

Все исследуемые поверхностные водные объекты (12FAD01–12FAD10) могут быть отнесены к категории ультрапресных вод (минерализация < 200 мг/л). Для залива Геденштрома в точке отбора 12FAD11 отмечена соленая вода (~8 г/л). Отмечены небольшие превышения норм ПДК по иону аммония (до 1ПДК), стронция (до 1,1 ПДК) и фосфат-аниона (до 1ПДК).

Все исследуемые озера представлены неглубокими термокарстовыми котловинами блюдцеобразной формы, образованными вследствие вытаивания подземных льдов. Получены новые данные по физико-химической характеристике природных вод озер и водоемов полуострова Фаддеевский.

Исследование выполнено в рамках проекта 13–05–00327 «Палеоэкология и палеогеография озер Новосибирских островов», реализуемого при поддержке гранта Российского фонда фундаментальных исследований.

Литература

1. Втюрин Б.И. Подземные льды СССР. – М.: Наука, 1975. – 215 с.
2. Кудрявцев В.А., Достовалов В.Н. Общее мерзлотоведение. – М.: Изд-во МГУ, 1967. – 403 с.
3. Куницкий В.В. Критология низовья реки Лены. – Якутск, 1989. – 163 с.
4. Алекин О.А. Основы гидрохимии. – Л.: Гидрометеиздат, 1953. – 296 с.
5. Руководство по химическому анализу поверхностных вод суши / Под ред. А.Д. Семенова. – Л.: Гидрометеиздат, 1977. – 542 с.
6. Ушницкая Л.А., Городничев Р.М., Спиридонова И.М., Пестрякова Л.А. Предварительная лимнологическая характеристика водоемов полуострова Фаддеевский (Новосибирские острова) // Межд. журнал прикладных и фундаментальных исследований. – 2013. – №8. – С. 189–192.

Поступила в редакцию 17.01.2014

УДК 550.42:546.17(571.56)

Агрессивность сезонноталых и мерзлых грунтов Якутска

Н.В. Торговкин, В.Н. Макаров

Рассматриваются результаты изучения агрессивности талых и мерзлых грунтов города Якутска. Приведена классификация степени агрессивности грунтов по отношению к несущим фундаментам. Техногенные агрессивные грунты широко распространены на территории города, но, в отличие от природных, не имеют площадного распространения. Грунты с наиболее высокой агрессивностью по отношению к бетону приурочены к районам старой городской застройки с возрастом более 200–300 лет. Температура начала замерзания грунтов, засоленных хлоридами и сульфатами магния, натрия и кальция, составляет –2,3°C на глубине 2–5 м и –1,1°C на глубине 6 м.

Ключевые слова: агрессивность, бетон, металлы, засоление, талые и мерзлые грунты.

This paper presents the results of study an aggressiveness of thawed and frozen soils in Yakutsk city. The classification of soils in terms of their aggressiveness towards construction foundations. Anthropogenic aggressive soils are widespread in Yakutsk area, but unlike the natural soils they have no area wide development. Soils highly aggressive to concrete are confined to the older part of the city 200–300 years in age. The freezing temperature of soils salinized with magnesium, sodium and calcium chlorides and sulfates is –2,3°C at depths of 2 to 5 m and –1,1°C at depth of 6 m.

Key words: aggressiveness, concrete, metals, salinity, frozen and thawed soils.

Введение

Якутск – самый крупный город в мире, расположенный в зоне сплошной мерзлоты. В городе созданы крупные энергетические, транспортные, промышленные и городские сооружения.

ТОРГОВКИН Николай Владимирович – аспирант ИМЗ СО РАН, nick1805torg@gmail.com; МАКАРОВ Владимир Николаевич – д.г.-м.н., проф., зав. лаб. ИМЗ СО РАН, makarov@mpi.ysn.ru.

Функционирование подобных объектов сооружений вызывает изменение всех компонентов природной среды, что приводит к изменению свойств оснований сооружений и сказывается на их устойчивости. За последние 40 лет в городе произошло более 20 случаев крупных обрушений каменных зданий постройки 50–60-х гг. XX в., обусловленных сложными инженерно-геологическими и климатическими условиями, недостаточностью опыта проектирования, низким качеством строительства, а также несоблю-

дением правил эксплуатации зданий и сооружений.

Агрессивность грунтов в инженерной геологии рассматривается как негативное химическое, биотическое и физико-химическое воздействие на строительные материалы инженерного сооружения, приводящее к их разрушению. Агрессивность влажных грунтов в первую очередь зависит от состава и концентрации в них растворимых солей. При этом агрессивным является поровый раствор, а разрушение конструкций протекает по механизму процессов их разрушения жидкостью. С инженерно-геологической точки зрения наиболее важны (неблагоприятны) два типа агрессивности растворов: по отношению к бетону (цементному камню) и к металлам.

