

УДК 624.131:551.312

## ВЛИЯНИЕ АКТИВНОСТИ И ЧИСЛЕННОСТИ МИКРООРГАНИЗМОВ НА ПРОЧНОСТНЫЕ СВОЙСТВА ПЕСЧАНЫХ ГРУНТОВ МОСКОВСКОГО РЕГИОНА

© 2015 г. П. В. Иванов\*, Н. А. Манучарова\*\*, А. Д. Сафиуллина\*

\* *Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова, геологический факультет, Ленинские горы, Москва, 119992 Россия. E-mail: pvivanov@yandex.ru*\*\* *Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова, факультет почвоведения, Ленинские горы, Москва, 119992 Россия. E-mail: manucharova@mail.ru*

Поступила в редакцию 03.04.2014 г.

Рассматривается изменение параметров прочностных свойств песчаных грунтов в ходе микробной сукцессии, вызванной однократным увлажнением раствором глюкозы. Показано изменение биомассы бактерий, актиномицет и микрогрибов. На основании определения эмиссии углекислого газа оценены активность микробиологических процессов в грунтах и их влияние на показатели прочностных свойств песчаных грунтов. Максимальные значения активности и биомассы микроорганизмов наблюдаются на 7–9 сутки сукцессии, отмечены увеличение сцепления и уменьшение угла внутреннего трения у всех грунтов. Для образца техногенного грунта сцепление увеличивается, а угол внутреннего трения уменьшается на всем протяжении сукцессии.

**Ключевые слова:** *песчаные грунты, микроорганизмы, прочностные свойства, микробиологические процессы.*

### ВВЕДЕНИЕ

#### *Численность микроорганизмов в грунтах*

В современном грунтоведении микроорганизмы признаны важной составляющей грунтов. Суммарное количество микробиоты в различных грунтах меняется в широких пределах. Живые организмы могут находиться в грунте на поверхности твердых частиц, в поровом растворе, в порах, трещинах, кавернах и пустотах [3]. При этом некоторые исследования отмечают, что на поверхности минеральных частиц находится в среднем в 100 раз больше клеток (в пересчете на 1 г грунта), чем в поровой жидкости. Наибольшая концентрация клеток наблюдается на органических включениях (в частности, на растительных остатках) [11].

Наибольшая численность микроорганизмов зафиксирована в верхних 10–15 см грунтового массива (в почвах). Так, в среднем в 1 г почвы содержится  $10^5$ – $10^9$  клеток бактерий, около  $10^3$ – $10^6$  клеток низших грибов и актиномицетов,  $10^3$ – $10^4$  клеток низших водорослей и  $10^2$ – $10^3$  клеток простейших. Суммарная площадь внешней поверхности этих микроорганизмов достигает огромной величины, в

результате чего они и оказывают сильное влияние на состав и свойства грунтов [3].

Данные по численности микроорганизмов в грунтах ограничены и не систематизированы. Например, существуют исследования, показывающие, что в верхних горизонтах лессовых грунтов на территории г. Ростова-на-Дону общая численность микроорганизмов достигает 3.0 млн клеток на 1 г грунта. По мере увеличения глубины залегания грунтов численность микроорганизмов закономерно сокращается и достигает не более 500 тыс. клеток на 1 г грунта [10].

Немецкими исследователями изучалась численность микроорганизмов в песчаных грунтах в районе г. Бохольта, Германия. Было установлено, что в песчаных грунтах содержится порядка  $10^8$  клеток бактерий на 1 г грунта практически вне зависимости от глубины отбора образца. При этом количество метаболически активных клеток в 10–100 раз меньше и резко сокращается с глубиной в верхних 5 м разреза (примерно в 10 раз), затем до изученной глубины (35 м) изменяется слабо [11].

Несмотря на в целом незначительную численность микроорганизмов в относительно глубоких

горизонтах грунтовых массивов (по сравнению с почвами), их чрезвычайное разнообразие, распространенность, высокая активность и большое количество биогеохимических реакций [6] способствуют тому, что микробиота становится существенным агентом в формировании и изменении состава, строения и свойств грунтов.

### ***Преобразование грунтов под влиянием микробиологических процессов***

Начиная с конца XIX в. микроорганизмы широко изучаются в почвоведении, тогда как исследования их роли в формировании свойств грунтов в инженерной геологии, по сути, впервые были проведены только в 1970-х годах. В работах В.В. Радиной [8], Е.М. Сергеева и И.Н. Болотиной [9], С.Е. Горина и П.Э. Роота [2] и других исследователей подчеркнута актуальность изучения влияния микроорганизмов на состав, строение и свойства грунтов.

