

## Потенциальные источники углеводородного загрязнения почв Витебского региона

Н.А. Ковалевская\*, В.Е. Савенок\*\*

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

\*\*Учреждение образования «Витебский государственный технологический университет»

*В настоящее время все больше внимания уделяется вопросу изучения углеводородного загрязнения окружающей среды. Источники загрязнения разнообразны, но наибольший интерес представляют стационарные источники загрязнения почв.*

*Цель статьи – спрогнозировать пространственное распространение нефти и нефтепродуктов в местах расположения потенциальных загрязняющих объектов и с помощью математического моделирования определить степень химического загрязнения почв техногенных ландшафтов.*

**Материал и методы.** Материалом исследования послужили почвы в местах наибольшей техногенной нагрузки г. Витебска и Новополоцка. Был применен прогностический метод для изучения распространения углеводородов нефти в почве.

**Результаты и их обсуждение.** Изучение данных по распределению нефтепродуктов в почвах рассматривали в местах импактного загрязнения – нефтеперерабатывающие заводы, нефтехимические предприятия, нефтехранилища, автозаправочные станции, склады горюче-смазочных материалов, автопарки, железнодорожные депо. Одновременные выбросы при безаварийной работе промышленных предприятий невелики, но при их постоянном воздействии создается ареал устойчивого загрязнения.

*На основании проанализированных данных установлены наиболее часто встречаемые по гранулометрическому составу почвы: в Витебском районе – средне- и легкосуглинистые (59,6%), в Полоцком – связносупесчаные (32,8%) и рыхлосупесчаные (26,3%). Преобладающими типами почв в Витебском и Полоцком районах являются дерново-подзолистые заболоченные (68,4% и 71,5% соответственно). В работе приведены расчеты площади загрязненной почвы исследуемых районов нефтепродуктами с учетом гранулометрического состава. Была определена удельная площадь загрязненного грунта в зависимости от вида нефтепродукта при единичном источнике и мгновенном разливе.*

**Заключение.** В данном исследовании на примере Витебского и Полоцкого районов Витебской области рассмотрены почвы, испытывающие наибольшую техногенную нагрузку, и представлены прогностические расчеты площади загрязненной почвы различными видами нефтепродуктов. Результаты предлагаемой модели можно использовать в условиях быстрого реагирования при авариях.

## Potential Sources of Soil Carbohydrate Pollution in Vitebsk Region

N.A. Kovalevskaya\*, V.E. Savenok\*\*

\*Educational Establishment «Vitebsk State P.M. Masherov University»

\*\*Educational Establishment «Vitebsk State Technological University»

*At present more and more attention is paid to the study of carbohydrate pollution of the environment. Sources of the pollution are different but stationary sources of soil pollution are of special interest.*

*The present study aims at forecasting spatial spreading of oil and oil products in the areas of potential pollution objects location and, by means of mathematical modeling, detection of the degree of chemical soil pollution of technogenic landscapes*

**Material and methods.** The material of the study was soil in the spots of most technogenic load in the Cities of Vitebsk and Novopolotsk. The prognostic method to study the spread of oil carbohydrates in soil was applied.

**Findings and their discussion.** Data study on the spread of carbohydrates in soil was considered in spots of impact pollution – oil refineries, oil chemical plants, oil tanks, petrol stations, oil material warehouses, garages, railway depots. One-off discharges with accident free industries are scarce but with their constant impact, an area of stable pollution sets up.

*On the basis of the analyzed data, most frequently identified granule metric composition of soils were established: in Vitebsk District they are medium and light loamy soils (59,6%), in Polotsk District they are connected sandy (32,8%) and loose sandy soils (26,3%). The prevailing type of soils in Vitebsk and Polotsk Districts are sod podzolic boggy soils (68,4% u 71,5% correspondingly). The paper contains estimations of the area of oil product polluted soil of the studied districts taking into account granule metric composition. Specific area of the polluted soil depending on the type of the oil product with a single source and instant spill was identified.*

**Conclusion.** Vitebsk and Polotsk Districts of Vitebsk Region are considered as areas with soils of greatest technogenic load and prognostic estimations of the area of different type oil product polluted soils are presented in the paper. Findings of this model can be used in fast acting during accidents.

