

УДК 662.23

Мулюков Э.И. – доктор технических наук, профессор

E-mail: urm_nat@list.ru

Уфимский государственный нефтяной технический университет

Адрес организации: 450080, Россия, г. Уфа, ул. Менделеева, д. 195

О дисциплине «Инженерно-строительная карстология»

Аннотация

В работе изложены некоторые фрагменты дисциплины «Инженерно-строительная карстология», в т.ч. а) механизм растворения пород; б) противокарстовые фундаменты, позволяющие произвести реставрацию основания и фундамента существующего здания; в) плитный фундамент с технологическими каналами, позволяющий ликвидировать последствия проседания, провала; г) спаренные многосекционные сваи для усиления оснований и фундаментов существующих зданий. Рассмотрен сборный ленточный фундамент, армируемый в процессе монтажа как жесткая балка-стенка. Сформулирован закон инженерно-строительной карстологии.

Ключевые слова: жесткая балка-стенка, «Инженерно-строительная карстология», плитный фундамент, противокарстовые фундаменты, сборный ленточный фундамент, спаренные многосекционные сваи.

Введение

Инженерно-строительная карстология (ИСК) формируется с 80-х гг. XX в. как один из разделов инженерной геологии. ИСК тесно связана со строительными дисциплинами: инженерная геология, химия, механика фунтов, основания и фундаменты, подземные сооружения, строительные материалы, строительная механика, надежность и др.

В условиях Башкирии ИСК активно развивается в связи с массовым промышленным и жилищным строительством в Уфе и др. городах, на площадках, предрасположенных к карстопроявлениям [1]. За прошедшие годы в рамках ИСК накоплен определенный опыт, положенный в основу региональных документов (ВСН 2-86, РСН 1-91, ТСН 302-50-95.РБ), отраженный в публикациях, авторских свидетельствах и патентах [2]. ИСК преподается в УГНТУ на архитектурно-строительном факультете и в Институте дополнительного профессионального образования с 2002 г.

1. О растворении пород

Процесс растворения пород в воде происходит в гетерогенной системе и сопровождается возникновением поверхностного концентрированного слоя, взаимодействующего с окружающей жидкой фазой (водой), имеющей какую-то (обычно уменьшенную) концентрацию. При этом самопроизвольно возникает стремление системы к выравниванию концентраций, что зависит от скорости диффузии, а также от факторов, её ускоряющих.

В нормальных условиях процесс протекает в две стадии. *На первой стадии* вокруг/на поверхности, как отмечено выше, образуется диффузионный слой в виде пленки насыщенного раствора, благодаря отрыву (растворению) полярными молекулами воды молекул породы. *На второй стадии* происходит отвод растворенного вещества из диффузионного слоя в проточную воду путем взаимного проникновения соприкасающихся жидкостей. Это происходит самопроизвольно благодаря тепловому движению молекул в направлении меньшей концентрации вещества и ведет к выравниванию химического потенциала в закрытой (изолированной) схеме. При проточной (открытой) схеме возможность отвода вещества из слоя зависит от концентрации вещества в проточной воде (рис. 1).

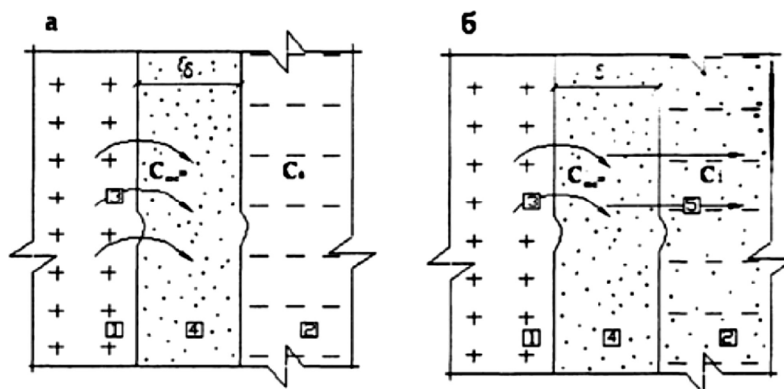


Рис. 1. Механизм растворения породы: а – I стадия; б – II стадия; 1 – порода; 2 – вода проточная; 3 – отрыв молекул породы; 4 – сформированный диффузионный слой δ ; 5 – отвод растворённого вещества; c_∞ – концентрация растворённого вещества в диффузионном слое (растворимость); c_0 , c_1 – концентрация вещества в проточной воде на I и II стадиях растворения

