

N2, 2000

К вопросу о биохимическом газообразовании в подземном пространстве Санкт-Петербурга

Е.С.Руденко

В ноябре 1997 г. на совещании, организованном по инициативе Управления по охране окружающей среды администрации Санкт-Петербурга, был поставлен вопрос о процессах биохимического газообразования в грунтах Санкт-Петербурга как новом источнике экологической опасности для города, подчеркивалась актуальность и новизна поднятой проблемы. Однако такая постановка вопроса не вполне корректна. Проблема биогенного газообразования для Санкт-Петербургского региона далеко не нова. Еще на начальных этапах изучения подземного пространства города, в работах Н.Н. Яковлева, относящихся к концу прошлого - первой четверти нынешнего века, обращалось внимание на значительную газонасыщенность всей четвертичной толщи Санкт-Петербургского региона (Яковлев, 1926) (Интересно отметить, что при обсуждении вопроса о глубине заложения метро в послевоенные годы (1946 - 1947 гг.) одной из причин принятия решения о проходке метро в коренных вендских глинах послужила высокая степень газонасыщенности четвертичной толщи.). В 30-ые годы специальной организацией - Газовым бюро - были выполнены полевые исследования природного газообразования на территории региона, а также собраны и проанализированы все существовавшие к тому времени материалы о случаях газовой выделении при проведении буровых работ. Один из первых зарегистрированных эпизодов интенсивного газопроявления относится к 1911 г., когда проводилось бурение на трассе Ладожского водопровода. "Газы выделялись под давлением до 6 футов по манометру, увлекая за собой находившуюся в скважине воду; при зажигании газы бурно воспламенялись и горели длинным огненным языком". Период длительного выделения газов продолжался от нескольких минут до 6 часов [2].

На территории города и Санкт-Петербургского региона Газовым бюро было установлено около 20 участков, где проводившееся в разное время бурение сопровождалось выделением газов, причем во многих случаях оно имело характер газо-грязевых выбросов, отмечалось также возгорание газов (табл.1). Все эпизоды газопроявлений можно подразделить на 3 группы: 1 - газогенерация из верхней 6-15 м толщи четвертичных отложений, приуроченная, как правило, к обогащенным органическим веществом болотным и литориновым образованиям в островной части города; 2 - газовой выделении из межморенной толщи, где газопродуктивными слоями служат микулинские суглинки и глины с высоким содержанием органики; 3 - газовой выделении из толщи коренных отложений нижекембрийского и вендского возраста.

Все газы, относящиеся к первой и второй группам, были горючими. При этом в составе газовых смесей из межморенной толщи (2-я группа) наряду с метаном повсеместно отмечался азот, содержание которого на отдельных участках приближалось к содержанию метана. Углекислый газ присутствовал в незначительном количестве - от 0,3 до 4% (табл.2).

Основные сведения о газопроявлениях на территории Санкт-Петербурга и Санкт-Петербургского региона [2,3]

N п/п	Участок газовой выделении	Газоносная толща	Качественный состав газа	Глубина расположения газоносного горизонта (горизонтов), м	Характер газопроявления
1	В.О., 1-я линия, угол проспекта Пролетарской победы	Литориновые отложения	Горючий	-	-
2	В.О., 22 линия (у здания ЦНИГРИ)	- " -	- " -	8 - 12	-
3	В.О., Кожевенная линия (кожевенный завод им. Радищева)	- " -	- " -	6 - 10	-
4	Казанский остров, наб. канала Грибоедова, около Казанского собора	- " -	- " -	-	Газовой выделении в виде газо-грязевого выброса
5	Петроградский остров, пл. Революции	- " -	- " -	12 - 15	-
6	Станция Сортировочная (кирпичный завод)	Микулинские слои морских осадков	Углеродный	19 - 20 28 - 32	Фонтанирование газо-грязевой смеси на высоту 6-7 м в течение 1 часа. Наибольший дебит газа 37 м
7	У Володарского моста (рядом с Фарфоровским заводом)	- " -	Горючий	-	Выброс газо-грязевой смеси на большую высоту
8	Правый берег Невы, "Уткина заводь"	- " -	Азотно- углеродный	24 - 39	-
9	Правый берег Невы, в районе пристани Зиновьево	- " -	- " -	26 - 27	Фонтанирование газо-грязевой смеси на большую высоту. Длительность газовой выделении более 1 года
10	Деревня Большие пороги, у ручья Рослова	- " -	Углеродный	-	Интенсивность газовой выделении 120 л/час
11	Невдубстрой	- " -	- " -	28 - 31	Фонтанирование газо-грязевой смеси в течение одного часа. Длительность газовой выделении - 2 недели
12	Рижский проспект (завод Степана Разина)	Коренные породы нижекембрий- ского и вендского возраста	Негорючий	-	Выделение газа в виде мелких пузырьков (при откачке воды из скважины)
13	Аптекарьский остров, ул. Грота	- " -	- " -	-	- " -

Примечание: в п.п 1,2,9 табл. 1 оставлены старые названия улиц и других объектов.