Уже несколько десятилетий вопрос углеводородного загрязнения окружающей среды остается одним из наиболее актуальных. Усилившееся техногенное давление ведет к активному загрязнению почвы, атмосферы, наземных и подземных вод. Существенную роль в загрязнении природных и техногенных ландшафтов в Республике Беларусь играют предприятия нефтеперерабатывающей и нефтехимической промышленности, нефтепроводы, нефтехранилища (нефтебазы), автотранспорт и транспорт, перевозящий нефтепродукты, предприятия железнодорожного транспорта (локомотивные и вагонные депо, ремонтные заводы и др.).

Согласно данным Локального мониторинга земель, в рамках Национальной системы мониторинга окружающей среды в Республике Беларусь, со стороны стационарных источников, основной вклад в загрязнение окружающей среды вносят выбросы углерода оксида и углеводородов. За период 2010–2014 гг. существенно увеличились выбросы углеводородов, а также выбросы неметановых летучих органических соединений и несколько снизились выбросы твердых частиц [1].

Причины загрязнения нефтью и нефтепродуктами могут быть различными, и даже при безаварийной работе промышленных комплексов происходят значительные выбросы в атмосферу и утечка вредных веществ.

Крупные предприятия, производящие широкий ассортимент нефтехимической продукции, выбрасывают в атмосферу и водоемы вредные вещества от 50 до 100 наименований [2]. Незначительные выбросы загрязняющих веществ происходят из-за расположения технологического оборудования на открытых площадках, неполной его герметизации и неудовлетворительной работы очистных сооружений. Кроме того, атмосферу загрязняют товарные химические продукты [3].

Большие выбросы нефти, нефтепродуктов и вредных веществ можно наблюдать при авариях на предприятиях переработки нефти и нефтехимических предприятиях. Главными причинами аварий являются износ основных производственных фондов и нарушения технологии производства, приводящие к значительным загрязнениям окружающей среды [2].

Особому техногенному давлению подвергается почвенный покров на территориях, где происходят систематические проливы или аварийные утечки углеводородов из следующих поверхностных источников: резервуаров, трубопроводов с различными видами нефтепродуктов, слив-

но-наливочных площадок и др. Почвенный профиль выступает в роли геохимического барьера, задерживая часть потока загрязняющих веществ и является своеобразным депонирующим компонентом, поглощая и накапливая токсичные выбросы.

Цель статьи – спрогнозировать пространственное распространение нефти и нефтепродуктов в местах расположения потенциальных загрязняющих объектов и с помощью математического моделирования определить степень химического загрязнения почв техногенных ландшафтов.

**Материал и методы.** Нами были рассмотрены две зоны наиболее вероятного локального загрязнения: Полоцкий и Витебский районы. Загрязнение почв в Полоцком районе вызвано выбросами нефтеперерабатывающего завода «Нафтан», завода «Полимир» ОАО «Нафтан», Новополоцкой и Полоцкой ТЭЦ. В Витебске поступление нефтепродуктов в окружающую среду в основном связано с транспортными системами, по причине несовершенных технологических операций, утечек, проливов и аварий. Также загрязняющие вещества попадают в почву от Витебской нефтебазы РУП «Витебск нефтепродукты», Витебской ТЭЦ, мазутохранилищ котельных «Южная» и «Северная». На основании анализа данных по типовой принадлежности почв в Витебской области преобладают дерново-подзолистые почвы на моренных глинах и суглинках (50%), дерново-подзолистые заболоченные преимущественно на глинах (10,6%) и дерново-подзолистые, местами эродированные, на лёссах, лёссовидных суглинках и супесях (9,8%).

Для изучения распространения углеводородов нефти в почве применялся прогностический метод исследования.