Механизмы преобразования состава, строения и свойств грунтов весьма сложны и разнообразны. Под воздействием функциональных комплексов микробов в грунтах протекают противоположные процессы. Клетки адсорбируются на поверхности минеральных частиц грунта и с помощью различных механизмов (ферментативное разрушение или деструкция с помощью слизи) извлекают химические элементы из кристаллической решетки минералов и межслоевых пространств алюмосиликатов. При этом часть ионов иммобилизуется в живых клетках, а многие элементы и соединения переходят в поровый раствор. Агрессивны к компонентам грунта также многие продукты метаболизма микроорганизмов (полисахариды, органические кислоты, спирты и др. органические соединения). В результате потребления вынесенных элементов и разложения вещества отмерших клеток могут формироваться новые биогенные минералы [1]. Преобразование кристаллических решеток и межслоевых пространств глинистых минералов приводит к перераспределению набухающих и ненабухающих пакетов, что, в свою очередь, сказывается на строении и свойствах грунтов.

Адсорбция клеток на поверхности частиц приводит к возникновению специфических биогенных структурных связей, что приводит к агрегации грунта [3]. Этому способствуют также “склеивание” компонентов системы органическими слизеподобными продуктами метаболизма и их “спутывание” мицелием актиномицетов и грибов [12]. Агрегация также происходит и за

счет давления газов, вырабатываемых микроорганизмами в процессе жизнедеятельности [8].

По мере агрегации в грунтах формируется все большее количество изолированных микро- и ультрамикропор, в которых создаются восстановительные условия, и функционирует комплекс анаэробных микроорганизмов [6]. Они восстанавливают окисленные аэробными формами органические вещества, тем самым способствуя диспергации грунта [9].

Таким образом, в грунтах существует неустойчивый баланс между процессами агрегации и диспергации. Любое внешнее воздействие (например, изменение влажности, привнос в грунт питательных веществ, изменение химического состава порового раствора, механическое разрушение агрегатов и т.п.) приводит к нарушению этого равновесия.

Изменение минерального и микроагрегатного состава грунтов, а также формирование органических соединений ведут к изменению показателей прочностных свойств грунтов. Слизеподобные органические соединения могут играть роль своеобразной смазки, уменьшая угол внутреннего трения грунтов [2, 4, 5]. Негативное влияние на прочность оказывает увеличение дефектности кристаллических решеток минералов. Перераспределение набухающих и ненабухающих пакетов глинистых минералов может как негативно сказываться на показателях прочностных свойств грунтов, так и улучшать их. Спутывание и склеивание частиц клетками и продуктами метаболизма способствуют увеличению сцепления грунтов. К росту показателей прочностных свойств приводит также выпадение в осадок нерастворимых соединений – формирование своеобразного биоцемента.

### ***Активизация микробиологических процессов при загрязнении грунтов***

При попадании в грунты различных биофильных соединений, которые могут служить субстратом для развития микроорганизмов, их численность существенно возрастает, формируются специфические микробные сообщества, увеличивается скорость метаболизма, его продукты накапливаются в грунте, изменяя его. Такими соединениями могут быть как органические вещества различного строения (глюкоза, полисахариды, нефтепродукты, пектин, хитин, целлюлоза и др.), так и минеральные соединения. Причем загрязнение грунтов этими веществами может быть как целенаправленным (введение удобрений или закрепление массивов грунтов), так и случайным

(утечки из трубопроводов, канализаций, разливы на поверхности и др.).

При загрязнении грунтов нефтепродуктами микроорганизмы, с одной стороны, способствуют очистке геологической среды от загрязнителей, а с другой – негативно влияют на свойства этих грунтов. Так, по данным Р.Э. Дашко, в анаэробных условиях специфическими микроорганизмами происходит окисление нефтепродуктов, разрыв связей в бензольных кольцах ароматических углеводородов. В условиях нормальных температур и давлений микроорганизмы – единственный агент очищения грунтов от углеводородного загрязнения. В зависимости от условий (содержания в загрязненных грунтах соединений азота и фосфора и других биофильных соединений) полная деградация углеводородов может наблюдаться на расстоянии от 30–60 м от источника загрязнения. При этом в породе образуется большое количество углекислого газа, накапливается биомасса. К тому же потребление углеводородными микроорганизмами кислорода ведет к активизации процессов восстановления трехвалентного железа (главного элемента цемента грунтов) до подвижной двухвалентной формы. Эти факторы приводят к снижению показателей прочности грунтов на 50–75% [5].