В обеих стадиях концентрация вещества в диффузионном слое сохраняется насыщенной, равной растворимости породы, благодаря продолжающемуся отрыву продукта из твердой фазы. Скорость диффузии вещества на второй стадии при отсутствии внешних воздействий описывается первым законом *А. Фика*, устанавливающим пропорциональность диффузионного потока частиц градиенту их концентрации [3]:

$$v = D \frac{c_\infty - c}{\delta}, \quad (1)$$

где v – скорость диффузии; D – коэффициент диффузии; δ – толщина диффузионного слоя (пленки), через который идет диффузия; c_∞ – предельная концентрация вещества (растворимость) в пленке; c – концентрация вещества в жидкой фазе (в растворе), характеризующая минерализацию контактирующей воды.

Из формулы (1) видно, что при равенстве концентраций ($c_\infty = c$) растворение породы прекращается. Зависимость скорости растворения пород от окружающей температуры t °С описывается уравнением *С. Аррениуса*:

$$K = A \exp\left(-\frac{E}{RT}\right), \quad (2)$$

где K – константа скорости растворения для соответствующего типа карстующейся породы; A – множитель с размерностью $[\text{г} \cdot \text{см}^{-2} \cdot \text{сек}^{-1}]$; E – энергия активации, определяющая скорость растворения при данной температуре; R – газовая постоянная; T – температура термодинамическая по шкале Кельвина, $T = t$ °С + 273,15 К.

Скорость диффузионных процессов при повышении температуры на один градус растет на 1... 3 % [3]. Это подтверждается на практике. Оказалось, что скорость развития карбонатного карста в тропиках повышается до скорости растворения сульфатного карста, характерной в умеренных широтах, что наблюдал В.И. Мартин на Кубе [4].

В работах А.Н. Щукарева и В. Нернста [5] показано, что процесс растворения пропорционален площади растворяющейся поверхности:

$$\pm \frac{dc}{dt} = S \cdot \frac{D}{\delta} (c_\infty - c), \quad (3)$$

где S – поверхность раздела фаз (контактирующая с водой поверхность).

Растворение породы ускоряется также при наличии трещин, кавернозности. Существенно процесс активизируется при дефектах в кристаллических решетках. Расклинивающее давление пленок жидкости в промежутках между твердыми поверхностями по Б.В. Дерягину и Е.В. Обухову также активизирует физико-химический процесс взаимодействия породы с водой.

Скорость растворения карстующейся породы в реальных условиях зависит от режима движения подземной воды. В ламинарном режиме растворение будет медленным, «спокойным», благодаря постоянной толщине диффузионного слоя и отсутствию перемешивания воды. Турбулентный режим нарушает сплошность диффузионного слоя, что существенно ускоряет процесс растворения. Естественно имеет значение рН среды и наличие в потоке нерастворимых тонкодисперсных фракций, что превращает подземную воду в суспензию, а собственно процесс взаимодействия породы с водой – в карстово-суффозионный. При этом наблюдается выщелачивание растворенных солей, нарушение микроагрегатной структуры грунтов (размыв) и вымывание в полости тончайших частиц породы с нисходящими токами воды.

Г.А. Максимович ввел понятие *кластокарст* [4], который наблюдается в обломочных породах (глинистых, песчаных, конгломератных) вследствие растворения содержащихся в них таких солей, как сульфат, карбонат, галит. В кластокарсте гетерогенная реакция протекает в среде глинистой массы, в которой формируется осмотический процесс, представляющий фильтрационную аномалию, т.е. с иными закономерностями, чем вышеприведенные.

Естественный карстово-суффозионный процесс происходит в сложных инженерно-геологических и гидрогеологических условиях, не стабильных в пространстве и во времени. Зачастую на него налагается антропогенный фактор. А различные модели процесса и прогнозы не всегда корреспондируются с реальностью. В связи с этим уместно вспомнить, что Ф.П. Саваренский и его коллеги, стоявшие у истоков становления инженерной геологии, проявляли озабоченность и призывали исключать «*в своей деятельности «гадательность» и упрощенческие подходы*» [6]. А геотехник Н.Н. Маслов отмечал, что «природная обстановка и реальные свойства грунтов и горных пород гораздо многообразнее и сложнее, чем это можно описать теми или иными формульными зависимостями» [7].

