

**Р.Э.ДАШКО**, *д-р геол.-минерал. наук, профессор, regda2002@mail.ru*  
**А.В.ШИДЛОВСКАЯ**, *канд. геол.-минерал. наук, доцент, shidanna@bk.ru*  
*Национальный минерально-сырьевой университет «Горный», Санкт-Петербург*

**R.E.DASHKO**, *Dr. in geol. & min. sc., professor, regda2002@mail.ru*  
**A.V.SHIDLOVSKAYA**, *PhD. in geol. & min. sc., associate professor, shidanna@bk.ru*  
*National Mineral Resources University (University of Mines), Saint Petersburg*

## **БИОТИЧЕСКАЯ И АБИОТИЧЕСКАЯ КОМПОНЕНТЫ В ПОДЗЕМНОЙ СРЕДЕ: ИХ ГЕНЕЗИС И ВЛИЯНИЕ НА СОСТОЯНИЕ И СВОЙСТВА ПЕСЧАНЫХ ОТЛОЖЕНИЙ**

Рассмотрено влияние биотической и абиотической компоненты в подземном пространстве на формирование и изменение состояния и свойств песчаных отложений под воздействием торфов, загрязнения за счет утечек из систем водоотведения и некоторых промышленных предприятий. Экспериментально исследованы закономерности снижения плотности, водопроницаемости и прочности песков в зависимости от содержания хорошо разложившегося торфа. Показано, что органическая составляющая биотического генезиса оказывает резко выраженное негативное воздействие на проницаемость и механические свойства водонасыщенных песков, вплоть до их перехода в состояние плывунов. На основе полученных результатов необходимо совершенствовать существующие территориальные строительные нормы для Санкт-Петербурга.

**Ключевые слова:** биотическая и абиотическая компоненты, подземная среда, песчаные отложения, торф, гумус, природная и техногенная органика, канализационные стоки, микробиота, физико-механические свойства, водопроницаемость.

## **BIOTIC AND ABIOTIC COMPONENTS IN UNDERGROUND SPACE: GENESIS AND EFFECT ON CONDITION AND PROPERTIES OF SANDY SOILS**

The study presents influence biotic and abiotic components in underground space on formation and changes of sandy soils conditions and properties under peat, contamination of leaking sewages and some industrial enterprises. The regularities of decreasing of density, water permeability and shear strength of sand due to good disintegrated peat by experimental are analyzed. The organic component of biotic genesis leading to extremely negative effect on permeability and mechanical properties of water saturated sands till to quicksands is shown. The local constructional norms for Saint-Petersburg on the base of getting results should be modernized.

**Key words:** biotic and abiotic components, underground space, sandy soils, peat, humus, natural and technogenic organics, sewages, microbiota, physical and mechanical properties, water permeability.

Актуальность данной проблемы для Санкт-Петербурга связана с широким распространением в верхней части разреза песков различного генезиса с содержанием абиогенного органического вещества и микробной массы природного и техногенного генезиса. Территория, которую в настоящее

время занимает мегаполис, характеризовалась широким развитием и наличием болот различных типов – от преобладающих низинных до верховых и смешанных. В ходе инженерной подготовки районов, занятых болотными массивами, производилось захоронение торфов под толщей техногенных

образований, либо снятие органогенных отложений малой мощности (до 2 м). Погребенные торфяные болота рассматриваются как основной источник обогащения подстилающих дисперсных пород, прежде всего песков, органическими компонентами биотического и абиотического генезиса при нисходящем перетекании болотных вод [3, 4].

Наиболее значительное и негативное влияние торфа оказывают на подстилающие породы, что выражается в существенном ухудшении их состояния и свойств, которое сохраняется при удалении болотных отложений. В толще песчано-глинистых грунтов под болотными образованиями фиксируется восстановительная среда – значения окислительно-восстановительного потенциала снижаются до отрицательных значений, достигающих –120 мВ. При нисходящей фильтрации болотных вод, содержащих тонкодисперсные фракции абиотического происхождения, а также клетки микроорганизмов и продукты их метаболизма, которые сорбируются подстилающими песками в процессе механического и биологического поглощения абиогенной и биогенной составляющей, происходит коренное изменение состояния и свойств дисперсных грунтов [1].