**Результаты и их обсуждение.** Согласно почвенно-географическому районированию исследуемая территория Витебской области относится к Поозерской провинции озерно-ледниковых, моренно-озерных и холмисто-моренно-озерных ландшафтов на дерново-подзолистых, часто заболоченных почвах [4–5].

Рассматриваемая зона локального загрязнения заводов «Нафтан» и «Полимир» расположена в Полоцком районе и согласно физико-географической характеристики – в центральной части Полоцкой низины. К юго-западной части Полоцкого района приурочены камово-моренно-озерные ландшафты, где наблюдается сочетание грядово-холмистых комплексов краевых морен и холмисто-волнистых моренных равнин. Северо-

**Гранулометрический состав почв, %**

Районы	Витебский	Полоцкий
Глинистые и тяжелосуглинистые	0,4	0,1
Средне- и легкосуглинистые	59,6	14,7
Связносупесчаные	27,5	32,8
Рыхлосупесчаные	6,5	26,3
Песчаные	3,5	20,3
Торфяные	2,4	5,7

Геологическое строение низины представлено толщей современных и верхнечетвертичных отложений. Рельеф – мелко- и плоско-волнистый, выровненный. Район характеризуется преобладанием дерново-подзолистых почв, развивающихся на пылевато-песчаных озерно-ледниковых супесях, подстилаемых чаще ленточными глинами, иногда песками. На территории района широко распространены 5 типов почв: дерново-подзолистые, дерново-подзолистые заболочиваемые, дерново-заболочиваемые, пойменные и болотные. Наличие водоупора способствует заболочиванию – более 60% почв района заболочено. По гранулометрическому составу в данном районе преобладают связносупесчаные (32,8%) и рыхлосупесчаные (26,3%) почвы (табл. 1).

Характерной особенностью дерново-подзолистых почв на озерно-ледниковых отложениях является горизонтальная тонкая слоистость, с преобладанием мелкого песка во фракционном составе. Почвы на озерно-ледниковых песках отличаются высокой водопроницаемостью, малой влагоемкостью. Во время снеготаяния и дождей почвенный профиль промывается на большую глубину. Генетические горизонты сильно растянуты.

Территория Витебского района расположена на Витебской возвышенности и Суражской низине. Рельеф представляет собой холмы и гряды, перемежающиеся с водно-ледниковыми и озерно-ледниковыми равнинами.

Витебская возвышенность относится к району Белорусско-Валдайской провинции. Это типичная холмисто-моренная возвышенность островного типа, окончательно оформленная в поозерское оледенение. В Витебской возвышенности выделяют северо-западный массив с грядово-холмистой поверхностью, центральную часть с крупно- и среднехолмистым рельефом и южную окраину с хорошо выраженным холмисто-увалистым рельефом. В пределах возвышенности наблюдаются многочисленные озерные котловины, ледниковые ложины, террасированные до-

лины рек бассейна Западной Двины. Вследствие неровностей рельефа происходит неодинаковое увлажнение и прогревание почвы. От рельефа местности теснейшим образом зависит водный режим почвы.

Территория Витебской области полностью относится к Северной (Прибалтийской) почвенной провинции, к Витебско-Лиезненскому району дерново-подзолистых пылевато-суглинистых и супесчаных почв. Почвообразующими породами являются моренные, водно-ледниковые, лёссовидные суглинки (60%), реже супеси (35%). Часты слабоэродированные и завалуненные почвы, до 30% почв заболочено, но мало торфяно-болотных почв (до 2%). Основными типами почв являются дерново-подзолистые полугидроморфные, дерново-подзолистые автоморфные, увлажненные и глееватые тяжело-суглинистые, дерново-болотные и торфяные, дерново-оподзоленные полугидроморфные. Остальные типы почв: супесчаные, песчаные, аллювиальные – занимают значительно меньшие площади. Преобладающими почвами по гранулометрическому составу в Витебском районе являются средне- и легкосуглинистые (59,6%) (табл. 1).

