

## НАУКИ О ЗЕМЛЕ

УДК 55:502.4

Н.Н. Бракоренко, Т.Я. Емельянова

### КРИТЕРИИ ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ ОЦЕНКИ ГЕОЛОГИЧЕСКОЙ СРЕДЫ В СВЯЗИ С ВОЗДЕЙСТВИЕМ НЕФТЕПРОДУКТОВ

Приводится характеристика критериев экологической оценки устойчивости геологической среды г. Томска к влиянию нефтепродуктов. Обосновывается выбор главных критериев, дается их детальная характеристика, приводится балльная оценка как каждого критерия в частности, так и суммарная балльность для выявления роли критериев в определении степени воздействия на геологическую среду нефтепродуктов. Даны результаты типизации геологической среды по степени воздействия нефтепродуктов и карта территории г. Томска с распределением типов устойчивости и их характеристикой.

**Ключевые слова:** геологическая среда; нефтепродукты; взаимодействие; критерии оценки; типы устойчивости; балльная оценка; картирование.

Мировой опыт показывает, что при добыче, транспортировке и хранении нефти и нефтепродуктов (НП) их проливы на грунты и водные поверхности случаются достаточно часто. Наибольшие загрязнения НП грунтов и грунтовых вод в пределах урбанизированных территорий наблюдаются на нефтебазах, складах горюче-смазочных материалов (ГСМ), у автозаправочных станций (АЗС), вблизи дорог. Например, по данным [1], в грунтах территории Семикаракорской нефтебазы содержатся нефтепродукты в количестве более 1 г/кг. Линзы нефтепродуктов мощностью до 1–3 м на поверхности грунтовых вод и площадью до 0,35 км<sup>2</sup> выявлены на отдельных территориях предприятий в Иркутской области, Красноярском крае [2]. В Республике Хакасия в подземных водах четвертичных отложений концентрация НП достигает 39,7 мг/л [3]. На территории г. Томска функционируют 119 АЗС (на 2013 г.), что диктует необходимость оценки состояния геологической среды, меняющейся под воздействием нефтепродуктов. В этой связи представляемая нами работа, посвященная оценке устойчивости геологической среды к углеводородному загрязнению, является весьма актуальной. Изучением различных экологических проблем верхней части геологического разреза территории г. Томска мы занимались и ранее [4–6].

В основу оценки устойчивости геологической среды территории г. Томска положен алгоритм, предложенный Т.Г. Рященко [7], который базируется на учете типов строения геологической среды, а затем выявлении, оценке и прогнозе антропогенных изменений в этой конкретной системе. В соответствии с предложенной методикой нами была выполнена типизация грунтовых толщ территории г. Томска, которая впоследствии явилась основой для районирования территории по степени устойчивости геологической среды к углеводородному загрязнению.

В качестве основных показателей для типизации грунтовой толщи глубиной до 20 м взяты петрографический состав грунтов и их проницаемость. Картографирование типов грунтовых толщ выполнено нами на основе анализа карт инженерно-геологических

условий масштабов 1:25000 и 1:10000 г. Томска, геологических разрезов по большому количеству скважин. Анализ состава техногенных отложений мощностью до 3 м в характеристике типов не учитывался. Для территории г. Томска выделены 7 типов грунтовых толщ по составу и проницаемости грунтов (табл. 1).

Для оценки устойчивости геологической среды г. Томска к углеводородному загрязнению нами был использован подход, основанный на суммарном учете частных оценок показателей, предложенный в [8].

По мнению авторов, основным показателем, определяющим устойчивость геологической среды к воздействию нефтепродуктов в зоне аэрации и полного водонасыщения, является способность грунтов сорбировать и пропускать нефтепродукты [Там же]. При картировании устойчивости геологической среды к углеводородному загрязнению Ученые использовали следующие показатели: проницаемость песчаных пород; сорбционная способность глинистых грунтов; пороговые значения коэффициента фильтрации; гидрогеологические и геоморфологические условия.