Состав природных газов Санкт-Петербурга и Санкт-Петербургского региона [2,3]

Место отбора пробы	H ₂ S	CO ₂	O ₂	CH ₄	H ₂	N ₂ + редкие газы	Ar+Cr+Xe	He+Ne
"Уткина заводь"	-	0,3	1,3	53,1	-	45,3	0,483	0,021
"Кривое колено", пристань Зиновьево	-	1,1	1,5	56,1	-	41,3	0,512	0,023
Деревня Бол. Пороги, у ручья Рослова	-	0,5	0,2	72,6	-	26,7	0,305	0,06
Станция Сортировочная	--	4,1	-	93,2	-	2,7	0,048	0,005
Невдубстрой	-	1,3	0,2	91,4	-	7,1	0,115	0,0014
Аптеркарский остров, ул. Грота	-	-	1,8	-	-	98,2	1,082	He опр.
Безымянный остров, Рижский пр-т, завод Степана Разина	-	-	0	-	-	100,0	1,013	He опр.

Газ, выделяющийся из толщи коренных пород был представлен почти чистым азотом (см. табл.2). Хотя происхождение газов в 30-ые годы не было подтверждено анализом их изотопного состава, биохимический характер генерации метана в толще микулинских морских отложений подтверждался хорошей корреляцией интенсивности газовой выделению с содержанием в этих осадках органического вещества. В то же время вопрос о происхождении азота, выделяющегося из толщи межморенных и коренных отложений, однозначно решен не был.

В последние годы интенсивность газопроявлений на территории города значительно возросла. Зафиксированы десятки случаев газовой выделению, сопровождавшихся выбросами газонасыщенных разжиженных грунтов и возгоранием газов. Однако реальное число участков газообразования значительно больше, так как фиксируются чаще всего эпизоды, имеющие аварийный характер. Неоднократно они отмечались в Центральном, Фрунзенском, Невском и Красногвардейском районах, в Купчино и др. Газогенерация осложняет проходку шахтных стволов, эскалаторных и перегонных тоннелей метрополитена, фиксируется при строительстве подземных сооружений неглубокого заложения (например, подземного перехода у Гостиного двора), вскрытии котлованов и пр. В составе газовых смесей преобладают метан и углекислый газ, содержание азота, как правило, не превышает 2-3%. Анализы изотопного состава газов показали, что они имеют преимущественно биохимическое происхождение.

Известно, что микробиологическая деятельность в средах, бедных кислородом, может сопровождаться образованием биохимических газов, генерируемых бактериями различных физиологических групп (метанобразующими, сульфатредуцирующими, водородобразующими, денитрифицирующими и др.) в процессе метаболизации органических субстратов. Все эти бактерии относятся к гетеротрофным формам, т.е. для их жизнедеятельности необходимы органические вещества, служащие для них источником углерода для построения клеток и энергии. Представленные, в основном, строго анаэробными формами (за исключением факультативных денитрифицирующих бактерий), они развиваются в восстановительных либо микроаэрофильных условиях.

Анализируя особенности строения подземного пространства Санкт-Петербурга и специфику его контаминации, можно сделать вывод, что высокая активность биохимического газообразования связана с существованием условий для реализации как природного, так и природно-техногенного процесса.

Природное органическое вещество присутствует почти повсеместно в верхней части разреза города в болотных и литориновых образованиях. В отдельных зонах газообразование может проявляться одновременно в над- и межморенных (микулинских) отложениях, что предопределяет потенциальную возможность реализации биохимической газогенерации как регионального экзогенного процесса в пределах всей территории города и прилегающих районов. Этому способствует высокая обводненность разреза, обеспечивающая благоприятные для деятельности газогенерирующих биоценозов окислительно-восстановительные условия.

Наибольшую опасность в отношении природного биохимического газообразования представляют обогащенные органическим веществом микулинские слои морских осадков, которые прослеживаются на отдельных участках в погребенных долинах исторического центра города, в северных районах (опорная скважина на Гражданском проспекте), местами в южном и юго-восточном районах (Обухово, Рыбацкое и др.). Как уже отмечалось, эпизоды газопроявлений, связанных с наличием в разрезе микулинских отложений, неоднократно фиксировались на территории города и региона, начиная с начала века (см. табл.1) до настоящего времени (район Александрово-Невской лавры). Однако чаще всего условия, приводящие к активизации биохимической газогенерации, формируются под влиянием природно-техногенных факторов, к числу которых, в первую очередь, следует отнести засыпку болот, ликвидацию водотоков и водоемов, а также захоронение свалок хозяйственно-бытовых отходов, иловых осадков очистных сооружений, кладбищ и др. В таких зонах создается среда, благоприятная для развития газогенерирующих сообществ микроорганизмов, причем захороненное органическое вещество служит здесь не только питательным субстратом и источником микробиоты, но и важным фактором формирования восстановительных условий в грунтовой толще. Интенсивное газовыделение в виде газо-грязевых выбросов и возгорания в районах ликвидированной гидрографической сети отмечалось в Купчино (между улицами Малой Балканской и Олеко Дундича) и в Красногвардейском районе.