Известны три основных вида разрушения (коррозии) бетона. К первому виду относятся процессы, обусловленные растворением компонентов цементного камня, ко второму – процессы, при которых образующиеся продукты химических взаимодействий либо легко растворимы и выносятся из бетона, либо отлагаются в виде аморфной массы (углекислотная и магнезиальная агрессивность, воздействие кислотных и щелочных растворов). Третий вид коррозии (сульфатная агрессивность) обусловлен увеличением объема твердой фазы, что также ведет к разрушению бетона [1].

Методика

Для определения степени агрессивности, засоленности и солевого состава сезонных и многолетнемерзлых грунтов в г. Якутске было проведено площадное литохимическое опробование с поверхности, а так же пробурены скважины глубиной 10–25 м в жилых и промышленных зонах города. Химические анализы грунтов выполнены в лаборатории геохимии криолитозоны ИМЗ СО РАН (аттестат аккредитации № РОСС RU 0001.518584), аналитики Л. Ю. Бойцова, Р. М. Петухова и О. В. Шепелева. Было рассмотрено влияние различных видов агрессивности грунтов на различные марки бетона согласно СНиП 2.03.11–85 «Защита строительных конструкций от коррозии» [2].

Результаты и обсуждения

Засоление почв в городе (в отличие от природного) не имеет площадного распространения. Степень засоленности почвогрунтов (глубина 0,10–0,20 м) колеблется в широком диапазоне: от незасоленных (0,021%/100 г) до сильнозасоленных (0,98%/100 г), преимущественно в старой части города, где сформировались крупные литохимические аномалии. Химический состав почвогрунтов отличается разнообразием, засоление может быть хлоридным, сульфатным и карбонатным (рис 1.)

Для грунтов деятельного слоя (глубина 2–3 м) характерно преимущественно хлоридно-сульфатное засоление, с соотношением анионов



Рис.1. Типы засоления почвогрунтов г. Якутска: 1–4 – карбонатное (1), сульфатное (2), хлоридное (3), смешанное по составу анионов (4); 5 – скважины

$\text{SO}_4^{2-} > \text{Cl}^- > \text{HCO}_3^-$. Степень засоленности также изменяется в широком диапазоне: от незасоленных (0,017%/100 г) до сильнозасоленных (0,96%/100 г) [3].

В многолетнемерзлой толще (глубина 5–6 м) засоленность грунтов уменьшается. В составе солей преобладают гидрокарбонаты и сульфаты, но в местах старой городской застройки фиксируются аномалии сильнозасоленных грунтов с концентрацией до 1%/100 г [4].

Выщелачивающая агрессивность происходит за счет растворения карбоната кальция и вымывания из бетона гидрата окиси кальция. Все грунты на территории города до глубины 10 м обладают агрессивностью в отношении гидрокарбонатной щелочности. Неагрессивная среда наблюдается в подошве сезонноталого слоя (СТС). Средние показатели изменения гидрокарбонатной щелочности в многолетнемерзлых и сезонноталых грунтах с глубиной на территории Якутска приведены в табл. 1.

Общекислотный вид агрессивности связан с содержанием свободных водородных ионов. При значении pH ниже 6,4 среда считается агрессивной. Грунты в некоторых скважинах, пробуренных на территории города, имеют значение pH в интервале 6,2–6,4 и, следовательно, почвенные воды обладают общекислотной агрессивностью для обычных и сульфатостойких пуццолановых и шлаковых портландцементов с наименьшим поперечным размером (толщиной) конструкции менее 0,5 м (кварталы А, 48, 50, 136, 140). При наименьших поперечных размерах (толщине) конструкции выше 0,5 м почвенные воды неагрессивны.

Углекислотный вид агрессивности состоит в разрушении бетона в результате окисления карбоната кальция под действием агрессивной угольной кислоты. Вода считается агрессивной при содержании в почвенной воде свободной углекислоты в мг/л больше величины, определяемой по [2].

При промерзании водонасыщенных пород большая часть солей концентрируется в растворе, повышая минерализацию. Происходящий при кристаллизации воды сдвиг ионного равновесия приводит к обогащению раствора углекислотой и повышению углекислотной агрессивности грунтов и грунтовых вод (рис. 2).

Магнезиальный вид агрессии возникает при высоких содержаниях в грунтах иона магния 1000 мг/л и больше величины. Грунты, распространенные на территории города, по содержанию Mg^{2+} являются преимущественно неагрессивными [2].