Тонкие неорганические взвеси и органическая компонента образуют коллоидно-глинистые рубашки и биопленки на зернах песка, что способствует значительному снижению их проницаемости на два-три порядка по сравнению с первоначальным значением коэффициента фильтрации. Живые и мертвые клетки микроорганизмов, а также продукты их метаболизма не только сорбируются на дисперсных частицах, но и заполняют поровое пространство. Изменение фильтрационной способности песков вызывает формирование застойного гидродинамического режима водоносных горизонтов, в условиях которого при наличии большого количества питательных и энергетических субстратов обычно наблюдается активизация микробиологической деятельности [2].

Присутствие в грунтах техногенной органики биогенного и абиогенного генезиса,

в том числе микроорганизмов, связано с утечками из систем водоотведения, стоков промышленного производства (целлюлозной, металлургической, химической, нефтехимической переработки, пищевой промышленности и др.), жидкой фазы из свалок хозяйственно-бытовых отходов, инфильтрацией нефтяных углеводородов и т.д. Наиболее существенную роль в негативной трансформации состояния и физико-механических свойств песков играют утечки из систем водоотведения неглубокого заложения.

В составе коллоидных и растворенных веществ сточных канализационных вод фиксируются белки, жиры и углеводы, среди неорганических в том или ином количестве отмечаются гидрокарбонаты, соединения серы, фосфора, азота, сульфаты, хлориды, железо, калий, натрий, магний и кальций. Содержание органических веществ в канализационных стоках составляет 58 %, минеральных – 42 %, 1 мл фекальных стоков содержит  $10^7$ - $10^8$  бактериальных клеток, присутствуют также грибные культуры и микроскопические водоросли.

Накоплению в грунтах биогенной органики за счет микробной массы живых и мертвых клеток, а также продуктов жизнедеятельности микробиоты отводится особая роль в формировании свойств песчано-глинистых грунтов. Наши исследования, которые проводились еще в конце 20 в показали, что даже незначительное содержание микробной массы, составляющее десятки и сотни мкг/г породы ( $n \cdot 10^{-3}$ - $n \cdot 10^{-2}$  %), негативно воздействует на проницаемость, прочность и деформационную способность пораженных песчаных отложений [4].

Вместе с тем, как показывает практика инженерно-геологических исследований, влиянию содержания органического вещества на состояние, физические, водные и механические свойства дисперсных грунтов не уделяется должного внимания. По относительному содержанию абиогенного органического вещества растительного происхождения, согласно актуализированной версии ГОСТ 25100-95 «Грунты. Классификация», песчаные и глинистые грунты подразделяются на группы (табл.1).

Таблица 1

Разновидности глинистых грунтов и песков по относительному содержанию органического вещества (актуализированный ГОСТ 25100-95, вторая редакция)

Грунт	Относительное содержание органического вещества $I_r$ , д.е.	
	в песках	в глинистых грунтах
С примесью торфа	$0,03 \leq I_r \leq 0,10$	$0,05 < I_r \leq 0,10$
Слабозаторфованный	$0,10 < I_r \leq 0,25$	
Среднезаторфованный	$0,25 < I_r \leq 0,40$	
Сильнозаторфованный	$0,40 < I_r < 0,50$	
Торф	$I_r \geq 0,50$	

Ограничение классификационных признаков для песков с содержанием органического вещества 3 % и для глинистых грунтов – 5 %, свидетельствует об отсутствии влияния меньших содержаний органической компоненты на состояние и свойства дисперсных грунтов. Однако, как показывают результаты целенаправленных исследований, воздействие малого содержания органического вещества природного и техногенного происхождения заметно влияет на состояние и показатели физических, водных и механических свойств песчано-глинистых отложений.