На основе работ S. Grimaz [6] был произведен оценочный прогностический расчет возможной площади загрязнения почв наиболее распространенными видами нефтепродуктов. Моделировался пролив различных объемов нефтепродуктов на ровную поверхность при условии быстрого реагирования на данную аварийную ситуацию.

Удельная площадь загрязненной почвы от точечного источника (т.е. отверстия) со средней скоростью потока за конечный промежуток времени рассчитывается по формуле

$$A_{pool} = 1,7715 \frac{q \cdot v}{g \cdot k_i \cdot k_r} \quad (1)$$

При мгновенном разливе нефти расчет производится согласно формуле

$$A_{pool} \cong 2,3782 \frac{Q^{4/5}}{(k_i \cdot k_r)^{1/5}}, \quad (2)$$

где  $A_{pool}$  – площадь бассейна нефти на поверхности почвы,  $m^2$ ;  $q$  – расход проливаемых нефтепродуктов,  $m^3/c$ ;  $Q$  – общее количество разлитой нефти,  $m^3$ ;  $\nu$  – кинематическая вязкость,  $m^2/c$ ;  $g$  – ускорение силы тяжести,  $m/c^2$ ;  $k_i$  – внутренняя проницаемость почвы,  $m^2$ ;  $k_r$  – поправочный коэффициент. В данную формулу вводим поправочный коэффициент, который будет учитывать коэффициент неровности поверхности  $k_u$ , так как поверхность не может быть идеально ровной. Получаем формулу

$$A_{pool} \cong \frac{2.3782 \cdot \frac{Q^{4/5}}{(k_i \cdot k_r)^{1/5}}}{k_u}. \quad (3)$$

Значение  $k_r$  зависит от насыщенности почвы водой [6], и для Витебского региона данный коэффициент будет равен 0,9. В данной работе проанализированы наиболее распространенные типы почв Витебского и Полоцкого районов исследования с различным гранулометрическим составом. На основании полученных данных о гранулометрическом составе был произведен модельный расчет площади загрязненных почв. В табл. 2 представлены данные расчета удельной площади загрязненной почвы различными нефтепродуктами, где  $q_1 = 1,66 \cdot 10^{-4} m^3/c$ ,  $q_2 = 2,78 \cdot 10^{-4} m^3/c$ ,  $q_3 = 3,89 \cdot 10^{-4} m^3/c$ ,  $q_4 = 5 \cdot 10^{-4} m^3/c$ ,  $q_5 = 5,56 \cdot 10^{-4} m^3/c$ .

Исходя из полученных данных, удельная площадь загрязнения наибольшая у глинистых и

тяжелосуглинистых почв, в связи с наименьшим значением коэффициента внутренней проницаемости, следовательно, степень загрязнения путем проникновения в нижележащие горизонты почвы будет наименьшей. Удельная площадь загрязнения у песчаных почв также будет наименьшей, а степень поступления нефтепродуктов в нижележащие слои почвы – наибольшей.

В зависимости от вида топлива наибольшая удельная площадь у мазута, а наименьшая – у бензина, что объясняется разностью кинематической вязкости нефтепродуктов. Наибольший показатель кинематической вязкости у мазута и составляет  $0,2 \cdot 10^{-2} m^2/c$ , наименьший у бензина –  $0,93 \cdot 10^{-6} m^2/c$ .

Проводя вычисления по формуле 3, рассчитали площадь, загрязненную нефтью, которая перекачивается по нефтепроводу, проходящему по территории Витебской области, с кинематической вязкостью  $0,4 \cdot 10^{-4} m^2/c$  при температуре  $25^\circ C$ .

Согласно анализу полученных данных о загрязнении почвы нефтью при мгновенном разливе также наблюдается наибольшее значение загрязненной площади у глинистых и тяжелосуглинистых почв, а наименьшая площадь загрязнения у песчаных почв, вне зависимости от объемов пролитой нефти.