В соответствии с особенностями геологической среды г. Томска (песчано-глинистый состав геологического разреза) и ее взаимодействия с нефтепродуктами мы несколько изменили показатели, предложенные в работе [8]. Нами в качестве основных показателей взяты: проницаемость грунтов в отношении НП; сорбционная способность грунтов; степень изменения состава, состояния и свойств грунтов при взаимодействии с НП; гидрогеологические и геоморфологические условия.

Проницаемость грунтов оценена по расчетам времени, затрачиваемого на инфильтрацию условно взятых 10 м<sup>3</sup> нефтепродуктов.

Оценка проводилась по методике В.А. Мироненко и В.Г. Румынина [9].

Эти расчеты проводились для реальных разрезов зоны аэрации, полученных по данным пробуренных скважин.

Расчетная формула имеет вид

$$t = \frac{\mu H_0}{k} \left[ \frac{m}{H_0} - \ln \left( 1 + \frac{m}{H_0} \right) \right], \quad (1)$$

где  $H_0$  – высота столба загрязнителя (условно принята 1 м), м;  $m$  – мощность зоны аэрации, м;  $k$  – коэффициент фильтрации пород зоны аэрации (м/сут) (взяты по Б.Н. Солониному [10]);  $\mu$  – недостаток насыщения, д.е.

Формула (1) в представленном виде используется для расчета времени инфильтрации через однородную по фильтрационным свойствам зону аэрации. Если зона аэрации, как это обычно бывает, имеет неоднородное строение, т.е. состоит из нескольких слоев пород различной литологии и, следовательно, разных фильтрационных свойств, то расчет времени фильтрации производится следующим образом. По формуле (1) находится время фильтрации ( $t_i$ ) через каждый

( $i$ -й слой) с учетом мощности и коэффициента фильтрации определяемого слоя и пористости. Общее время находится суммированием частных времен

$$t = \sum t_i. \quad (2)$$

В табл. 1 приведены данные и непосредственно расчеты времени инфильтрации.

Учитывая полученные выше результаты, по данному показателю нами выделены три градации (табл. 2).

**Сорбционная способность грунта.** В табл. 3 приводятся типичные данные по количеству сорбированных НП разных грунтов (по В.А. Королеву [11]).

Данный показатель оценивается максимально в 4 балла (табл. 4).

Т а б л и ц а 1

Сравнительная характеристика типов грунтовых толщ по времени инфильтрации

Номер типа толщ	Описание грунтовых толщ	Состав	Недостаток насыщения, $\mu$ , д.е	Коэф-фициент фильтрации, $k$ , м/сут	Мощность, $m$ , м	Время инфильтрации, $t$ , сут
1	Преимущественно глинисто-суглинистый разрез, мощностью 17–18 м подстилается песчаным грунтом	Суглинок	0,18	0,005	18	610,4
		Песок	0,27	1	2	0,2
2	Разрез представляет собой переслаивание суглинков, супесей	Суглинки	0,18	0,005	10	273,7
		Супесь	0,23	0,05	10	34,9
3	Двухслойная толща: суглинки мощностью 5–10 м, подстилается песчаным грунтом мощностью более 10 м	Суглинок	0,18	0,005	10	273,7
		Песок	0,27	1	10	2,1
4	Представлен суглинками (2–3 м) и песками (17 м)	Суглинок	0,18	0,005	3	58,1
		Песок	0,27	1	17	3,8
5	Разрез представлен техногенными грунтами мощностью 3–7 м, залегающими на суглинках, супесях с линзами торфа и гравийно-галечниковом грунте, переслаивающимися в разрезе		Н.д.	Н.д.	Н.д.	
6	Супесчано-песчаный разрез	Супесь	0,23	0,05	10	34,9
		Песок	0,27	1	10	2,1
7	Суглинок до 5 м залегает на скальных грунтах		Н.д.	Н.д.	Н.д.	