Лабораторные эксперименты по внесению хорошо разложившегося торфа в тонко-, мелко- и среднезернистые пески в количестве 0,5; 1; 2 и 3 %, показали снижение величины плотности скелета с ростом содержания органики (рис. 1).

Количество органического вещества определяет гидрофильность песчаных грун-

тов и соответственно их в одоудерживающую способность, что также отражается на увеличении естественной влажности, максимальной молекулярной влагоемкости и снижении водоотдачи до нулевых значений. Такие существенные преобразования связаны с тем, что хорошо разложившейся торф при малой зольности содержит фракции размером менее 1 мкм, которые имеют высокую удельную поверхность, резко повышающую гидрофильность песков. Кроме того, наблюдается рост общего значения пористости, с одной стороны, и уменьшение абсолютного размера пор с другой, что сказывается на фильтрационной способности песков с органическим веществом даже при относительно невысоких его значениях.

Повышение содержания органического вещества от 0 до 3 % определяет снижение значений коэффициентов фильтрации, составляющих соответственно 3 и 1,8 м/сут для средне- и мелкозернистых песков соответственно, когда как при отсутствии в них органики коэффициенты фильтрации составили 10 и 8 м/сут (рис. 2).

Наименьшее снижение водопроницаемости при увеличении органического вещества зафиксировано в тонкозернистых песках (уменьшение коэффициента фильтрации  $K_f$  в 2,2 раза), наибольшее (почти в 5 раз) зафиксировано в среднезернистых песках. Заметное снижение в 1,7-2,3 раза коэффициента фильтрации для мелко- и среднезернистых песков наблюдается при содержании органического вещества в пределах 0,5-1 % соответственно.

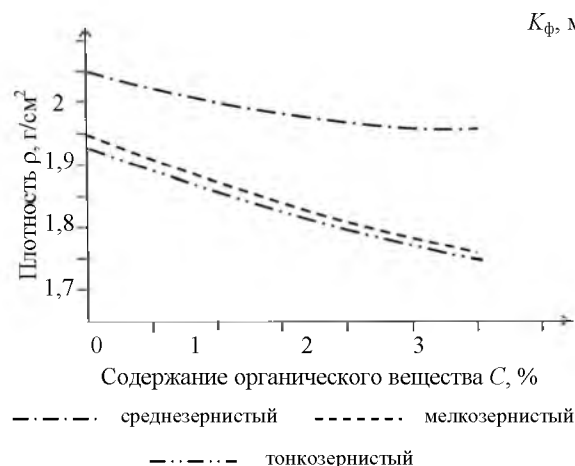


Рис. 1. Характер изменения плотности скелета  $\rho_{ск}$  в зависимости от содержания органического вещества  $C$  для песков различного гранулометрического состава

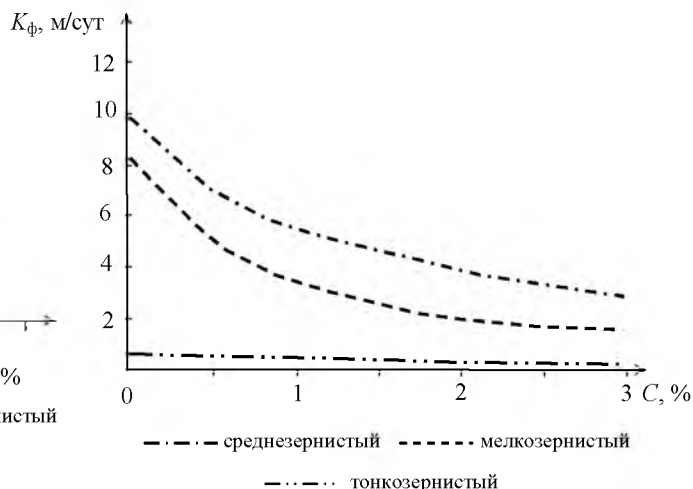


Рис. 2. Характер изменения коэффициента фильтрации  $K_f$  песков от содержания органики  $C$

