ГЕОЛОГИЯ

УДК 624.131.1+551.435

О.Ю.АЛЕКСАНДРОВА
Геолого-разведочный факультет, магистрант группы РГОм-96,
ассистент профессора

ЗАКОНОМЕРНОСТИ ПРЕОБРАЗОВАНИЯ ОСНОВНЫХ КОМПОНЕНТОВ ГЕОЛОГИЧЕСКОЙ СРЕДЫ САНКТ-ПЕТЕРБУРГА ПРИ ЗАХОРОНЕНИИ БОЛОТ

В настоящее время при оценке геоэкологических условий территории города не уделяется должного внимания существованию погребенных болот. Известно, что к моменту заложения города 75 % его площади было заболочено. Полное снятие болотных отложений проводилось только при их мощности, не превышающей 3 м. Более глубокие болота, а также заболоченные участки оказались погребенными и продолжают «жить», являясь наиболее активным геоэкологическим элементом подземной среды города. Хотя болотные воды вне зон техногенного загрязнения характеризуются низкой минерализацией и преимущественно гидрокарбонатно-натриевым, реже кальциевым составом, они играют значительную роль в формировании физико-химической и биохимической обстановки подземного пространства города. В таких обводненных разрезах, содержащих болотные отложения, отмечаются резко выраженные восстановительные условия. Кроме того, отмечается активизация микробиологической деятельности на значительную глубину, поскольку болотные отложения содержат разнообразные физиологические группы микрофлоры.

Болотные отложения служат активным природным сорбентом для тяжелых металлов, а также ряда органических загрязнителей. С одной стороны, микробиологическая активность и разнообразие болотных биоценозов приводит к деструкции органических поллютантов. С другой стороны, деятельность биотической компоненты обычно сопровождается биохимической газогенерацией. В подземном пространстве Санкт-Петербурга наблюдается образование метана, азота, сероводорода, углекислого газа и др. Малорастворимые газы (метан, азот) будут воздействовать на напряженно-деформированное состояние песчано-глинистых пород, способствуя развитию грязевых выбросов, а при наличии метана – самовозгоранию. Растворимые и хорошо растворимые в воде газы обычно формируют коррозионную среду по отношению к металлам, бетонам и другим строительным материалам.

Выполненные в СПГГИ исследования по влиянию погребенных болот на экологическое состояние города позволили выделить и оконтурить зоны с наиболее высоким уровнем проявления негативных процессов, определяющих безопасность освоения и использования подземного пространства Санкт-Петербурга.

Buried peatbogs have not been paid proper attention to in studies of geo-ecological situation below the city territory in recent years. It is a well-known fact, that at the moment of its foundation peatbogs occupied up to 75% of the city territory. Boggy deposits were being taken off only from shallow peatbogs (2-3 metres in depth). Deeper peatbogs and water-logged grounds became buried and continued to live, being the most ecologically active part of the city subterranean life. Although boggy waters outside man-caused contamination zones are characterised by low mineralization and mainly sodium bicarbonate (occasionally calcium bicarbonate) composition, they play a significant role in creating physical-chemical and biochemical situation below the city. Acute reduction processes are obvious in these waterlogged sections when they contain

bogged deposits. Furthermore, microbiological activity is very aggressive and penetrate to considerable depth, as bogged deposits contain various kinds of physiological groups of micro-flora.

Bogged deposits serve as an active natural sorbent for heavy metals and also for a number of organic contaminants. On the one hand, microbiological activity and variety of boggy biocenoses lead to organic pollutant destruction. On the other hand, biotic activity is usually accompanied with biochemical gas generation. Methane, nitrogen, hydrogen sulphide, carbon dioxide and other compounds are observed to be constantly generated below Saint-Petersburg. Gases of low solubility (methane, nitrogen) will affect the strained state of clays and sands, promoting mud and gas outbursts (and if methane is present - spontaneous combustion). Gases of high and normal solubility usually form corrosive environment which affects metals, concrete structures and other construction materials.