Существенное влияние на активизацию микробиологических процессов оказывает привнос в грунты канализационных стоков (КС). Эти растворы, с одной стороны, содержат большое количество живых клеток бактерий, а с другой – значительные концентрации легкодоступных для микроорганизмов органических питательных веществ. Исследования, проведенные в СПбГТИ, показали, что насыщение глинистых грунтов КС ведет к значительному ухудшению их свойств. Например, моренные суглинки, насыщенные КС, набухают в значительной степени сильнее, чем при насыщении водой. В воде грунты характеризуются как ненабухающие, тогда как при насыщении

стоками относительная деформация набухания составляет около 14%, и грунты характеризуются как средненабухаемые. Слабонабухающие в воде среднекембрийские глины при насыщении стоками имеют деформацию набухания до 35% и называются сильнонабухающими. При этом резко снижаются их прочностные и деформационные свойства [5].

Практический интерес представляет изучение влияния микроорганизмов на прочностные свойства песчаных грунтов в условиях загрязнения легкодоступным органическим субстратом – раствором глюкозы. Глюкоза – универсальный субстрат для многих видов микроорганизмов. Привнос в грунты этого соединения позволяет изучить потенциальную активность микробиоты и максимально активизировать микробиологические процессы в грунтах, тем самым изучить их влияние на состав, строение и свойства грунтов.

Широкая распространенность песчаных грунтов на территории г. Москвы и относительно высокие показатели прочностных и деформационных свойств позволяют считать песчаные грунты достаточно надежным основанием для сооружений. Кроме того, в толще песчаных грунтов формируются водоносные горизонты, которые в условиях города подвержены интенсивному загрязнению нефтепродуктами, канализационными стоками и другими токсичными веществами.

## МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЙ

Исследования проводились на образцах песчаных грунтов, отобранных в ходе буровых работ в двух районах московского региона. Были изучены грунты культурного слоя территории Новодевичьего монастыря (г. Москва), а также флювиогляциальные и меловые пески, отобранные на участке строительства жилых зданий в г. Долгопрудном (Московская обл.) (таблица).

Характеристика исследованных образцов

№ образца	Место отбора	Геологический индекс	Глубина отбора, м	$W_{\text{ест}}$ , %	Описание грунта
1	г. Москва, район Новодевичьего монастыря	tIV	0.4	10	Песок пылеватый
2	Район г. Долгопрудного	fIIms	6.0	14	Песок пылеватый
3		f,lgIdns-IIms	19.5	25	Песок мелкий
4		$K_1$	25.0	21	Песок средней крупности

Стоит отметить, что в техногенном грунте содержится значительное количество органических соединений (0.6% по массе). Они присутствуют и в меловом песке, тогда как в образцах флювиогляциальных грунтов обнаружены не были. В образцах флювиогляциального (fPms) и техногенного (tIV) песков отмечено наличие карбонатов в количестве 3–5%.

В ходе сукцессии образцов, увлажненных водой (контроль) и раствором глюкозы (0.1m) (опыт), определяли изменение биомассы и активности дыхания микроорганизмов (бактерий, актиномицет и грибов) и показателей прочностных свойств грунтов по срокам.

Численность бактерий, актиномицетов и грибного мицелия определялась прямым подсчетом с помощью люминесцентной микроскопии. Полученное количество бактерий (кл/г грунта) и длина мицелия грибов и актиномицетов (м/г грунта) по соответствующим формулам пересчитывались на биомассу [7].

Активность дыхания определяли по интенсивности эмиссии диоксида углерода на газовом хроматографе. Пробы помещали в пенициллиновые флаконы по 5 г. Накопление диоксида углерода в газовой фазе в образце наблюдали в течение 30 суток. За сутки перед измерением флаконы проветривали, таким образом получали количество накопленного диоксида углерода на определенный срок за одни сутки. Для каждого образца грунта опыт проводили в десятикратной повторности [7].

После 7–9 и 30 суток сукцессии определяли прочность грунтов на сдвиг по схеме неконсолидированного недренированного сдвига с постоянной скоростью деформаций (2 мм/мин) на приборе СПКА. Плотность скелета песков при сдвиге задавалась как средняя между плотностью в рыхлом и плотном сложении. В ходе испытаний контролировали влажность и плотность образцов.

## РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

### *Численность и биомасса микроорганизмов в изучаемых песках*

В ходе исследований установлено, что в исходных образцах грунтов содержится от  $2.7 \times 10^8$  до  $8.4 \times 10^8$  клеток бактерий на 1 г грунта. Больше количество клеток характерно для техногенного грунта (в пересчете на биомассу 0.17 мг/г). В образцах флювиогляциальных и меловых песков содержится  $2.7–3.6 \times 10^8$  клеток бактерий на

1 г грунта (0.05–0.07 мг/г). Мицелий актиномицет в незначительном количестве (0.003 мг/г) обнаружен лишь в техногенном грунте. Грибной мицелий обнаружен во всех образцах в количестве около 0.05–0.10 мг/г грунта. Общая биомасса всех микроорганизмов составляет порядка 0.12–0.17 мг/г в образцах, отобранных со значительных глубин (6–25 м), и 0.23 мг/г в техногенном грунте. Таким образом, наибольшая численность микроорганизмов характерна для приповерхностных грунтов. В более глубоких горизонтах количество микроорганизмов в грунтах не зависит от глубин залегания.

В ходе сукцессии при внесении глюкозы численность микроорганизмов закономерно увеличивается, достигая своего максимума к 7–14 суткам, и резко снижается на дальнейших сроках. По истечении месяца опыта биомасса микроорганизмов в “глубоких” образцах ненамного превышает контрольную. В техногенном грунте максимальная численность микроорганизмов наблюдается на 21 сутки, а на 28 сутки биомасса заметно выше, чем в контрольных образцах (рис. 1а).

При потреблении глюкозы органическое вещество накапливается в виде биомассы живых клеток. К 7–14 суткам глюкоза полностью разлагается, и вследствие отсутствия дополнительных источников питания микроорганизмы достаточно быстро переходят в неактивное состояние. Только в техногенном грунте обнаружены дополнительные питательные вещества (например, органика и карбонаты), которые способствуют поддержанию жизнедеятельности микроорганизмов в течение более длительного срока.

Стоит отметить, что на начальных сроках сукцессии (4–7 сутки) во всех грунтах в незначительном количестве развиваются актиномицеты (биомасса мицелия до 0.003 мг/г), который не обнаруживается в “глубоких” образцах уже на 14–21 сутки. В техногенном грунте, где актиномицеты обнаружены в контрольных образцах, они присутствуют и на более поздних сроках сукцессии.

В контрольных образцах всех грунтов отмечено наличие многочисленных грибных спор. Живой мицелий обнаружен в незначительных количествах. При внесении глюкозы он активно развивается во всех образцах и на 4–14 сутки составляет около половины общей биомассы. Однако по результатам изучения препаратов, приготовленных после 14 суток сукцессии, мицелий отмечен лишь в техногенных грунтах (0.05 мг/г) (рис. 1б). Вероятно, из-за высокой влажности образцов и отсутствия дополнительных питательных веществ

грибы не выдерживают конкуренции с бактериями и становятся субстратом для их жизнедеятельности после разложения глюкозы. Небольшая влажность и особенности состава техногенного песка обуславливают наличие мицелия и к концу опыта.

Повышенные величины биомассы микроорганизмов на 4–14 сутки в образцах флювиогляциальных песков можно объяснить особенностями их залегания. На территории г. Долгопрудного флювиогляциальные пески являются водовмещающими породами для грунтового водоносного горизонта. При инфильтрации атмосферных осадков через зону аэрации в эти грунты попадает значительное количество клеток микроорганизмов, которые, вследствие отсутствия питательных веществ в этих песках, переходят в неактивное состояние (например, споры). Привнос в грунт субстрата (глюкозы) способствует активизации этих клеток и их размножению. Однако сразу после разложения субстрата в силу недостатка иных питательных веществ клетки быстро переходят в исходное неактивное состояние, отмирают и становятся субстратом для еще живых особей.

#### Активность дыхания микроорганизмов

В качестве общей характеристики метаболической активности микроорганизмов в нашем исследовании выступала активность дыхания, определенная как величина эмиссии углекислого газа в образцах грунтов. Максимум эмиссии  $\text{CO}_2$  наблюдается на 7 сутки сукцессии, причем наибольшие ее величины характерны для образцов флювиогляциальных песков. Пик активности микроорганизмов резкий, уже к 10 суткам наблюдения активность дыхания снижается в 2.5–3 раза (рис. 2). На конечных сроках повышенные значения активности дыхания, вероятно, связаны с использованием еще активными микроорганизмами в качестве субстрата органического вещества отмерших клеток и продуктов метаболизма.