Примечание. Н.д. – нет данных

Т а б л и ц а 2

Ранжирование по проницаемости пород

Время инфильтрации, сут	Менее 100	100–300	Более 300
Балл	1	2	3

Т а б л и ц а 3

Способность грунтов сорбировать нефтепродукты

Грунт	Количество сорбированных НП, л/м <sup>3</sup>
Крупный гравий, валуны	–
Гравий, грубозернистый песок	8
Песок крупный – средний	15
Песок средний – мелкий	25
Песок глинистый – глины	40

Т а б л и ц а 4

Градация балльности по сорбционной способности пород

Объем сорбированных НП, л/м <sup>3</sup>	8	15	25	40
Балл	4	3	2	1

Эксперименты автора по изучению влияния НП на физико-механические свойства грунтов [12], а также данные, приведенные в работах [13, 14], показали, что наибольшему воздействию подвергаются глинистые грунты, чем песчаные разновидности. В этой связи данный показатель оценен нами максимум в 2 балла. Грунтовым толщам преимущественно глинисто-суглинистого состава присвоен 1 балл, грунтовым толщам супесчано-песчаного состава – 2 балла.

В табл. 5 приведена балльная оценка в совокупности двух показателей – *глубины залегания уровня грунтовых вод и геоморфологической приуроченности*.

Таким образом, для территории г. Томска на основе анализа ведущих показатели оценки устойчивости геологической среды и ее балльной оценки выделены геологические среды с высокой (10 и более баллов), средней (8–10) и низкой (менее 8) степенью устойчивости к углеводородному загрязнению (табл. 6).

На основе разработанной классификации составлена карта-схема (рис. 1). Содержание этой карты отражает распределение типов геологической среды с различной степенью устойчивости к углеводородному загрязнению.

Таблица 5

## Ранжирование по гидрогеологическим и геоморфологическим условиям пород

Геоморфологический элемент	Пойма	Вторая и третья надпойменные террасы	Водораздельная поверхность
Глубина залегания уровня подземных вод, м	6,1–10	8–12	25–30
Балл	1	2	3

Таблица 6

## Оценка устойчивости геологической среды к углеводородному загрязнению

Номер типа грунтовых толщ	Показатели оценки устойчивости геологической среды к углеводородному загрязнению				Сумма баллов	Степень устойчивости
	Время инфильтрации, сут	Количество сорбированных НП, л/м <sup>3</sup>	Степень изменения состава и свойств грунтов под воздействием нефтепродуктов	Геоморфологический элемент. Глубина залегания уровня подземных вод, м		
1	3	1	1	3	8	Средняя
2	3	1	1	3	8	
5	1	4	2	1	8	
3	2	2	1	2	7	Низкая
4	1	3	1	2	7	
6	1	3	2	2	7	
7	3	1	2	4	10	Высокая