Investigations of buried peatbogs impact on ecological situation in the city, carried out at the Saint-Petersburg State Mining Institute, enabled pointing out and contouring of the zones that have the most negative effect on development and exploitation of the city underground.

В настоящее время важное значение для оценки характера и направленности изменения песчано-глинистых грунтов, а также развития некоторых процессов в подземном пространстве Санкт-Петербурга имеют погребенные в период освоения территории болотные массивы. К моменту возведения Петербурга в его островной части широкое распространение имели болота низинного типа, которые занимали более 50 % площади. В материковой части города заболоченные участки прослеживались в виде широкой полосы вдоль Невы (правобережная часть), а также южнее Обводного канала (по широте действующих станций метрополитена «Кировский завод» – «Электросила» – «Ломоносовская»). В связи с более высокими абсолютными отметками здесь преобладали болота верхового типа. В XVIII-XIX вв. полное снятие болотных отложений при освоении территории проводилось только при их мощности, не превышающей 3 м. Более глубокие болота, а также заболоченные участки оказались погребенными и продолжают «жить», являясь наиболее активным геоэкологическим элементом подземной среды города.

Болотные воды вне зон техногенного загрязнения характеризуются низкой минерализацией и преимущественно гидрокарбонатно-натриевым, реже кальциевым составом. Обычно минерализация болотных вод не превышает 100 мг/л. Наименее минерализованы воды верховых и переходных типов болот (5,0-40,0 мг/л), которые характеризуются высоким содержанием органических веществ и значениями величины pH в пределах 3-6. Воды низинных болот более минерализованы (до 300 мг/л), по составу и концентрации компонентов они обычно близки к грунтовым водам того же района. Различия в химическом составе между водами торфяников и грунтовыми водами обрамления, прежде всего, касаются содержания соединений серы и железа. Как правило, восстановленные формы серы для торфяников не характерны, соединения серы обычно обнаруживаются в малых количествах при условиях инфильтрации SO_4^{2-} с атмосферными осадками. В торфяных водах отмечается повышенное содержание растворенного железа в ионной форме, а также в комплексной с гуминовыми и фульвокислотами. Абсолютные количества и относительная роль железа в гидрохимическом балансе зависят от степени заторфованности территории. Часто в водах торфяников железо является одним из основных компонентов, несмотря на пониженную в целом минерализацию. Это объясняется влиянием длительного контакта обогащенных органическим веществом кислых торфяных вод с минеральными породами ложа.

В непосредственной связи с минеральными аккумуляциями в торфяниках находится их газовый режим, особенно концентрация CO_2 и O_2. Концентрация кислорода в почвенном воздухе и торфяных водах определяет окислительно-восстановительные условия минеральной системы и все те взаимоотношения окисных и закисных форм железа, которые столь широко представлены в торфяниках. Концентрация CO_2 и O_2 в жидкой и газовой фазе торфяников связана главным образом с биохимическим дыханием почв. Известно, что болотные от-

ложения содержат разнообразную микробиоту. Так, бактериальную флору осоковых торфов характеризуют данные, приведенные в таблице.

Формы бактерий	Физиологические группы	Численность, клетки/г
Анаэробные	Аммонифицирующие	10^6-10^7
	Сульфатредуцирующие	10^6
	Целлюлозоразлагающие	10^3-10^4
Факультативные	Денитрифицирующие	10^6
Аэробные	Нитрифицирующие	10^4
	Тионовые	10^4-10^5
	Целлюлозообразующие	10^2

Выделение углекислого газа увеличивается в летний период и уменьшается в холодное время года, а концентрация кислорода воздуха находится в обратной зависимости от CO_2. Изменения в газовом составе тесно связано с изменениями гидротермических условий и, как следствие, – с изменениями интенсивности биохимических процессов. В более глубоких слоях торфяников скорость продуцирования двуокиси углерода понижается, и формирование бескислородной среды создает условия для накопления метана, содержащего лишь небольшую примесь CO_2. Метан накапливается в тех торфяниках, нижние слои которых находятся в полной изоляции от атмосферного воздуха и характеризуются активизацией анаэробных форм микроорганизмов и связанных с ними процессов газообразования. Установлено два основных типа биохимического образования метана: брожение уксусной кислоты, в результате которого из метильной группы образуется непосредственно метан ($CH_3COOH \rightarrow CH_4 + CO_2$); восстановление CO_2 молекулярным водородом H_2 ($4H_2 + CO_2 \rightarrow CH_4 + 2H_2O$). Современные исследования показывают, что генерация метана обычно наблюдается при большом разнообразии физиологических групп микроорганизмов, а метанообразующие бактерии обычно подключаются на заключительных стадиях метаногенеза.