#### Влияние жизнедеятельности микроорганизмов на прочностные свойства исследуемых песчаных грунтов

Изменение показателей прочностных свойств грунтов (сцепления и угла внутреннего трения) в ходе сукцессии представлено на рис. 3. Во всех грунтах наблюдается значительное снижение прочности к 7–10 суткам (к моменту накопления наибольшей биомассы микроорганизмов в грунтах). К концу опыта отмечено увеличение прочности.

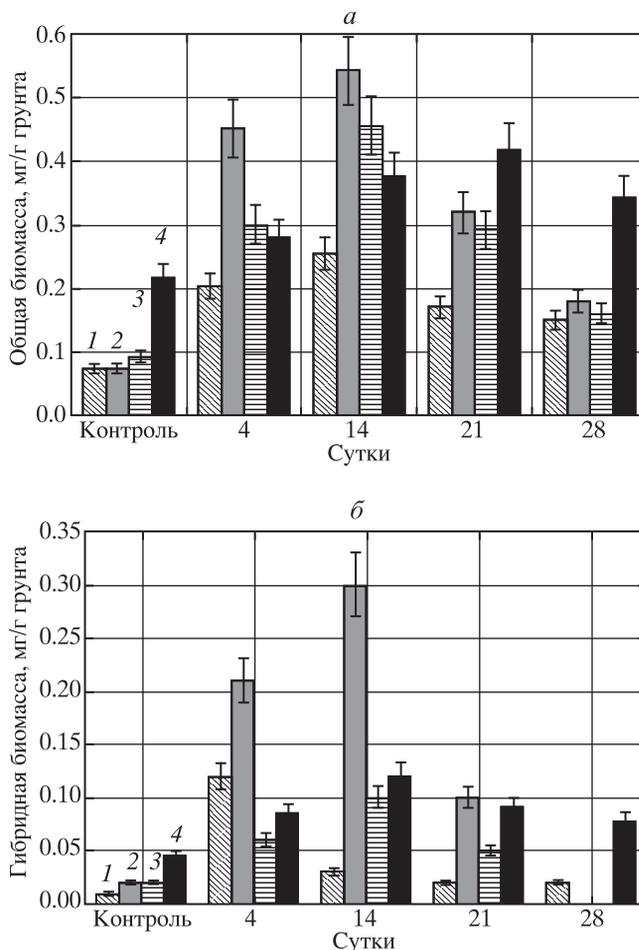


Рис. 1. Динамика изменения общей (а) и грибной (б) биомассы микроорганизмов в ходе сукцессии, инициированной увлажнением глюкозой: 1 – меловой песок ( $K_1$ ); 2 – флювиогляциальный песок (f,lgIdns-Пms); 3 – флювиогляциальный песок (f Пms); 4 – техногенный песок (tIV).