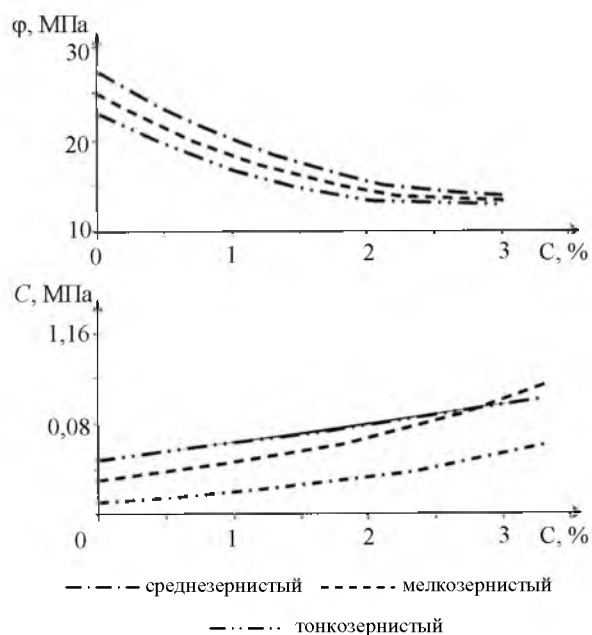


Рис.3. Характер изменения сцепления и угла внутреннего трения песков различного гранулометрического состава в зависимости от содержания органического вещества

Снижение водопроницаемости в зависимости от содержания органической составляющей может быть аппроксимировано следующей зависимостью:

$$K_c = K_0 \exp[(-M \cdot C)],$$

где  $K_c$  – коэффициент фильтрации песка, м/сут отвечает содержанию органического вещества  $C$ , д.е.;  $K_0$  – коэффициент фильтрации песка при отсутствии органического ве-

щества, м/сут;  $M$  – эмпирический коэффициент, зависящий от гранулометрического состава песка и составляющий 85, 60 и 31 соответственно для средне-, мелко- и тонкозернистых песков.

Наличие хорошо разложившегося органического вещества в песках приводит к появлению связности и снижению угла внутреннего трения между частицами песка, переходу песка из категории несвязных отложений в категорию связных грунтов. В среднезернистых песках угол внутреннего трения ( $\phi$ ) снижается в 2,2 раза, в мелко- и тонкозернистых – в 1,9 и 1,8 раза соответственно по сравнению с величиной  $\phi$  для песков того же состава, не содержащих органику. Мелко- и тонкозернистые пески характеризуются близкими значениями  $\phi$  поскольку величины их удельной поверхности сопоставимы. В тонкозернистых песках сцепление за счет содержания торфа увеличивается в 1,7 раза, в мелкозернистых – в 3,15 раза и в 5,25 раз – в среднезернистых песках (рис.3).

С ростом содержания органического вещества отмечается постепенное снижение модуля общей деформации  $E_0$  для песков различного гранулометрического состава, полученное по результатам компрессионных испытаний, что связано с уменьшением плотности песков и развитием пластических деформаций (табл.2).