При инженерной подготовке и освоении территории города захоронение болот под толщей техногенных образований, имеющих малую газо- и водопроницаемость, ведет к преобразованию физико-химической и биохимической обстановки в разрезе торфов и нижележащей толщи. В таких условиях величина Eh снижается до -(100-200) мВ и менее. Уничтожение зоны аэрации приводит к изменению состава и возрастанию численности анаэробной микрофлоры, что создает условия для активного биохимического газовыделения. В последние годы интенсивность газопроявлений на территории Санкт-Петербурга значительно возросла. Зафиксированы десятки случаев газовыделения, сопровождавшихся выбросами газонасыщенных разжиженных грунтов и возгоранием метана. 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, вскрытии котлованов, бурении скважин 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.

Зоны погребенных болотных массивов в Санкт-Петербурге являются потенциально опасными в отношении биохимической газогенерации не только метана и углекислого газа, но и сероводорода. Перманентные утечки из городской канализационной системы, выбросы очистных сооружений изменяют гидрохимический режим болотных массивов, привнося в большом количестве такие загрязнители, как SO_4^{2-}, Cl^-, а также являются поставщиками техногенного легкоокисляемого органического вещества и микрофлоры. При техногенном загрязнении болотных вод сульфатами имеет место процесс восстановления серы при участии сульфатредуцирующих микроорганизмов,

которые в большом количестве находятся в болотных отложениях, где существует благоприятная среда для их жизнедеятельности. В пределах исторической части города в песчано-глинистых отложениях, обогащенных органикой, повсеместно отмечается выделение сероводорода и формирование гидротроилита в виде черных сажистых пятен. Биохимическая сульфатредукция обычно протекает по следующей схеме: $8[H^+] + SO_4^{2-} \rightarrow H_2S + 3H_2O + 2OH^-$.

Болотные отложения служат природным сорбентом в отношении тяжелых металлов, а также ряда органических загрязнителей, которые активно поступают в подземную среду с канализационными стоками и утечками из дренажно-ливневой системы. С одной стороны, микробиологическая активность и разнообразие обогащенной микрофлоры приводит к деструкции органических поллютантов, в том числе нефтепродуктов. С другой стороны, деятельность биотической компоненты, которая мигрирует вниз по разрезу на большую глубину, определяет специфику негативных изменений инженерно-геологических особенностей песчано-глинистых пород. Наиболее существенное влияние на песчано-глинистые породы оказывают совместное действие погребенных болот и дополнительное поступление утечек из канализационной сети. Песчаные отложения под болотами и заторфованными грунтами имеют низкую водопроницаемость, водоотдачу и часто характеризуются как плывуны.

Существование болот на моренных глинистых отложениях приводит к появлению особого типа этих образований, несущих на себе все признаки оглеения, что сказывается на их внешнем облике, составе и физико-механических свойствах. Подобные морены имеют сизые, темно-серые, голубоватые и зеленоватые оттенки, более высокую степень дисперсности и газонасыщения. Эти отложения обогащаются органическими остатками биотического и абиотического генезиса. Как правило, отмечается высокая микробиологическая пораженность пород, в некоторых случаях – газообразование. Бескислородная среда определяет процессы разрушения цементационных связей, а жизнедеятельность микроорганизмов приводит к образованию биопленок, которые играют роль «смазки» и преобразуют структурные связи в породах. В таких разрезах с высоким уровнем загрязнения часто отмечается мягкопластичная, реже текучепластичная консистенция морены, высокое содержание бактериальной массы, малые величины угла внутреннего трения, модуль общей деформации обычно не превышает 3,0 МПа.