Таблица 2

**Расчетные данные удельной площади почвы, загрязненной нефтепродуктами от единичного источника**

Параметры		Типы почв				
		Песчаные $k_i = 11,832 \cdot 10^{-12} m^2$	Супесчаные $k_i = 1,1832 \cdot 10^{-12} m^2$	Суглинистые $k_i = 0,1224 \cdot 10^{-12} m^2$	Глинистые и тяжело-суглинистые $k_i = 0,001224 \cdot 10^{-12} m^2$	
Нефтепродукты	Расход НП					
	Бензин $\nu = 0,93 \cdot 10^{-6} m^2/c$	$q_1$	$2,616 \cdot 10^{-4}$	$26,179 \cdot 10^{-4}$	0,0253	2,531
		$q_2$	$4,382 \cdot 10^{-4}$	$43,842 \cdot 10^{-4}$	0,0424	4,238
		$q_3$	$6,134 \cdot 10^{-4}$	$61,347 \cdot 10^{-4}$	0,0593	5,930
		$q_4$	$7,884 \cdot 10^{-4}$	$78,853 \cdot 10^{-4}$	0,0762	7,623
		$q_5$	$8,767 \cdot 10^{-4}$	$87,685 \cdot 10^{-4}$	0,0848	8,476
Дизельное топливо $\nu = 2,7 \cdot 10^{-6} m^2/c$		$q_1$	$7,599 \cdot 10^{-4}$	$76,004 \cdot 10^{-4}$	0,0735	7,347
		$q_2$	$12,728 \cdot 10^{-4}$	$127,285 \cdot 10^{-4}$	0,1230	12,304
		$q_3$	$17,810 \cdot 10^{-4}$	$178 \cdot 10^{-4}$	0,1721	17,217
		$q_4$	$22,893 \cdot 10^{-4}$	$228,93 \cdot 10^{-4}$	0,2213	22,130
		$q_5$	$25,456 \cdot 10^{-4}$	$254,571 \cdot 10^{-4}$	0,2461	24,609
Мазут		$q_1$	5 630	56 300	544 234,7	54 423 962
		$q_2$	9 428,4	94 285,7	911 429,3	91 143 744

$\nu = 0,2 \cdot 10^{-2} \text{ м}^2/\text{с}$	$q_3$	13 193	131 932,2	1 275 345,3	127 535 670
	$q_4$	16 957,8	169 578,6	1 639 261,4	163 927 590
	$q_5$	18 857	188 571	1 822 858,6	182 287 470

Таблица 3

**Площадь загрязнения при мгновенном разливе нефти**

Параметры	Типы почв			
	Песчаные $k_i = 11,832 \cdot 10^{-12} \text{ м}^2$	Супесчаные $k_i = 1,1832 \cdot 10^{-12} \text{ м}^2$	Суглинистые $k_i = 0,1224 \cdot 10^{-12} \text{ м}^2$	Глинистые и тяжело-суглинистые $k_i = 0,001224 \cdot 10^{-12} \text{ м}^2$
1	124,07	196,66	309,55	777,57
10	782,83	1240,84	1953,09	4906,14
20	1362,98	2160,42	3400,62	8542,08
30	1885,23	2988,21	4703,61	11815,09
40	2373,09	3761,51	5920,83	14872,63
50	2836,89	4496,66	7077,8	17779,35
60	3282,37	5202,62	8189,21	20570,63
70	3713,18	5885,62	9264,31	23271,14
80	4131,73	6549,17	10308,76	25894,76
90	4539,98	7196,28	11327,35	28453,38
100	4939,24	7829,14	12323,17	30955,63

Расчет площади загрязнения от единовременного источника и мгновенного разлива, согласно полученным результатам, показал, что один и тот же тип почвы неодинаково реагирует на пролив различных видов нефтепродуктов. И в то же время почвы с различным гранулометрическим составом также неоднозначно реагируют на одно и то же загрязнение нефтепродуктами.