Таблица 2

Изменение величины модуля общей деформации песков в зависимости от содержания органического вещества

№ п/п	Название породы	Содержание торфа, %	Модуль общей деформации в интервале давлений, МПа				Начальные значения влажности $W_n$ (%) и плотности $\rho_n$ (г/см <sup>3</sup> ) испытываемых песков
			0-0,05	0,05-0,10	0,10-0,20	0,20-0,30	
1	Песок среднезернистый	0	8,33	–	16,67	20,0	$W_n = 15$ ; $\rho_n = 1,90$
2		1	3,85	–	14,28	16,67	$W_n = 15$ ; $\rho_n = 1,89$
3		2	3,57	–	13,33	16,67	$W_n = 15$ ; $\rho_n = 1,87$
4		3	3,23	–	13,33	14,28	$W_n = 15$ ; $\rho_n = 1,81$
5	Песок мелкозернистый	0	8,93	14,7	16,67	25,0	$W_n = 15$ ; $\rho_n = 1,68$
6		0,5	7,35	9,62	12,5	14,3	$W_n = 15$ ; $\rho_n = 1,62$
7		1	5,43	5,68	7,70	14,3	$W_n = 15$ ; $\rho_n = 1,60$
8		2	3,52	5,81	7,70	12,5	$W_n = 15$ ; $\rho_n = 1,63$
9		3	1,92	4,39	6,25	–	$W_n = 15$ ; $\rho_n = 1,58$
10	Песок тонкозернистый	0	12,5	12,5	20,0	–	$W_n = 15$ ; $\rho_n = 1,51$
11		0,5	7,14	9,10	9,52	–	$W_n = 15$ ; $\rho_n = 1,53$
12		1	3,33	4,0	7,41	–	$W_n = 15$ ; $\rho_n = 1,44$
13		2	2,70	3,33	5,26	–	$W_n = 15$ ; $\rho_n = 1,40$

В интервале 0-0,05 МПа модуль общей деформации среднезернистого песка снизился в 3 раза, в интервале 0,10-0,20 МПа – в 1,3 раза, в интервале 0,20-0,30 МПа – в 1,4 раза. В мелко- и тонкозернистых песках модуль общей деформации снижается в 2-3 и в 3-5 раз в аналогичных интервалах давления.

Под действием канализационных стоков прослеживается четкая тенденция к снижению показателей прочности и водопроницаемости песков разного гранулометрического состава в несколько раз по сравнению с теми же песками, но содержащими только природное органическое вещество (хорошо разложившейся торф). Коэффициент фильтрации составил 1,75 и 1,15 м/сут для средне- и мелкозернистых песков соответственно, угол внутреннего трения снизился в 2 раза при небольшом возрастании сцепления. Полученные закономерности изменения параметров свойств песков находят свое подтверждение на различных объектах исследований в историческом центре Санкт-Петербурга.

В результате экспериментов со среднезернистыми песками зоны интенсивного загрязнения в историческом центре города, удалось установить, что повышение величины бактериальной массы (БМ), определенной по величине микробного белка живых и мертвых клеток микроорганизмов, а также продуктов и их метаболизма выше 100 мкг/г ( $10^{-2}$  %) способствует максимальному снижению коэффициента фильтрации песков до значений, сопоставимых с проницаемостью глинистых пород. С ростом содержания бактериальной массы, величина коэффициента фильтрации убывает по экспоненциальной зависимости и при значениях БМ выше 50-60 мкг/г пески имеют коэффициент фильтрации менее 0,01 м/сут. После удаления биомассы при низкотемпературном прокаливании Кф возрастает до 4-25 м/сут, что соответствует гранулометрическому составу мелко- и среднезернистых песков.

Подобные эксперименты по влиянию загрязнения органическими и неорганическими поллютантами стоков на изменение коэффициента фильтрации песков проводились в основании пивоваренного завода

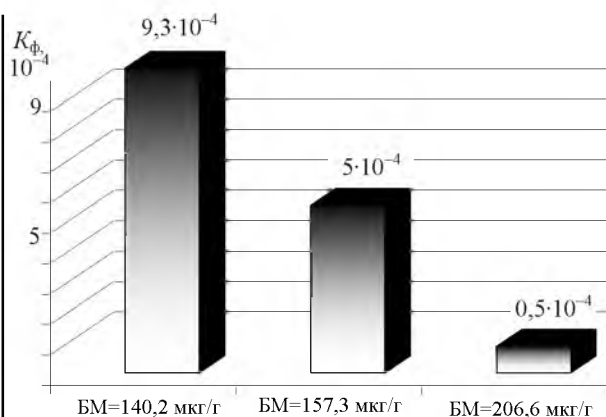


Рис.4. Изменение коэффициента фильтрации мелко- и среднезернистых песков в основании цеха пивоваренного завода «Балтика» в зависимости от величины бактериальной массы (БМ)

