

КАРБОНАТНЫЕ ЭЛЮВИАЛЬНЫЕ ГРУНТЫ БУГУЛЬМИНСКО-БЕЛЕБЕЕВСКОЙ ВОЗВЫШЕННОСТИ

А.И. Латыпов, А.Н. Гараева, Э.А. Королев

Казанский (Приволжский) федеральный университет, 420008, Республика Татарстан, г. Казань
ул. Кремлевская 4/5, e-mail: airatlat@mail.ru

Бугульминско-Белебеевская возвышенность занимает большой участок юго-восточной части Волго-Уральской антеклизы Восточно-Европейской платформы. Она представляет собой холмистую равнину с высотными отметками 320-450 м. С севера возвышенность ограничена долиной реки Кама, с юго-запада – Мелекесской низменностью, постепенно спускающейся к Волге, с востока – долиной реки Ик. Характерной особенностью Бугульминско-Белебеевской возвышенности является ступенчатость рельефа [2]. Водоразделы носят платообразный характер и представляют собой останцы древних денудационных поверхностей, разделенных уступами [6].

Эрозионно-денудационные останцы сложены породами казанского и уржумского яруса среднепермского возраста. Казанские отложения формировались в условиях мелководно-морского бассейна. Они представлены зеленовато-серыми песчаниками, светло-серыми известняками и доломитами. Уржумские отложения формировались в континентальных условиях, за счет сноса терригенного материала с разрушающихся Уральских гор. Они представлены красноцветными песчаниками, глинами и мергелями с небольшими по толщине прослойками доломитов. На юго-восточном участке Бугульминско-Белебеевской возвышенности отложения уржумского возраста размыты. За счет этого на выположенных вершинах и склонах останцев обнажаются карбонатно-терригенные породы верхней части разреза казанского яруса. Начиная с плиоцена на рассматриваемой территории активно протекали процессы физико-химического выветривания и выноса обломочного материала в понижения долин малых рек. За счет этого и был сформирован современный абразионно-аккумулятивный рельеф Бугульминско-Белебеевской возвышенности с перепадами в 150-260 м.

Промышленное освоение территории привело к необходимости возведения в пределах Бугульминского плато многочисленных объектов и сооружений нефтедобывающего производства и сопутствующих гражданских объектов. Высокий уровень ответственности многих сооружений объектов нефтедобычи подразумевает наличие повышенных требований и к проектированию оснований фундаментов инженерных конструкций. В частности, основные проблемы при прокладке нефте- и газопроводов и обустройстве оснований станков-качалок возникают с грунтовой толщей верхней части геологического разреза, подвергшейся воздействию гипергенных процессов. Высокая степень структурной

неоднородности грунтов зоны гипергенеза обуславливает их принадлежность к категории специфических грунтов, требующих дополнительных инженерно-геологических исследований. Между тем, на исследуемой территории до настоящего времени мало известно об особенностях распространения элювиальных отложений в массивах, их строение, степени выветрелости пород и изменениях физико-механических свойств по разрезу. Учитывая это, было проведено изучение элювиальных отложений, развивающихся по карбонатным породам Бугульминско-Белебеевской возвышенности.

Методика изучения включала в себя описание и фотодокументацию стенок карбонатных карьеров, вскрывающих разрезы зоны гипергенеза. При описании вскрытых разрезов выделялись слои пород различной степени преобразованности, отмечались особенности их сложения и минерального состава. Попутно проводился отбор образцов пород для определения их физико-механических свойств. В общей сложности было исследовано 26 карьеров, расположенных в пределах Бугульминского плато.