2. Растворимые минералы, горные породы и грунты

Характеристика пород. ГОСТ 25-100-95 на «Классификацию грунтов» содержит четыре класса, из которых I и II классы – осадочные породы. Они включают растворимые компоненты (табл. 1, графа 4): 1 – карбонатные; 2 – сульфатные; 3 – галогены; 4 – кластические (глинистые); 5 – просадочные (лессовые) грунты. В ту же графу 4 нами включены сульфидные породы типа 2а, залегающие на территории юго-восточной окраины Башкирии и вскрываемые в медно-серных рудниках.

1. Карбонаты – класс малорастворимых пород, растворимость равна примерно 0,07 г/л. Широко распространены в природе. Относятся к осадочным скальным породам. Имеют преимущественно ковалентный тип связи. Обладают достаточно высокой плотностью.

Образуют прослойки и мощные, до 60...80 м, пласты пермских горных пород, характерные, например, для центральной части Уфы с отм. 60... 180 м. Практическое отсутствие в таких сухих толщах полостей и низкое залегание УПВ (ниже отм. 80... 100 м) позволяет относить их к природным водоупорным экранам.

2. Сульфаты – класс распространенных хорошо растворимых пород, имеющих преимущественно $P > 10$ г/л. Только ангидрит, наиболее плотный из этой группы пород, малорастворим, т.е. $P < 2$ г/л. Однако гипс, тем более мирабилит, имеет хорошую и высокую растворимость соответственно (20,5-161,0 г/л). При наличии 5 обязательных условий для развития сульфатного карста требуется осмотрительность и чаще всего принятие противокарстовых мероприятий с учетом геологической обстановки и типа сооружения [2, 8].

Относятся к полускальным породам, имеют характерный ионный тип связи, невысокую плотность, низкую твердость. В центральной части Уфы под карбонатными толщами залегают гипсовые отложения с редкими в основном заполненными полостями на отм. 60 м по материалам изысканий.

2. Сульфиды – класс щелочных и щелочноземельных растворимых руд. Отличаются неустойчивостью, легко разрушаются и окисляются с переходом в растворимые сульфаты, проявляя соответствующие унаследованные показатели растворимости. Встречаются в месторождениях цветных металлов (Акъяр, Баймак, Бурибай, Сибай, Учалы – юго-восточная окраина Башкирии).

Таблица

Характеристика растворимых минералов, горных пород и грунтов

Классификация по ГОСТ 25100-95				Формула, плотность, растворимость				
Класс	Группа	Подгруппа	Тип породы	Вид и разновидность породы	Химическая формула	Плотность, г/см ³	Растворимость в воде ¹ , 20 °С, г/л	
1	2	3	4	5	6	7	8	
I - природные скальные грунты	Скальные	Осадочные	Карбонатные – 1	Доломит	MgCO ₃ CaCO ₃	2,89	малая	
				Кальцит, известняк, мел	CaCO ₃	2,71	0,07 малая	
				Магнезит	MgCO ₃	3,0	малая	
	Полускальные		Сульфатные – 2	Ангидрит	CaSO ₄	2,92	2,0 малая	
				Гипс	CaSO ₄ ·2H ₂ O	2,32	20,5 хорошая	
				Мирабилит	Na ₂ SO ₄ ·10H ₂ O	1,49	161,0 высокая	
			Сульфидные – 2 ^a	При O ₂ и H ₂ O образуется CaSO ₄ , H ₂ SO ₄	После разложения Me-SO ₄ , H ₂ SO ₄ примеси др. металлов	2,5-8,0	малая	
				Галогены – 3	Каменная соль, галит	NaCl	2,17	357,0 очень высокая
					Карналлит	KCl-MgCl ₂ ·6H ₂ O	1,6	очень высокая
	II - природные дисперсные грунты		Связные	Осадочные	Кластические (глинистые) – 4	Мергели: Известковые и доломитовые	CaCO ₃ , MgCO ₃ -CaCO ₃ , (OH)-Si ₈ Al ₄ -O ₂ O	2,0-2,2
Гипс землистый, засоленные грунты		CaSO ₄ ·2H ₂ O CaCO ₃ -SiO ₂ , (OH) ₈ -Si ₄ -Al ₄ -O ₁₀				1,7-1,9	Хорошая, малая	
Просадочные грунты (лёссовые) – 5		Пористые пылевато-сухие глинистые			Унаследована от исходного комплекса	1,3-2,0	Очень высокая за короткое время	