Биохимическая генерация растворимых в воде газов – диоксида углерода, сероводорода – способствует 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 разрушения строительных материалов. Анаэробная биокоррозия весьма опасна по отношению к железным трубам, которые широко применяются для строительства инженерных коммуникаций. Ионизация железа активно протекает во влажной анаэробной среде согласно реакции $4Fe + 8H^+ \rightarrow 4Fe^{2+} + 4H_2$. Пленка из молекулярного водорода в присутствии сульфатредуцирующих бактерий разрушается, и дальнейшее преобразование железа в присутствии сероводорода происходит по схеме $4Fe^{2+} + H_2S + 2OH + 4H_2O \rightarrow FeS + 3Fe(OH)_2 + 6H^+$. Подобная биокоррозия протекает достаточно быстро.

Для предупреждения опасных выбросов метана необходимо устройство мониторинговых скважин в местах наиболее вероятной

генерации в виде разгрузочных с одновременным контролем содержания газов в грунтовом и атмосферном воздухе. Во избежание негативных последствий захоронения болотных массивов при освоении территории их необходимо снимать и заменять хорошо промытыми песками.

Научный руководитель профессор, д.г.-м.н. *Р.Э.Дашко*

УДК 549.08

В.В.АЛЕХИНА
Геолого-разведочный факультет, студентка группы МГП-98,
ассистент профессора

ПРЕДПОСЫЛКИ К ОБЛАГОРАЖИВАНИЮ ГРАНАТА ИЗ НОВОГО ПРОЯВЛЕНИЯ ПОЛЯРНОГО УРАЛА

Работа посвящена редкой и наиболее ценной разновидности граната – демантоиду. В минералогических справочниках цвет демантоида описывается в пределах от изумрудно-зеленого до шоколадно-табачного, в соответствии с ним изменяется его цена. Материалами для данной работы послужили собственные полевые наблюдения и образцы, собранные на новом проявлении граната на Полярном Урале. Лабораторные исследования показали, что отобранные кристаллы, вероятно, являются андрадитом-демантоидом, хотя для большинства зерен характерны преимущественно желтоватые оттенки. В ряде случаев отмечена неоднородность в окраске – изумрудно-зеленый центр и желтоватая периферия кристаллов. Несмотря на высокую дисперсию, сильный желтоватый или даже коричневый оттенок не позволяет рассчитывать на коммерческий успех найденного граната в качестве ограночного сырья. Если предположить, что зональность окраски вызвана окислением железа в минерале, представляются целесообразными попытки изменения цвета граната путем восстановления железа.

Таким образом, существуют минералогические предпосылки для проведения опытов по изменению окраски граната, которые, в случае успеха, могут привести к значительному увеличению стоимости ювелирного сырья.

A rare and most valuable variety of garnets – demantoid is investigated in the article. In reference books on mineralogy demantoid is described to vary from emerald-green to tobacco-brown in colour, its price being dependent on the shade. The work has been carried on the basis of field studies and specimens, collected by the author herself at a new garnet deposit in the Polar Urals. Laboratory tests showed the collected minerals to be andradite-demantoid, although the majority of grains are characterised by yellowish shades. In several cases heterogeneity in colour (emerald-green crystal core and yellowish circumference) is noted. Despite high grade of dispersion, noticeable yellowish and even brownish shades will not allow the garnets found to be a commercial success as jewellery raw material. If we assume colour zonality to be a result of iron oxidation in the mineral, attempts to change garnet colour by iron reduction should be considered practical. Thus, there exist mineralogical preconditions for running experiments in order to change garnet colouring, which, if successful, will lead to a significant increase in the garnet pricing.

Данная работа посвящена редкой и наиболее ценной разновидности граната – демантоиду. По сведениям А.А.Юсинова и др. [4], цены на ограненный уральский демантоид массой от 1 до 10 карат на ярмарках самоцветов в Тусоне (шт. Аризона, США) в 1997-1998 гг. составляли от 1000 до 6000 долларов/карат.