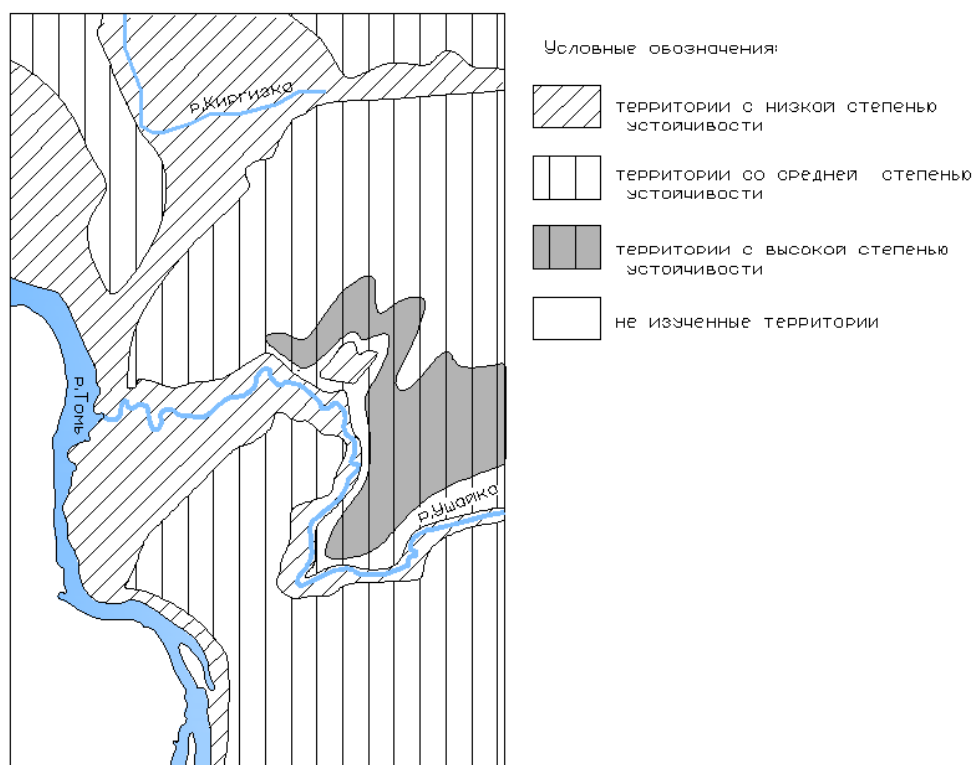


Рис. 1. Карта-схема прогноза устойчивости геологической среды г. Томска к углеводородному загрязнению

Таким образом, территории с низкой степенью устойчивости приурочены к современным отложениям пойм, первой, второй, третьей надпойменных террас рек Томь, Киргизка, Ушайка.

Разрез представлен суглинками небольшой мощности (5–10 м), супесью, песком, с высокой скоростью инфильтрации НП (менее 100 м/сут), средней сорбционной способностью (8–25 л/м<sup>3</sup>), с неглубоким залеганием уровня грунтовых вод (6–12 м), невысокой степенью изменения свойств. Территории со средней степенью устойчивости

приурочены к водоразделу. Преимущественно представлены глинисто-суглинистым разрезом, с низкой скоростью инфильтрации (более 300 м/сут), более глубоким, в сравнении с территориями низкой степени устойчивости, залеганием уровня грунтовых вод (25–30 м), высокой сорбционной способностью (более 40 л/м<sup>3</sup>), высокой степенью изменения свойств грунтов.

Территории с высокой степенью устойчивости представлены суглинком, глинами с лигнитами. Приурочены к выходам палеогеновых отложений.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Закруткин В.Е., Холодков Ю.И., Подольский А.Д. Экологические последствия эксплуатации нефтехранилищ в междуречье рек Дон и Сал // *Геоэкология. Инженерная геология. Гидрогеология. Геокриология*. 2007. № 6. С. 506–517.
2. Макушин Ю.В., Плевако Г.Л. и др. Оценка загрязнения подземных вод на территории СФО нефтепродуктами // *Разведка и охрана недр*. 2007. С. 45–48.
3. Наливайко Н.Г., Сыроватко Ю.С., Дутова Е.М., Покровский Д.С. Характеристика микробиологической составляющей подземных вод Республики Хакасия в условиях углеводородного загрязнения // *Вестник Томского государственного университета*. 2007. № 300. С. 190–194.
4. Dutova E.M., Nalivaiko N.G., Kuzevanov K.I., Kopylova J.G. The chemical and microbiological composition of urban groundwater, Tomsk, Russia // *Groundwater in the Urban Environment. Proceedings of the XXVIIth Congress IAH*. Nottingham, UK, 1998. Vol. 2. P. 125–130.
5. Pokrovskiy V., Pokrovskiy D., Dutova E., Nikitenkov A. THE RESEARCH Underflooding processes of architecture monuments on the territory of Tomsk with using gis- technology // *Science and technologies in geology, exploration and mining. 14th International multidisciplinary scientific geoconference sgem2014*. Albena, BULGARIA, 2014. Vol. 2. P. 935–941.
6. Pokrovsky V., Pokrovsky D., Dutova E., Nikitenkov A., Nazarov A. Degree of areal drainage assessment using digital elevation models // *IOP Conf. Ser.: Earth Environ. Sci.* 21 012018 doi:10.1088/1755-1315/21/1/012018. № 21. 2014.
7. Рященко Т.Г. Региональное грунтоведение (Восточная Сибирь). Иркутск : ИЗК СО РАН, 2010. 287 с.
8. Бондарик Г.К., Ярз Л.А. Инженерно-геологические изыскания. М. : Изд-во КДУ, 2007. 424 с.
9. Миرونенко В.А., Румынин В.Г. Проблемы гидрогеоэкологии. М. : Изд-во МГУ, 2002. Т. 1. 732 с.
10. Солонин Б.Н. Краткий справочник по проектированию и бурению скважин на воду. М. : Недра, 1983. 107 с.
11. Королев В.А. Очистка грунтов от загрязнений. М. : Наука ; Интерпериодика, 2001. 365 с.
12. Бракоренко Н.Н., Емельянова Т.Я. Влияние нефтепродуктов на петрографический состав и физико-механические свойства песчано-глинистых грунтов (на примере г. Томска) // *Вестник Томского государственного университета*. 2011. № 342. С. 197–201.
13. Effects of crude oil contamination on geotechnical properties of clayey and sandy soils // *Mashalah Khamehchiya, Amir Hossein Charkhab and Majid Tajik*. URL: <http://www.sciencedirect.com>
14. Effect of hydrocarbon pollution on the microbial properties of a sandy and a clay soil // *Valeria Labud, Carlos Garcia and Teresa Hernandez*. URL: <http://www.sciencedirect.com>