Примечание: растворимость, г/л: 500-200 очень высокая; 200-100 высокая; 100-10 хорошая; 10-0,01 малая

3. Галогены – класс очень высоко растворимых ($P=357$ г/л) пород. Распространены в залежах щелочных металлов, относятся к полускарпальным породам. Имеют ионный тип связи. Требуются значительные расходы при освоении галогенных территорий под строительство. Для соляных шахт (Соликамск, Березники в Пермском крае), чрезвычайную опасность представляет затопление, при котором шахту покидают. Откачка рассола усугубляет аварию. Здания, сооружения на земной поверхности получают значительные деформации.

4. Кластические – класс глинистых пород, содержащих дисперсные фракции известняка, доломита, гипса, ангидрита, а также кремнезема. Вялотекущий процесс растворения фракций приводит к длительным неравномерным осадкам оснований, т.е. к кластокарсту.

5. Просадочные грунты (лѣссы) – класс рыхлых полиминеральных пылеватоглинистых эоловых отложений, имеющих очень высоко растворимые солевые галоидные связи между частицами (зернами) грунта. В сухом состоянии обладают высокой прочностью. Приурочены к степной и сухостепной зонам. При воздействии воды связи (хлориды и др.) мгновенно (за 10... 15 с) распадаются с полной утратой структурной прочности.

Строительство на лессовых грунтах сопряжено с защитой от опасных просадок при замачивании.

3. Противокарстовые фундаменты

Много трудностей возникает при диагностике причин аномального поведения оснований эксплуатирующихся зданий и сооружений. Не менее легким является реализация технических решений по их стабилизации. В связи с этим могут представлять интерес ремонтнопригодные фундаменты, приспособленные для обследования состояния и усиления основания фундамента. Ниже названы примеры таких фундаментов: 1) фундамент с малопрочными вкладышами; 2) плитный фундамент с технологическими каналами; 3) фундамент свайный спаренный многосекционный.

1) Техническое решение сборного ленточного фундамента с вкладышами на естественном основании включает модернизированные фундаментные плиты (подушки), снабженные торцевыми вырезами размером, например, 160х320 мм на обоих торцах плиты по середине. При монтаже плит возникают «окна» размером 300х320х320 мм, заполняемые грунтом. При монтаже по плитам фундаментных стеновых блоков над «окнами» оставляются проемы размерами 400х600 мм (1200) мм на ширину блока, закладываемые малопрочным материалом (тощий бетон, кирпичная кладка на глиняном растворе) по ходу монтажа либо бетонирования. Шаг таких «окон» и проемов 4,8...7,2 м (рис. 2).

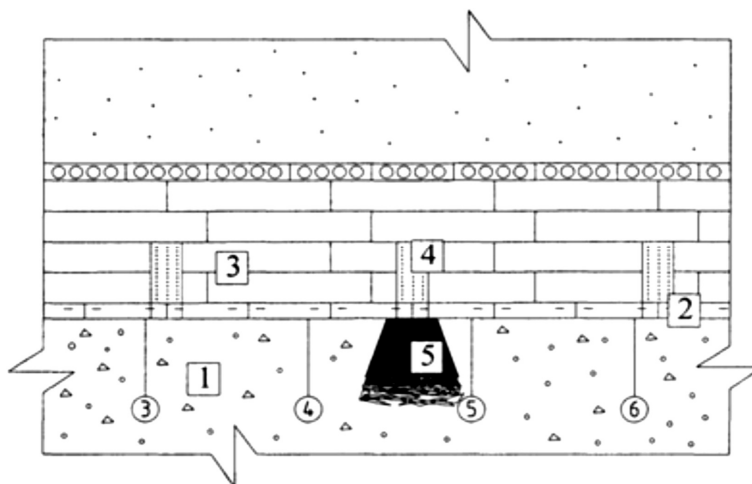


Рис. 2. Сборный ленточный фундамент с вкладышами:

- 1 – основание фундамента; 2 – фундаментные подушки с вырезами торцевыми;
- 3 – фундаментные стеновые блоки; 4 – вкладыши из малопрочного материала;
- 5 – отказ основания (осадка локальная, проседание, провал)

При отказе основания и появлении деформаций осадочного характера проем разбирается, «окно» в фундаментной плите расчищается. Затем производится диагностика состояния основания. Прорез в плите позволяет осмотреть контактную зону между основанием с подошвой, отобрать пробы грунта и воды, произвести усиление основания либо фундамента. Полость, обнаруженная под подошвой, позволяет сфотографировать ее внутренность.

