суглинках и супесях (9,8%); дерново-подзолистые на песках (9%) (см. рис.1).



- 1 – дерново-карбонатные, суглинистые супесчаные на карбонатных мореных и лёсовых отложениях
- 2 – дерново-подзолистые, временами излишне увлажненные, на озерно-ледниковых глинах и суглинках
- 3 – дерново-подзолистые, местами эродированные, на мореных глинах и суглинках
- 4 – дерново-подзолистые, местами эродированные, на лёсах, лёсоподобных суглинках и супесях
- 5 – дерново-подзолистые на водно-ледниковых суглинках и супесях, часто подосланных мореной
- 6 – дерново-подзолистые на песках
- 7 – дерново-подзолистые и глеевые преимущественно на глинах
- 8 – дерново-подзолистые и глеевые преимущественно на супесях, песках
- 9 – дерново-глеевые и глеевые на породах различного гранулометрического состава
- 10 – аллювиальные дерново-глеевые и торфяно-болотные
- 11 – торфяно-болотные низинные
- 12 – торфяно-болотные верховые и переходные

Рисунок 1 - Процентное соотношение типов почв

В работе была проведена оценка почв и грунтов, характерных для Витебской области по их нефтепроницаемости для различных коэффициентов фильтрации и других параметров.

Нефтяные загрязнения, заполняя поры между частицами грунта, движутся под действием силы тяжести. Движение нефтяных загрязнений можно рассматривать как безнапорное и равномерное при постоянном гидравлическом уклоне для малых площадей загрязнения. В тоже время, если площадь загрязнения является значительной, тогда возможно изменение гидравлического уклона и такое движение можно рассматривать как неравномерное. Поскольку скорость фильтрации, глубина, гидродинамическое давление и иные гидравлические характеристики пятна нефтяного загрязнения, зависят от времени и от координат пространства, то проникновение загрязнения в поры грунта будет являться неустановившемся движением. В соответствии с [3], коэффициенты фильтрации и проницаемости для одного и того же типа почв и грунтов могут изменяться в широких пределах и зависят, как было отмечено выше от размера сообщающихся между собой пор и трещин и различных других факторов. В таблице 1 приведены ориентировочные пределы коэффициентов фильтрации и проницаемости нефти и нефтепродуктов для типов почв, характерных для ландшафтов Витебской области при температуре 20°C (нумерация почв в соответствии с рис. 1).

Таблица 1 – Значение коэффициентов фильтрации и проницаемости для различных типов почв

Типы почв	Коэффициент фильтрации $K$ , $м/сут$	Коэффициент проницаемости $C$ , $дарси$
6,8	10÷100	11,6÷116
4,5,7, 9,10,11,12	1÷10	1,16÷11,6
1,3	0,1÷1	0,12÷1,16
2	0,001÷0,1	$1,2 \cdot 10^{-3} \div 0,12$

Согласно формулы (4) изменение коэффициента фильтрации зависит от плотности и вязкости. Для воды приближенно можно считать коэффициент проницаемости в 1 *дарси*, соответствующим коэффициенту фильтрации 1 *м/сут*. Для нефти и нефтепродуктов, плотность которых изменяется от 640  $кг/м^3$  (бензин) до 1000–1040  $кг/м^3$  (мазут) для коэффициента проницаемости в 1 *дарси*, пределы вариации коэффициента фильтрации изменяются в широких пределах и будут зависеть от типа почвы и ее состояния. По формуле (5) нами был определен коэффициент фильтрации для среднего значения коэффициента пористости для различных типов почв и разных видов нефтепродуктов при температуре  $t=20^0C$ . Результаты расчетов представлены в таблице 2 (нумерация почв в соответствии с рис. 1).

Таблица 2 – Значение коэффициентов фильтрации нефтепродуктов для различных типов почв (при среднем значении коэффициента пористости (см. табл.1))

Типы почв	Коэффициент фильтрации $K$ , $м/сут$		
	Бензин $\rho=640 \text{ кг}/м^3$ , $\nu=0,93 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2/с$	Дизельное топливо $\rho=640 \text{ кг}/м^3$ , $\nu=2,7 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2/с$	мазут $\rho=960 \text{ кг}/м^3$ $\nu=0,2 \cdot 10^{-2} \text{ м}^2/с$
6,8	68,60	23,63	0,03
4,5,7, 9,10,11,12	6,86	2,36	0,0032
1,3	0,69	0,24	0,0003
2	0,07	0,02	0,00003

По полученному значению коэффициента фильтрации, далее определялся коэффициент нефтепроводимости. Определенные по формуле (8) коэффициенты нефтепроводимости для различных значений расхода нефтяных загрязнений приходящихся на 1 *м* ширины нефтяного пятна  $m$  (принимался постоянным для расчетного времени) представлены графически для типов почв 6,8 и 1,3 на рисунках 2 и 3 соответственно. Априори, что чем больше коэффициент фильтрации, тем больше нефтепроницаемость почв (грунтов), в то же время, при одном значении коэффициента фильтрации для одного типа почв (грунтов), их загрязненность в значительной степени будет зависеть от расхода нефтепродукта, приходящегося на 1*м* ширины пятна нефтяного загрязнения.