Статья представлена научной редакцией «Науки о Земле» 12 февраля 2015 г.

## CRITERIA FOR ECOLOGICAL ESTIMATION OF THE GEOLOGICAL ENVIRONMENT UNDER THE INFLUENCE OF OIL PRODUCTS

*Tomsk State University Journal*, 2015, 393, 213-217. DOI 10.17223/15617793/393/34

**Brakorenko Natal'ya N.** Tomsk Polytechnic University (Tomsk, Russian Federation). E-mail: [brakorenko@sibmail.com](mailto:brakorenko@sibmail.com)

**Yemelyanova Tamara Ya.** Tomsk Polytechnic University (Tomsk, Russian Federation). E-mail: [brakorenko@sibmail.com](mailto:brakorenko@sibmail.com)

**Keywords:** geological environment; oil products; interaction; criteria of an estimation; stability types; stability estimation; cartography.

The purpose of this work is to choose the main criteria for the estimation of sustainability of the geological environment to pollution by oil products. The purpose of this work is very important because the territory of Tomsk (for 2013) has 119 oil-stations and, as a result, we have a problem of estimation of the conditions of the geological environment change under the influence of oil products. A complex review of this problem, including identification and study of the factors defining the nature of pollution of the geological environment by oil products, is represented as very important. To estimate sustainability of the geological environment, the following algorithm was used: initially we classify types of the structure of the geological environment of the territory, and then identify, estimate and make forecast of changes in this system. As a result, we classify soils of the territory of Tomsk, which was subsequently used as a basis for territory division into districts by the degree of sustainability of the geological environment to oil product pollution. The main criteria for classifying soil with a thickness of ~20 m are the petrographic structure of soils and type of oil product distribution in them. The mapping of types of soil thicknesses is executed on the basis of the analysis of engineering-geological maps of Tomsk conditions of scales 1:25000 and 1:10000, geological data of a large number of wells and results of allocation of oil products in soil. The territory of Tomsk has seven types of soil thickness by the analysis of its structure and permeability. The analysis of the structure of technogenic deposits with thickness up to 3 meters was not considered in the classification of types. To estimate the stability of the geological environment of Tomsk to oil product pollution and its degree, we use an approach based on the total accounting of the estimated values of factors offered by G.K. Bondarik and V.T. Trofimov. We offer to understand "stability of geological environment" as the ability of components of the geological environment to resist external influences without transition to a new quality. Also we offer to use permeability of soil concerning oil products; sorption ability of soil; the scale of the change of structure, condition and properties of soil at interaction with oil products; hydrogeological and geomorphological conditions as major factors for estimation of the stability of the geological environment. Thus, on basis of the considered factors, we define three types of the geological environment for the territory of Tomsk with high, average and low degrees of stability to pollution by oil products. On the basis of the developed classification the schematic map was made. The content of this map reflects the distribution of types of natural and technical systems with various degrees of stability to pollution by oil products.