При необходимости подошва фундамента обжатием основания включается в работу либо подводятся (вдавливаются) многосекционные сваи, до заданного сопротивления, упираясь домкратом в перемычку проема [9].

2) Плитный фундамент с технологическими каналами (диаметром 150 мм) удобен для диагностики возникшей полости под плитой. Назначение каналов такое же, как назначение «окон», описанных выше. Более подробная информация с иллюстрациями содержится в публикациях [2, 10]. В свое время технологические каналы были рекомендованы в монолитной фундаментной плите при реконструкции Башкирского государственного академического театра драмы им. М. Гафури.

3) Спаренные многосекционные сваи вдавливаются одновременно с обеих сторон существующего фундамента с помощью поперечной упорной балки до глубины, при которой достигается заданное сопротивление сваи [11]. Использовано в Уфе для усиления свайного однорядного ленточного фундамента Центра пенсий [12], бутобетонного ленточного фундамента при надстройке сценической коробки Башкирского государственного театра оперы и балета, при усилении сборного ленточного фундамента девятиэтажного КПД № 3 в кв. 15/13 [13].

Потеря геостойкости ленточным сборным фундаментом сопровождается повреждением несущих перекрытий и стен в зоне провала и даже их частичным разрушением вслед за обрушением фундаментных плит и блоков. Провальное исчезновение основания либо утрата им несущей способности ведет к перераспределению нагрузки, которая с провальной зоны «перескакивает» на соседние работоспособные участки фундамента и его основания, догружая их (рис. 3).

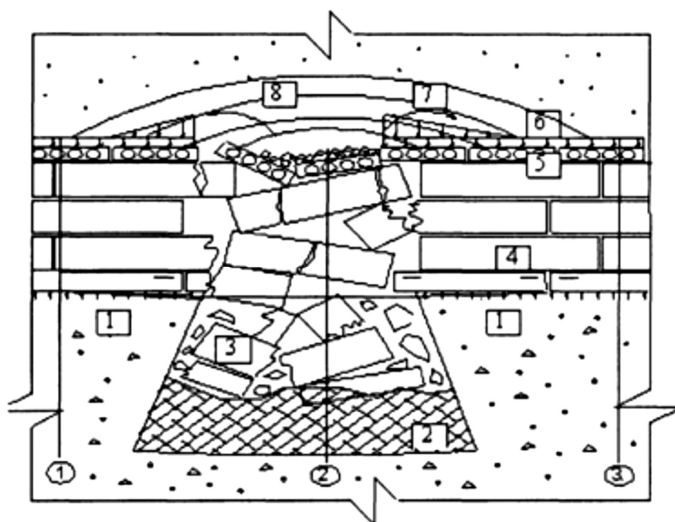


Рис. 3. Схема типового сборного ленточного фундамента над карстовым провалом:
 1 – основание фундамента; 2 – обрушенный грунт; 3 – обломки фундамента;
 4 – фундаментные плиты и блоки; 5 – плиты перекрытия; 6 – нагрузка на фундамент;
 7 – перераспределенная нагрузка; 8 – трещины арочные в несущих стенах непосредственно над провалом, затухающие снизу вверх

Предлагается рассматриваемый фундамент превратить в жесткую балку-стенку, которая сможет включиться в работу при возникновении карстовой особой нагрузки (рис. 4). Это достигается расчетным армированием сборного фундамента в горизонтальных и вертикальных швах между фундаментными плитами, стеновыми блоками и в стыках между блоками [14].