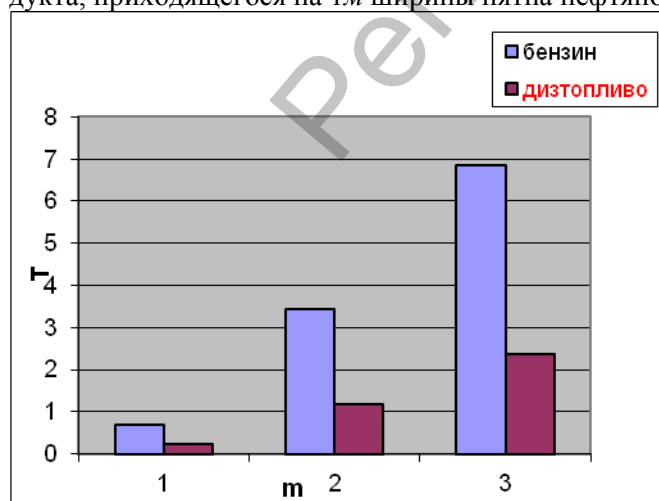


Рисунок 2 – Коэффициент нефтепроводимости для типов почв 6,8, где 1 –  $m=0,01$ ; 2 –  $m=0,05$ ; 3 –  $m=0,1$

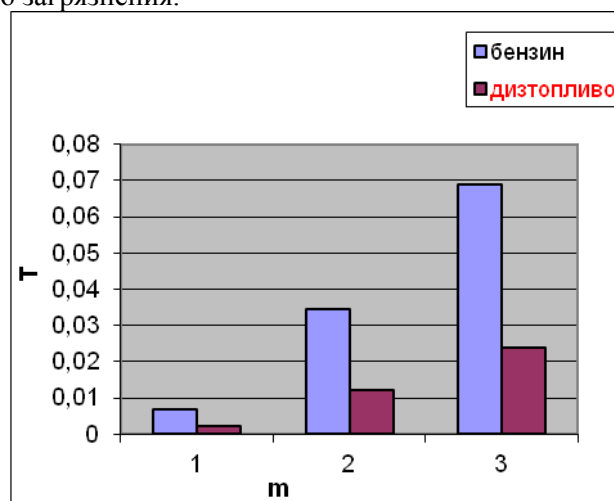


Рисунок 3 – Коэффициент нефтепроводимости для типов почв 1,3, где 1 –  $m=0,01$ ; 2 –  $m=0,05$ ; 3 –  $m=0,1$

**Заключение.** Борьба с аварийными разливами нефти и нефтепродуктов, приводящими к загрязнению природной среды является актуальной проблемой сегодняшнего дня. Решение задач, связанных с прогнозированием распространения нефтепродуктов в природной среде является важным элементом оценки степени негативного влияния нефтепродуктов на природные ландшафты. Результаты проведенных исследований могут быть использованы при прогнозной оценке масштабов нефтяного загрязнения почв и грунтов в случае аварийных нефтеразливов на рельеф. Своевременный и качественный прогноз будет способствовать минимизации экологического ущерба в этих случаях.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Павловская, И. Э. Полоцкий ледниково-озерный бассейн: строение, рельеф, история развития / И. Э. Павловская. – Минск: Наука и техника, 1994. – 121 с.
2. Закономерности распространения грунтовых толщ в Беларуси и особенности их прочностных и деформационных свойств [Электронный ресурс] //Геотехника в строительстве. - №4 (37) 2011. - Режим доступа: <http://bsc.by> – Дата доступа: 16.01.14.
3. П-717-80. Руководство по определению коэффициента фильтрации водоносных пород методом опытной откачки/ Гидропроект, Москва: Энергоиздат, 1981. – 142 с. - Режим доступа: <http://www.complexdoc.ru>
4. Пашков, Н.Н., Долгачев, Ф.М. Гидравлика. Основы гидрологии. Учебн. для уч.энерг. и энерго-строительных техн. М.: Энергия, 1977. – 408 с.
5. Минаева, О.Н. Оценка почв районов водосбора/ О.Н. Минаева, В.Е. Савенок // Проблемы устойчивого развития регионов РБ и сопредельных стран: сборник научн. статей 2-й Межд. НПК, Могилев 27-29 марта 2012г./ МГУ им. А.А. Кулешова – Могилев, 2012. ч.1 - С.77-80.
6. Минаева, О.Н. Прогнозная оценка районов водосбора / О.Н. Минаева, В.Е. Савенок // ЧС: предупреждение и ликвидация: сборник докладов VI Межд. НПК, Минск 8-9 июня 2011г./ НИИ ПБиЧС МЧС РБ. – Минск, 2011. - С.303-308.