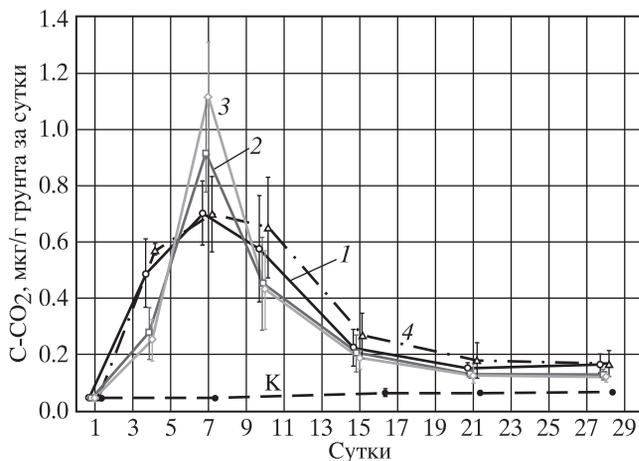
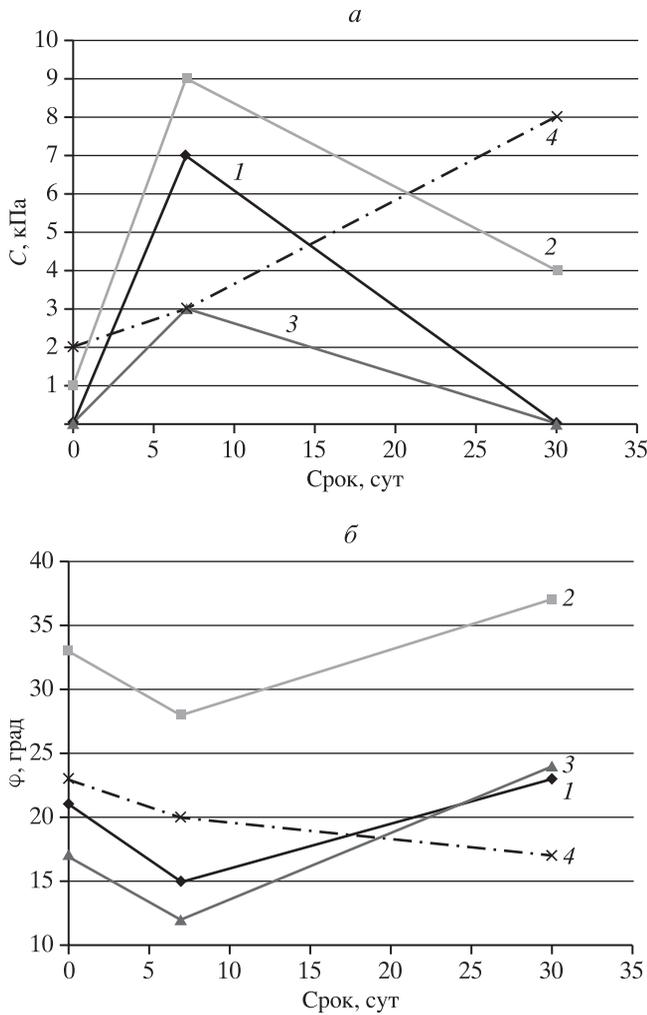


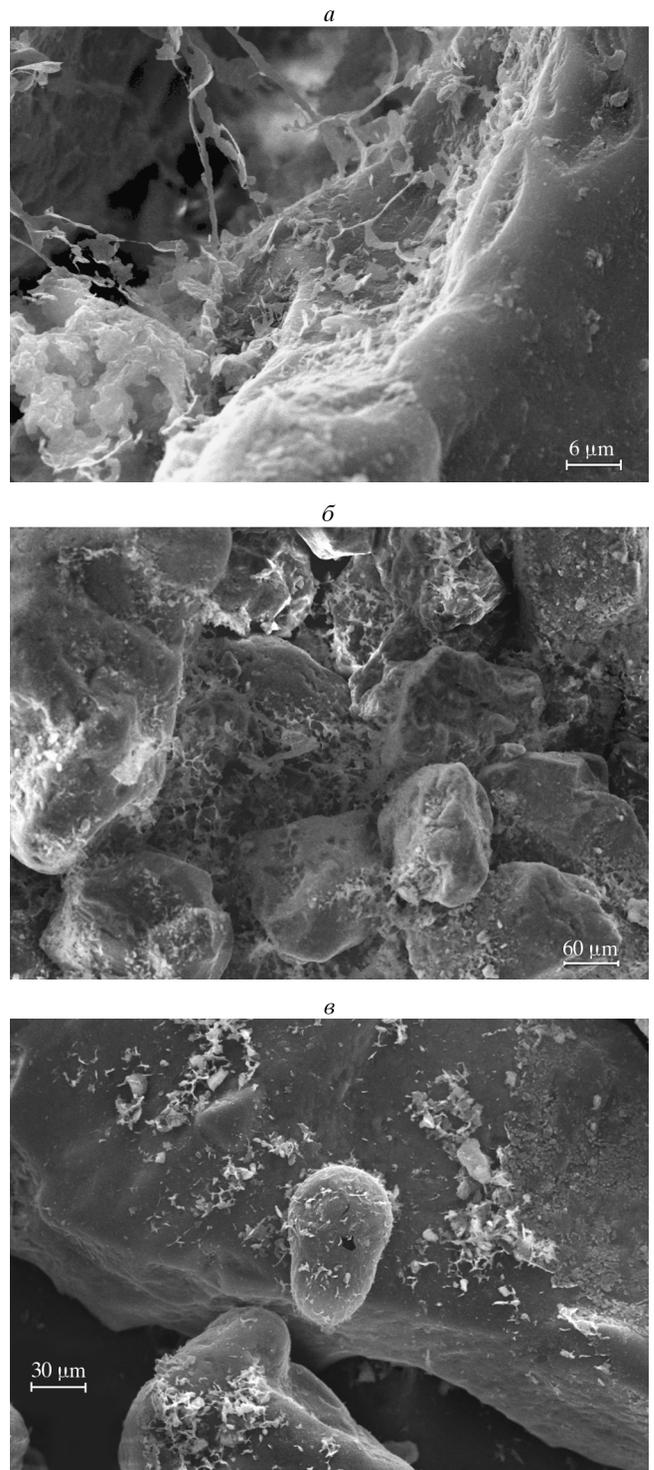
Рис. 2. Динамика активности дыхания (эмиссии  $\text{CO}_2$ ) в грунтах в ходе сукцессии при увлажнении водой (контроль) и раствором глюкозы: 1 – меловой песок ( $K_1$ ); 2 – флювиогляциальный песок (f,lgIdns-Пms); 3 – флювиогляциальный песок (f Пms); 4 – техногенный песок (tIV); К – контроль.