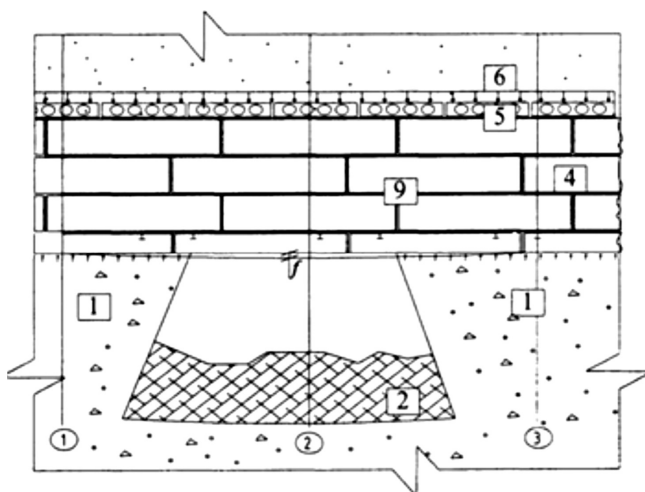


Рис. 4. Схема сборного ленточного армированного фундамента над карстовым провалом:
1, 2, 4, 5, 6 см. на рис. 2; 9 – объемное неразрезное армирование в монтажных петлях,
в горизонтальных и вертикальных швах фундаментных плит и блоков; f – расчетный прогиб

4. Закон инженерно-строительной карстологии

Состав, строение, свойства и режим растворения карстующихся пород определяются их генезисом и наличием пяти обязательных условий активизации карста: порода, ее скважность, вода, ее минерализованность и проточность. Его пассивация происходит при отсутствии одного любого из этих пяти условий. Карст воспринимает антропогенный фактор, характеризуется подземными и поверхностными проявлениями, является естественным динамичным состоянием земной коры и требует прогноза дальнейшего его развития, принятия при необходимости упреждающих противокарстовых мероприятий для снижения риска в инженерно-строительной деятельности.

Список литературы

1. Мартин В.И., Мулюков Э.И., Колесник Г.С. Об опыте изысканий, проектирования, строительства и усиления фундаментов зданий на закарстованных территориях (на примере Уфы). // Инж. геология, 1983, № 4. – С. 63-71.
2. Мулюков Э.И. О строительном карстоведении. Тр. Межд. научно-техн. конф. к 50-летию БашНИИСтроя: Фунд-ты в сложн., грунт. усл. и противооползн. сооруж. Т. 2. – Уфа: БашНИИСтрой, 2006. – С. 92-97.
3. Кузнецов В.В. Физическая и коллоидная химия. – М.: Высш. шк., 1968. – 390 с.
4. Максимович Е.Г., Максимович Н.Г., Катаев В.Н. Георгий Алексеевич Максимович: научное издание. – Пермь: «Курсив», 2004. – 512 с.
5. Полак А.Ф. Твердение мономинеральных вяжущих веществ (вопросы теории). – М.: Стройиздат, 1966. – 208 с.
6. Вклад академика Ф.П. Саваренского установление и развитие отечественной гидрогеологии и инженерной геологии: Научное издание. – М.: Наука, 2002. – 120 с.
7. Маслов Н.Т. Основы инженерной геологии и механики грунтов. – М.: Высш. шк., 1982. – 511 с.
8. Мулюков Э.И. О карстовом процессе и строительном освоении закарстованных территорий (на примере Башкирии). // Основ., фонд-ты и мех. грунтов, 1998, № 1. – С. 16-19.
9. А. с. 2037604 СССР. Способ усиления фундамента здания, сооружения / Мулюков Э.И., 1995, № 17.
10. Пат. №65514, РФ. Плитный с технологическими каналами фундамент здания (сооружения) / Мулюков Э.И., Семенов А.А., Фаттахов М.М., Урманшина Н.Э., Вагапов Р.Ф., Готман А.Л. Б.И., 2007, № 22.

11. А.с. 1008357 СССР. Способ усиления фундамента здания, сооружения / Мулюков Э.И., Колесник Г.С., Арасланов Р.Я. Б.И., 1983, № 12.
12. Мулюков Э.И., Урманшина Н.Э. Разрушение 5-этажного кирпичного здания на Уфимском косогоре. Тр. III Межд. конф. по геотехнике: Городские агломерации на оползн. тер., ч. I. – Волгоград: ВГАСУ, 2005. – С. 140-147.
13. Мулюков Э.И., Илюхин В.А., Травкин А.И., Казаков В.Д. Исследование причин отказа и усиление фундамента 9-этажного дома многосекционными сваями. Тр. Уфимского НИИПромстроя: Усил. осн. и фонд-ов сущ. зд. – Уфа, 1990. – С. 37-56.
14. Пат. № 2397292, РФ. Противокарстовый сборный ленточный фундамент: изобретение / Мулюков Э.И., Урманшина Н.Э., Фаттахов М.М., Хуснутдинов Б.Р., Гарева Н.Б., Садыков Р.Я. Б.И., 2010, № 23.