«Балтика». На этом предприятии сточные воды в жидкой фазе содержат дрожжевые культуры и углеводы, что определяет высокие величины ХПК и БПК<sub>5</sub>, которые составили соответственно 1498 мгО<sub>2</sub>/л и 713 мгО<sub>2</sub>/л. Экспериментально определенные величины коэффициента фильтрации мелкозернистых песков варьировали в зависимости от содержания БМ (рис.4). При увеличении количества бактериальной массы почти в 1,5 раза, коэффициент фильтрации снизился на порядок.

Проведенные исследования по изучению влияния биотической и абиотической компоненты на состояние и свойства песчаных отложений показывают, что необходимо учитывать наличие в песках даже незначительного содержания органики, которая негативно влияет на физико-механические и водные свойства песков, при этом особое внимание следует уделить содержанию биотической компоненты. Наличие в разрезе торфов и заторфованных грунтов определяет специфику расчета несущей способности свай и свайных фундаментов, при котором необходимо учитывать не только отрицательное либо нулевое трение в пределах торфа и перекрывающих его образований, но и негативную трансформацию песчаных пород под торфами за счет их обогащения органическими компонентами биотического и абиотического генезиса, прежде всего тонкодисперсными частицами, микроорганизмами и продуктами их метаболизма, которые часто переводят

пески в плавунное состояние. Полученные данные предлагается использовать при совершенствовании существующих нормативных документов на проведение комплексных инженерно-геологических исследований при изучении подземного пространства Санкт-Петербурга и регионов с аналогичными инженерно-геологическими условиями.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Дашко Р.Э. Микробиота в геологической среде: ее роль и последствия // Сергеевские чтения. Материалы годичной сессии Научного совета РАН по проблемам геоэкологии, инженерной геологии и гидрогеологии. М., 2000. С.72-77.
2. Дашко Р.Э. Роль микробиоты в инженерной геологии и геоэкологии: история вопроса и результаты экспериментальных исследований / О.Ю.Александрова, А.В.Шидловская // Сергеевские чтения: Материалы годичной сессии Научного совета РАН по проблемам геоэкологии, инженерной геологии и гидрогеологии, М., 2004. Вып.6. С.48-52.

3. Дубах А.Д. Специфичность болот // Почвоведение, 1941. № 2. С.3-12.

4. Dashko R.E. Environmental problems in geotechnics / Proc. of the International Geotechnical Conference, dedicated to the tercentenary. Saint Petersburg, 2003. Vol.1, P.95-106.

#### REFERENCES

1. Dashko R.E. Microbiota in geological matter: its role and consequences // Sergeevskiyi chteniya. The materials of annual session of Science council of Russian Academy of Science on problems of geoenvironmental, engineering geology and hydrogeology. Moscow, 2000. P.72-77.

2. Dashko R.E. The role of microbiota in engineering geology and geoecology: the history and results of experimental researches / Aleksandrova O.Yu., Shidlovskaya A.V. Sergeevskiyi chteniya. The materials of annual session of Science council of Russian Academy of Science on problems of geoenvironmental, engineering geology and hydrogeology. Moscow, 2004. Vol.6. P.48-52.

3. Dubah A.D. The specify of swamp // Pochvovedeniye. 1941. Vol.2. P.3-12.

4. Dashko R.E. Environmental problems in geotechnics / Proc. of the International Geotechnical Conference, dedicated to the tercentenary. Saint Petersburg, 2003. Vol.1, P.95-106.