Таблица 1

 Изменение концентрации HCO_3^- в многолетнемерзлых и сезонноталых грунтах, мг-экв

Глубина, м									
СТС		Мерзлые грунты							
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
0,661	0,805	0,451	0,288	0,264	0,254	0,244	0,221	0,186	0,197

Сульфатный вид агрессивности возникает при высоком содержании ионов SO_4^{2-} , предельное значение которого зависит от сортов цемента, условий водообмена, конструкции сооружения и концентрации Cl^- . Грунты, обладающие средней и сильной сульфатной агрессивностью по отношению к цементу, широко распространены в центральной «старой» части г. Якутска до глубины 10 м. Аномально высокая сульфатная засоленность грунтов отмечается в двух интервалах глубин. Первый, с концентрацией SO_4^{2-} 0,8–0,9 мг-экв, формируется в подошве сезонноталого слоя в интервале глубин 1,5–2,5 м. Второй, с меньшей концентрацией SO_4^{2-} 0,6–0,7 мг-экв, находится на глубине около 5 м (рис. 3).

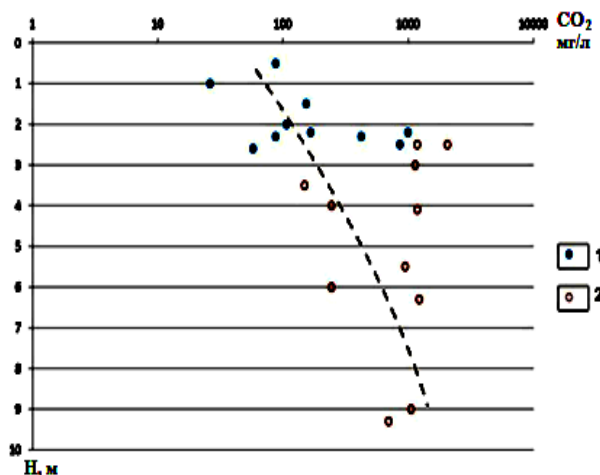
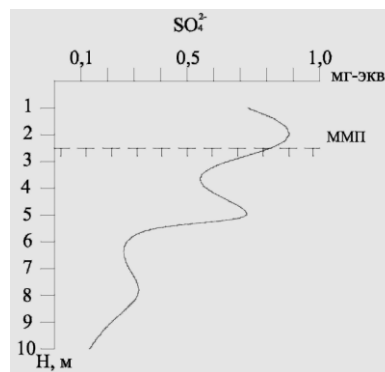

 Рис. 2. Изменение концентрации свободной CO_2 с глубиной в надмерзлотных (1) и межмерзлотных (2) водах г. Якутска


Рис. 3. Изменение концентрации сульфатов в многолетнемерзлых и сезонноталых грунтах

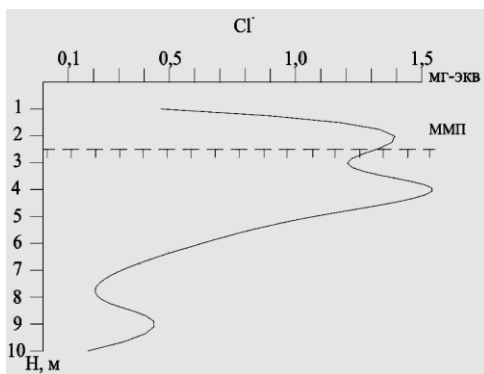


Рис.4. Изменение концентрации хлоридов в многолетнемерзлых и сезонноталых грунтах

Степень агрессивного воздействия подземных вод на металлические конструкции

Глубина, м	pH	Содержание ионов, г/ л			Степень агрессивного воздействия
		SO ₄ ²⁻	Cl ⁻	Cl+SO ₄ ²⁻	
Надмерзлотные воды					
2,0	8,4	1,3	2,8	До 5	Слабоагрессивная
2,0–2,3	8,05	1,5– 1,7	3–16	Св.5	Среднеагрессивная
Межмерзлотные воды					
5,5	6,8	2,4	2,5	До 5	Слабоагрессивная
6,0	6,8	1,3	12,1	Св. 5	Среднеагрессивная
6,3	7,0	3,7	40,9	Св. 5	– « –
9,0	7,2	4,4	67,4	Св.5	– « –
9.3	6.4	3.2	50.2	Св. 5	– « –

Хлоридный вид агрессивности возникает при высоком содержании ионов Cl⁻, предельно допустимое значение которых колеблется в зависимости от сортов цемента, условий, конструкции сооружения и содержания.

Грунты, обладающие средней и сильной хлоридной агрессивностью по отношению к цементу [2], широко распространены в старой части города и формируют обширное поле на площади около 2,2 км². Локальные аномалии наблюдаются в южной и западной частях города. Хлоридная засоленность грунтов с высоким уровнем агрессивности распространяется в среднем на глубину 6–7 м с максимальными показателями у подошвы сезонноталого слоя и в кровле мерзлых пород (рис. 4).