**Рис. 3.** Изменение показателей прочностных свойств грунтов в ходе сукцессии: *a* – сцепления; *б* – угла внутреннего трения. 1 – меловой песок (К<sub>1</sub>); 2 – флювиогляциальный песок (f,lgIdns-Пms); 3 – флювиогляциальный песок (fПms); 4 – техногенный песок (tIV).

Для всех образцов грунтов характерны увеличение сцепления и снижение угла внутреннего трения к 7–9 суткам сукцессии; этот период признан временем наиболее активного метаболизма микроорганизмов.

На рис. 4 приведены РЭМ-изображения при разных увеличениях образца флювиогляциального песка (f,lgIdns-Пms) на 15 сутки после внесения раствора глюкозы. На стыках зерен сформировались своеобразные “мостики” (см. рис. 4а), а пространство между зернами заполнено неоднородной массой (см. рис. 4б), которая, по-видимому, представлена глинистой фракцией, биомассой микроорганизмов, продуктами жизнедеятельности и веществом, образованным в ходе химических реакций с компонентами грунта. Вероятно, эти новообразования способствуют увеличению



**Рис. 4.** РЭМ-изображение образца флювиогляциального песка (f,lgIdns-Пms): при 5000-кратном (*a*) и 500-кратном (*б*) увеличении на 15 сутки после внесения раствора глюкозы, и образец до обработки глюкозой при 1000-кратном увеличении (*е*).

сцепления грунта. Кроме того, полисахариды и другие органические вещества, выделяющиеся в процессе метаболизма, могут снижать трение между частицами, обуславливая уменьше-

ние угла внутреннего трения грунтов. Подобное обоснование было предложено С.Е. Гориним и П.Э. Роотом [2]. Образец песчаного грунта после обработки глюкозой приобрел определенную связность, тогда как образец исходного грунта не сохранял форму при подготовке к РЭМ-исследованиям. Глинистый материал концентрировался на активных центрах (по-видимому, дефектах) зерен, тогда как непосредственно на контактах частиц не обнаружен (см. рис. 4в).

К 30 суткам сукцессии в меловом и флювиогляциальных песках сцепление снижается, а угол внутреннего трения увеличивается до значений, равных или превышающих исходные (см. рис. 3). При отмирании организмов (к 30-м суткам) на поверхности зерен, вероятно, образуются своеобразные “корки” высушивания, подобные поверхности “hardground”, поэтому связность ослабевает, сцепление понижается, а в результате увеличения шероховатости поверхности частиц угол внутреннего трения повышается.

Наличие в техногенном песке грибного мицелия и после 14 суток сукцессии, а также повышенная активность микроорганизмов, вероятно, обуславливают дальнейшее уменьшение угла внутреннего трения и увеличение сцепления.

### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Потенциальные численность и активность микроорганизмов в грунтах зависят от их состава (прежде всего от содержания органических веществ) и условий залегания. В ходе сукцессии песчаных грунтов при увлажнении раствором глюкозы показатели прочностных свойств изменяются неоднозначно. На ранних сроках в грунтах проявляется сцепление за счет формирования специфических биогенных структурных связей, а также “спутывания” частиц грунта мицелиальными клетками.

Дальнейшее преобразование органического вещества и отмерших клеток микроорганизмов ведет к уменьшению сцепления и росту угла внутреннего трения. В техногенном песке имеются дополнительные питательные соединения, обуславливающие более длительное активное существование микроорганизмов, поэтому увеличение сцепления за счет спутывания мицелием грибов и снижение угла внутреннего трения вследствие активного метаболизма микроорганизмов наблюдаются и к 30 суткам сукцессии. Выдвинутые предположения относительно механизма влияния микроорганизмов на прочность песчаных грун-

тов требуют подтверждения в ходе дальнейших исследований.

*Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 14-05-31157 мол\_а.*

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Глазовская М.А., Добровольская Н.Г. Геохимические функции микроорганизмов. М.: Изд-во МГУ, 1984. 152 с.
2. Горин С.Е., Роот П.Э. Влияние микроорганизмов на прочностные свойства песчаных грунтов // Вопросы инженерной геологии и грунтоведения. Вып. 4. М.: Изд-во МГУ, 1978. С. 59–61.
3. Грунтоведение / Под ред. В.Т. Трофимова. М.: Изд-во МГУ, 2005. 1024 с.
4. Дашко Р.Э., Александрова О.Ю., Шидловская А.В. Роль микробиоты в инженерной геологии и геоэкологии: история вопроса и результаты экспериментальных исследований // Сергеевские чтения. Вып. 6. Матер. годичной сессии Научного совета РАН по проблемам геоэкологии, инженерной геологии и гидрогеологии. М.: ГЕОС, 2004. С. 48–52.
5. Дашко Р.Э. Микробиота в геологической среде: ее роль и последствия // Сергеевские чтения. Вып. 2. Матер. годичной сессии Научного совета РАН по проблемам геоэкологии, инженерной геологии и гидрогеологии. М.: ГЕОС, 2000. С. 72–77.
6. Звягинцев Д.Г., Бабьева И.П., Зенова Г.М. Биология почв. М.: Изд-во МГУ, 2005. 448 с.
7. Методы почвенной микробиологии и биохимии. М.: Изд-во МГУ, 1991. 303 с.
8. Радина В.В. Роль микроорганизмов в формировании свойств грунтов и их напряженного состояния // Гидротехническое строительство. 1973. № 9. С. 22–24.
9. Сергеев Е.М., Болотина И.Н. Микробиологические исследования в инженерной геологии // Инженерная геология. 1987. № 5. С. 3–17.
10. Хансварова Н.М., Гайдамакина Л.Ф. Исследование микрофлоры лессовых пород г. Ростова-на-Дону // Сергеевские чтения. Вып. 2. Матер. годичной сессии Научного совета РАН по проблемам геоэкологии, инженерной геологии и гидрогеологии. М.: ГЕОС, 2000. С. 56–61.
11. Koebel-Boelke J., Anders E.-M., Nehr Korn A. Microbial Communities in the Saturated Groundwater Environment II: Diversity of Bacterial Communities in a Pleistocene Sand Aquifer and their In Vitro Activities // Microbiol Ecology. 1988. V. 16. P. 31–48.
12. Kuo M., Bolton M. Preliminary Investigation into the Influence of Bacteria in Marine Sediments // 1<sup>st</sup> Bio-Geo-Civil Engineering Conference, Delft, The Netherlands, 2008. P. 76–81.

## THE INFLUENCE OF MICROBIAL RESPIRATORY ACTIVITY AND BIOMASS ON THE STRESS-STRAIN PROPERTIES OF SAND IN THE MOSCOW REGION

**P. V. Ivanov\***, **N. A. Manucharova\*\***, **A. D. Safiullina\***

*\*Department of Geology, Lomonosov Moscow State University, Leninskie Gory 1, Moscow, 119992 Russia. E-mail: pvivanov@yandex.ru*

*\*\*Department of Soil Science, Lomonosov Moscow State University, Leninskie Gory 1, Moscow, 119992 Russia. E-mail: manucharova@mail.ru*

The paper shows the time behavior of stress-strain properties of sand in the Moscow region during the 30-day-long microbial succession. The succession was induced by a single-shot glucose moistening. The time behavior of bacteria, actinomycete and fungi biomass is discussed. The tests on carbon dioxide emission allowed us to estimate the respiratory activity of the microbial complex as well as the overall microbial activity in these soils. The influence of these processes on soil properties is discussed. The maximum of biomass and respiratory activity is registered at the 7–9th days of succession. At this time, the cohesion ratios of all samples increase, whereas the values of internal friction angles decrease. During the following succession, some samples manifest a rise in the stress-strain characteristics; one sample showed a decrease in the angle of internal friction and an increase in the cohesion ratio through all the succession period.

**Keywords:** *sand, microorganisms, stress-strain properties, strain properties, microbial processes.*