## REFERENCES

1. Zakrutkin V.E., Kholodkov Yu.I., Podol'skiy A.D. Environmental consequences of oil storage operation in the interfluvial area between Don and Sal rivers. *Geoekologiya. Inzhenernaya geologiya. Gidrogeologiya. Geokriologiya – Environmental Geoscience. Engineering geology. Hydrogeology. Geocryology*, 2007, no. 6, pp. 506–517. (In Russian).
2. Makushin Yu.V., Plevako G.L. i dr. Otsenka zagryazneniya podzemnykh vod na territorii SFO nefteproduktami [Estimation of groundwater pollution in the territory of the Siberian Federal District]. *Razvedka i okhrana nedr – Prospect and Protection of Mineral Resources*, 2007, pp. 45–48.
3. Nalivaiko N.G., Syrovatko Yu.S., Dutova E.M., Pokrovskiy D.S. Kharakteristika mikrobiologicheskoy sostavlyayushchey podzemnykh vod Respubliki Khakasiiya v usloviyakh uglevodorodnogo zagryazneniya [Characteristics of the microbiological

- component of groundwater in the Republic of Khakassia in hydrocarbon pollution conditions]. *Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo universiteta – Tomsk State University Journal*, 2007, no. 300, pp. 190–194.
4. Dutova E.M., Nalivaiko N.G., Kuzevanov K.I., Kopylova J.G. The chemical and microbiological composition of urban groundwater, Tomsk, Russia. *Groundwater in the Urban Environment. Proceedings of the XXVIIIth Congress IAH*. Nottingham, UK, 1998. Vol. 2, pp. 125–130.
  5. Pokrovskiy V., Pokrovskiy D., Dutova E., Nikitenkov A. The Research Underflooding Processes of Architecture Monuments On The Territory of Tomsk With Using GIS- technology. *Science and Technologies in Geology, Exploration and Mining. 14th International Multidisciplinary Scientific Geoconference SGEM2014*. Albena, Bulgaria, 2014. Vol. 2, pp. 935–941.
  6. Pokrovsky V., Pokrovsky D., Dutova E., Nikitenkov A., Nazarov A. Degree of areal drainage assessment using digital elevation models. *IOP Conf. Ser.: Earth Environ. Sci.*, 2014, 21, pp. 012–018. DOI:10.1088/1755-1315/21/1/012018
  7. Ryashchenko T.G. *Regional'noe gruntovedenie (Vostochnaya Sibir')* [Regional soil studies (Eastern Siberia)]. Irkutsk: IZK SO RAN Publ., 2010. 287 p.
  8. Bondarik G.K., Yarg L.A. *Inzhenerno-geologicheskie izyskaniya* [Engineering and geological exploration]. Moscow: Izd-vo KDU Publ., 2007. 424 p.
  9. Mironenko V.A., Rumynin V.G. *Problemy gidrogeoeologii* [Hydrogeoecology problems]. Moscow: Moscow State University Publ., 2002. Vol. 1. 732 p.
  10. Solonin B.N. *Kratkiy spravochnik po proektirovaniyu i bureniyu skvazhin na vodu* [A brief reference for the design and drilling of water wells]. Moscow: Nedra Publ., 1983. 107 p.
  11. Korolev V.A. *Ochistka gruntov ot zagryazneniy* [Removing contamination from soil]. Moscow: Nauka / Interperiodika Publ., 2001. 365 p.
  12. Brakorenko N.N., Emel'yanova T.Ya. Impact of oil products on spectrographic composition and physical-mechanical properties of sand-clay soils (by example of Tomsk). *Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo universiteta – Tomsk State University Journal*, 2011, no. 342, pp. 197–201. (In Russian).
  13. Mashalah Khamehchiya, Amir Hossein Charkhab, Majid Tajik. Effects of crude oil contamination on geotechnical properties of clayey and sandy soils. *Engineering Geology*, 2007, vol. 89, is. 3–4, pp. 220–229. DOI: 10.1016/j.enggeo.2006.10.009
  14. Labud V., Garcia C., Hernandez T. Effect of hydrocarbon pollution on the microbial properties of a sandy and a clay soil. *Chemosphere*, 2007, vol. 66, is. 10, pp. 1863–1871. DOI: 10.1016/j.chemosphere.2006.08.021

Received: 12 February 2015