Степень агрессивного воздействия сред на металлические конструкции из углеродистой стали [2], зависящая от химического состава грунтовых вод, оценивается как слабо- и среднеагрессивная, в зависимости от величины минерализации и содержания хлоридов и сульфатов (табл. 2).

Температура начала замерзания грунтов, засоленных хлоридами и сульфатами магния, натрия и кальция, составляет –2,3°C на глубине 2–5 м и –1,1°C на глубине 6 м. Переход засоленных грунтов из пластично-мерзлого в твердомерзлое состояние происходит при более низких температурах. Поэтому засоленные мерзлые грунты отличаются пониженной прочностью и малыми значениями сопротивлений сдвигу по поверхности смерзания с фундаментом. Они отличаются повышенным коррозионным воздействием на материал фундаментов.

Отрицательно-температурные высокоминерализованные поровые растворы, формирующиеся в верхнем слое мерзлых пород, мигрируют в подстилающие мерзлые породы под действием диффузии, термоградиентных и гравитационных сил. Ежегодное повторение этого процесса на протяжении более 300 лет в центральной части

г. Якутска привело к накоплению хлоридов, сульфатов и повышению минерализации порового раствора грунтов и их высокой агрессивности. В составе водорастворимых солей этих засоленных слоев мерзлых песков преобладают хлориды натрия и магния, но вниз по разрезу в интервале глубин 6–8 м их концентрация быстро понижается. Установлено, что чем больше мощность слоя годовых колебаний температуры мерзлых грунтов и выше ее значения, тем на большую глубину могут мигрировать высокоминерализованные отрицательно-температурные поровые растворы. Чем выше засоленность мерзлых песков, тем больше в них содержится незамерзшего раствора, что благоприятствует диффузии хлоридов и сульфатов[5].

Выводы

Многолетнемерзлые и сезонноталые грунты, распространенные на территории г. Якутска, не обладают выщелачивающей агрессивностью. Поровые растворы на отдельных участках города проявляют общекислотную агрессивность по отношению к обычным и сульфатостойким пуццолановым и шлаковым портландцементам с толщиной конструкции менее 0,5 м, где значения pH снижаются до значений 6,2–6,4. При поперечных размерах конструкции выше 0,5 м почвенные воды неагрессивны.

Грунты, распространенные в пределах города, агрессивны в отношении гидрокарбонатной щелочности. Неагрессивная среда наблюдается в подошве сезонноталого слоя на глубине около 2 м, где показатели гидрокарбонатной щелочности превышают нормы выщелачивающей агрессивности воды–среды.

Сезонноталые и мерзлые грунты, обладающие сильной и средней сульфатной агрессивностью по отношению к портландцементу, встречаются на поверхности и распространяются до глубины 8 м. Для сульфатостойкого цемента среда в

большинстве случаев не агрессивна, иногда слабоагрессивна. Талые и мерзлые грунты по отношению к хлоридной агрессивности характеризуются как слабо-, так и среднеагрессивные и распространены на старой территории города и на участках подозерных таликов в среднем до глубины 6–7 м, а иногда до 9 м. Магнезиальная и кислотная агрессивность грунтов слабо проявляется для бетона марки W4 и неагрессивна для бетонов марок W6 и W8. Средне- и сильноагрессивные грунты распространены в старой части города, где продолжительность антропогенного воздействия составляет от 150–200 до 300 лет. Неагрессивные и слабоагрессивные грунты наблюдаются на территории новых кварталов города с длительностью техногенеза менее 80 лет. Как правило, агрессивные сезонноталые и мерзлые грунты обладают повышенной засоленностью (около 1%/100 г). Рекомендуется в районах города с широким распространением агрессивных сред предпочтительно использовать сульфат-

тостойкий цемент (по ГОСТ 22266–76) и бетоны марок W6 и W8.

Литература

1. Москвин В.М. Коррозия бетона и железобетона, методы их защиты. – М.: Стройиздат, 1980. – 563 с.
2. СНиП 2.03.11–85. Защита строительных конструкций от коррозии. – М.: Стройиздат, 1990. – 45 с.
3. Makarov V. N. Active Layer Modification and Its Effect on the Infrastructure of Yakutsk Permafrost Engineering, Fifth International Symposium / Proceedings (Yakutsk, Russia, 2–4 September 2002). – V. 2. – Yakutsk: Permafrost Institute SB RAS Press, 2002. – P. 173–178.
4. Makarov V.N., Torgovkin N.V. Saline Thawed and Frozen Grounds of Yakutsk. – International Conference «Earth Cryology: XXI Century». – Pushchino, Russia, 2013. – P. 111.
5. Вотяков И.Н. Физико-механические свойства многолетнемерзлых грунтов Центральной Якутии. – М.: Изд-во АН СССР, 1961. – 62 с.

Поступила в редакцию 14.04.2014