**Заключение.** По результатам исследований было установлено, что определяющим фактором в степени загрязненности почв выступает их гранулометрический состав. По результатам проведенных расчетов было установлено, что с увеличением вязкости нефтепродуктов и увеличением связности почвы наблюдается увеличение площади загрязненной территории. Эта же закономерность прослеживается и в расчетах площади загрязнения при мгновенном разливе нефтепродуктов. Таким образом, в процессе моделирования и в ходе быстрого реагирования на аварийную ситуацию важное значение имеет не только вид пролитых нефтепродуктов, но и гранулометрический состав почвы с показателем увлажненности.

**ЛИТЕРАТУРА**

1. Национальная система мониторинга окружающей среды Республики Беларусь: результаты наблюдений, 2014 [Электронный ресурс] / под общ. ред. М.А. Ереско. – Минск: «Бел НИЦ «Экология», 2015. – Режим доступа: <http://www.ecoinfo.by/>. – Дата доступа: 20.01.2016.
2. Владимиров, В.А. Разливы нефти: причины, масштабы, последствия / Стратегия гражданской защиты: проблемы и исследования. – 2014. – Т. 4, № 1. – С. 217–229.

3. Белов, П.С. Экология производства химических продуктов из углеводородов нефти и газа: учебник для вузов / П.С. Белов, И.А. Голубева, С.А. Низова. – М.: Химия, 1991. – 256 с.
4. Клебанович, Н.В. География почв Беларуси: учеб. пособие / Н.В. Клебанович [и др.]. – Минск: БГУ, 2011. – 183 с.
5. Вавилова, И.И. Компьютерное моделирование техногенных воздействий на окружающую среду / И.И. Вавилова, И.В. Ревина // Омск. науч. вестн. Сер. Приборы, машины и технологии. – 2013. – № 2. – С. 287–290.
6. Fast prediction of the evolution of oil penetration into the soil immediately after an accidental spillage for rapid-response purposes / S. Grimaz [et al.] // Proceeding of 3rd International Conference on Safety and Environment in Process Industry, CISAP-3, Rome (I), 11–14 May 2008 / Chemical Engineering Transactions. – Rome, 2008. – Vol. 13. – P. 227–234.

**REFERENCES**

1. Yeresko M.A. *Natsionalnaya sistema monitoringa okruzhayushchei sredi Respubliki Belarus: rezultati nabludeniya* [National System of Environment Monitoring of the Republic of Belarus: Surveillance Findings], Minsk, BelNITs «Ekologiya», 2015, Available at: <http://www.ecoinfo.by/>. Accessed: 20.01.2016.
2. Vladimirov V.A. *Strategiya grazhdanskoi zashchiti: problemi i issledovaniya* [Strategy of Civil Protection: Issues and Researches], 2014, 4(1), pp. 217–229.
3. Belov P.S., Golubeva I.A., Nizova S.A. *Ekologiya proizvodstva khimicheskikh produktov iz uglevodorodov nefi i gaza: ucheb. dlia vuzov* [Ecology of Manufacture of Chemical Products from Oil and Gas Carbohydrates: University Textbook], M., Khimiya, 1991, 256 p.
4. Klebanovich N.V. *Geografiya pochv Belarusi: ucheb. posobiye* [Geography of Soils of Belarus: Manual], Minsk, BGU, 2011, 183 p.
5. Vavilova I.I., Revina I.V. *Omski nauchni vestnik. Ser. Pribori, mashini i tekhnologii* [Omsk Scientific Newsletter. Ser. Tools, Appliances and Technologies], 2013, 2, pp. 287–290.
6. Fast prediction of the evolution of oil penetration into the soil immediately after an accidental spillage for rapid-response purposes / S. Grimaz [et al.] // Proceeding of 3rd International Conference on Safety and Environment in Process Industry, CISAP-3, Rome (I), 11–14 May 2008 / Chemical Engineering Transactions. – Rome, 2008. – Vol. 13. – P. 227–234.