Muljukov E.I. – doctor of technical sciences, professor

E-mail: urm_nat@list.ru

Ufa State Petroleum Technological University

The organization address: 450080, Russia, Ufa, Mendeleev st., 195

About the discipline of «Engineering construction karstology»

Resume

In Bashkortostan, engineering and construction karstology actively developed by the massive industrial and residential construction in Ufa and other cities at sites predisposed to karst manifestation. Many difficulties arise in the diagnosis of the causes of the anomalous behavior of bases operated buildings and facilities. It is equally easy to implement technical solutions for their stabilization. In this connection it may be of interest the repairable foundations, adapted for survey of the state and strengthen the base of the foundation.

Some fragments of discipline of «The karstology of engineering construction», including; a) the mechanism of dissolution of karst; b) antikarstology foundation adapted for restoration of footing and foundation of the existing buildings the foundation slab with technological channels, which allows to eliminate aftereffect of subsidence and sinkhole collapse; d) the coupled multisection piles for strengthening of footing and foundation of the existing buildings are described in the work. The typical modular tape base reinforced during the installation is considered, as a rigid beam-wall.

Karst takes the anthropogenic factor, characterized by groundwater and surface manifestations, is a natural dynamic state of the crust and the forecast calls for its further development, if necessary, taking proactive measures to reduce anti karst risk in construction and engineering.

Keywords: stiff deep beam, the karstology of engineering construction, antykarstology foundation, the foundation slab, prefabricated band foundation, the coupled multisection piles.

References

1. Martin V.I., Muljukov E.I., Kolesnik G.S. On the experience of research, design, build and strengthen the foundations of buildings in the karst areas (for example, Ufa). Ing. geology., 1983. № 4. – P. 63-71.
2. Muljukov E.I. On the construction Karst. Tr. Int. Scientific and Technical. conference. the 50th anniversary of BashNIStroya: Foundations in difficult ground conditions and landslide structures. – Ufa BashNIStroy, 2006, T. 2. – P. 92-97.
3. Kuznetsov V.V. Physical and colloidal chemistry. – M.: Higher. school., 1968. – 390 p.
4. Maksimovich E.G., Maksimovich N.G., Kataev V.N., George A. Maksimovich: scientific publication. – Perm: «Italic», 2004. – 512 p.
5. Polak A.F. Hardening of monomineralic binders (questions of theory), – Moscow: Stroizdat, 1966. – 208 p.

6. Contribution of Academician F.P. Savarenskii establishment and development of domestic Hydrogeology and Engineering Geology: The scientific publication. - Moscow: Nauka, 2002. – 120 p.
7. Maslov N.T. Foundations of engineering geology and soil mechanics. – M.: Higher school., 1982 – 511 p.
8. Muljukov E.I. On the karst process development and construction karst areas (for example, Bashkortostan). J. Foundation Engineering and Soil Mechanics, 1998, № 1. – P. 16-19.
9. A. a. 2037604 USSR. Way to strengthen the foundation of a building, structure / Muljukov E.I., 1995, № 17.
10. Pat. Number 65514, the Russian Federation. Slab with the technological foundation of the channels of the building (structure) / Muljukov E.I., Semenov A.A., Fattakhov M.M., Urmanshina N.E., Vagapov R.F., Gotman A.L. B.I., 2007, № 22.
11. A. a. 1008357 USSR. Way to strengthen the foundation of a building, structure / Muljukov E.I., Kolesnik G.S., Araslanov R.J. B.I., 1983, № 12.
12. Muljukov E.I., Urmanshina N.E. Destruction of 5-storey brick building at the Ufa slope. TP. III Int. conference. in geotechnics: Urban agglomerations in the landslide. ter. - Volgograd. VSABA, 2005, p. I. – P. 140-147.
13. Muljukov E.I., Ilyukhin V.A., Travkin A.I., Kazakov V.D. Research the causes of failure and increasing the base 9-storey building multisection piles. Tr. Ufa NIIPromstroya: Strengthening of the foundations of existing buildings. – Ufa, 1990. – P. 37 - 56.
14. Pat. Number 2397292, the Russian Federation. Protivokarstovy precast strip foundations: an invention / Muljukov E.I., Urmanshina N.E., Fattakhov M.M., Khusnutdinov B.R., Gareeva N.B., Sadykov R.I. B.I., 2010, № 23.