Активизации микробиологических процессов в грунтовых толщах города на протяжении всей истории его функционирования способствовало загрязнение водонасыщенных пород канализационными стоками, а также повсеместное захоронение твердых бытовых отходов, которое производилось в 18 -начале 20 вв. В настоящее время состояние канализационной системы нельзя признать удовлетворительным, следовательно, существует постоянное поступление в грунты легко утилизируемых микроорганизмами питательных макро- и

микрокомпонентов, а также активной микрофлоры, что предопределяет угрозу развития газогенерации на большой площади. Следует учитывать также высокий уровень загрязнения подземного пространства Санкт-Петербурга нефтепродуктами, которые могут быть использованы многими гетеротрофными микроорганизмами как источник углерода. Отопляющий эффект различных подземных коммуникаций также способствует активизации микробиологической деятельности и соответственно повышенному газовыделению.

Важно отметить, что в подземном пространстве Санкт-Петербурга существуют условия не только для генерации биохимических газов, но и их депонирования, поскольку более 90 % территории города имеют слабопроницаемое либо непроницаемое для газов искусственное покрытие. Накопление газов при достижении определенных (критических) давлений создает угрозу выбросов газа или газо-грязевых смесей по ослабленным с поверхности участкам грунтов либо их разгрузки в подземные сооружения - коллекторы, подвалы зданий и пр. При накоплении биохимических газов, обогащенных метаном, возникает опасность образования взрывоопасных смесей (взрывоопасный диапазон концентраций метана лежит в интервале 5 - 14 % к объему воздуха). Как уже отмечалось, случаи выбросов, сопровождавшихся взрывами и возгоранием газов, уже неоднократно фиксировались в различных районах города. Наиболее опасны такие ситуации при строительстве и эксплуатации метрополитена. Именно аварийные ситуации привлекли внимание специалистов различного профиля к проблеме биохимического газообразования. Однако чаще всего последствия газогенерации не имеют столь визуально эффектного характера проявления, хотя в геоэкологическом отношении они могут представлять серьезную опасность. Даже незначительное накопление малорастворимых газов (CH_4 , N_2 , H_2) в песчано-глинистых породах и соответственно повышение газонасыщения последних вызывает значительное изменение их напряженно-деформированного состояния. Защемленные в порах мельчайшие пузырьки газа с высокой величиной поверхностного натяжения и большим внутренним давлением способствуют значительному разуплотнению глинистых пород и снижению их прочности. В таких условиях существенно возрастает тиксотропность песчано-глинистых пород, что проявляется даже при незначительных динамических и вибрационных воздействиях (работе наземного и подземного транспорта, забивке свай и пр.). Газонасыщение песчаных отложений приводит к снижению угла внутреннего трения вплоть до их перехода в состояние тяжелой жидкости. Переход песков в пльвунное состояние при повышении их газонасыщения неоднократно отмечался при проведении буровых работ (выталкивание бурового инструмента, оплывание стенок скважин и пр.) в историческом центре города - на территории Эрмитажа, в районе Казанского собора и др. [1].

Как известно из теории фильтрационной консолидации, даже незначительное газонасыщение предопределяет снижение порового давления и замедление процесса консолидации, а при снижении коэффициента водонасыщения до величины 0,95 и менее процесс уплотнения глинистых грунтов за счет оттока воды практически не реализуется.

Таким образом, даже невысокая интенсивность биохимического газообразования при отсутствии условий для диссипации газов может привести к значительному ухудшению геотехнических параметров пород, снижению их несущей способности, соответственно усложнению условий строительства в новых районах, что должно быть учтено при проектировании сооружений различного назначения, а также реконструкции и реставрации зданий в историческом центре города.

Биохимическая генерация растворимых в воде газов - углекислого газа, сероводорода, аммиака - способствуют повышению агрессивности подземных вод по отношению к строительным материалам и конструкциям, причем активизация этого процесса предопределяет усиление особого вида коррозии - биокоррозии, которая, в большинстве случаев, сопутствует другим видам коррозионного повреждения материалов и усиливает их, что предъявляет особые требования к выбору стройматериалов при проведении реставрационных и строительных работ в пределах зон, потенциально опасных в отношении биохимического газообразования.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Дашко Р.Э., Норова Л.П., Руденко Е.С. Геоэкология подземного пространства мегаполисов на примере Санкт-Петербурга / Труды международной конференции "Подземный город: геотехника и архитектура". СПб, 1998.
2. Краснов И.И. Газы четвертичной толщи предглинтовой полосы Ленинградской области // В сб. Природные газы СССР. М.- Л., 1935.
3. Рейнеке В.И. Газы нижнекембрийских отложений в районе Ленинграда // В сб. Природные газы СССР. М.- Л., 1935.