Анализ распространенности элювиальных толщ показал, что в пределах Бугульминско-Белебеевской возвышенности широко распространены коры выветривания в начальной стадии формирования. Они покрывают практически все выположенные вершины эрозионно-денудационных останцев. На склонах останцев элювиальные отложения не выражены либо отсутствуют за счет постоянного сноса выветрелого обломочного материала. В долинах малых рек элювий захоронен под относительно мощной толщей делювиальных и аллювиальных отложений. Таким образом, определенную проблему составляют элювиальные грунты выположенных вершин эрозионно-денудационных останцев, слагающих верхнюю часть карбонатных массивов, поскольку именно они в большинстве случаев находятся во взаимодействии с инженерными сооружениями.

Анализ геологических разрезов верхней части карбонатных массивов, подвергшихся изменениям под действием экзогенных факторов, позволил установить закономерности преобразования пород под влиянием процессов гипергенеза. В исходном, неизменном, состоянии известняки и доломиты, слагающие эрозионно-денудационные останцы, представляют собой плотные породы, светло-серой окраски, с микро-тонкозернистой структурой, массивной или неясно-слоистой текстурой за счет наличия глинистых слоев. Карбонатные породы в массивах разбиты системами вертикальных и горизонтальных трещин на крупноблочные отдельности. Протяженные трещинные фильтрационные каналы раскрытостью до 5,0 см обусловили хорошую дренированность верхней части эрозионно-денудационных останцев, исключая образования здесь застойных водоемов или заболоченных понижений. Таким образом, породы зоны гипергенеза большую часть времени находились в условиях низкой увлажненности, что существенно замедлило интенсивность их выветривания.

В геологических разрезах, где процессы выветривания зашли более глубоко, по поверхностям карбонатных массивов эрозионно-денудационных останцев развиваются молодые коры выветривания площадного типа

мощностью до 4,0-6,0 м. В основании кор выветривания лежат плотные, слабо трещиноватые известняки, сложенные микрозернистым кальцитом. Однородный минеральный состав и структура predeterminedили высокую устойчивость пород к процессам выветривания. За счет этого они в большей части разрезов стенок карьеров являются ложем для покровных элювиальных отложений. На плотных известняках согласно залегают более разуплотненные карбонатные породы, разбитые системами вертикальных и горизонтальных трещин на крупно плитчатые отдельности. Снизу вверх по разрезу последовательно увеличивается количество пересекающихся трещин, возрастает степень их раскрытия, в полостях разрывных нарушений появляется иллювиальный тонкодисперсный карбонатный материал. Соответственно, снизу вверх уменьшаются размеры блоков отдельностей с блочной параллелепипедной до грубо-, толсто- и средне-плитчатой. Мощность этого слоя составляет от 1,5 до 2,0 м. Особенностью слоя разуплотненных карбонатных пород является хорошая структурированность отдельностей. Все блоки и плитки, отделенные друг от друга трещинами, сохраняют особенности залегания и структурно-текстурные характеристики исходных известняков и доломитов. То есть, на начальной стадии гипергенного преобразования карбонатные породы подвергаются дезинтеграции, что приводит к увеличению их водо- и газопроницаемости.

Над слоем структурного элювия залегают более рыхлые известняки и доломиты, представляющие собой горизонт бесструктурного элювия. Слой бесструктурного элювия сложен разобщенными плиточками карбонатных пород, размеры которых уменьшаются снизу вверх по разрезу молодой коры выветривания. Если в пределах слоя структурного элювия блочные и плитчатые отдельности расположены упорядоченно, то здесь все тонкие плиточки разрушенных известняков и доломитов разориентированы по отношению друг к другу. В отдельных участках горизонта плиточки налегают друг на друга, в других - наклонены под углом 5-20°, в третьих - волнообразно изгибаются, образуя небольшие по амплитуде экзогенные складочки. Плиточки карбонатных пород разделены относительно широкими вертикальными и горизонтальными трещинами, заполненными тонкодисперсным карбонатным материалом с включениями дресвы. Мощность горизонта составляет от 0,3 до 0,6 м.

Венчает профиль молодой коры выветривания горизонт, сложенный карбонатной мукой с включениями угловатых обломков известняков и доломитов размером до 2,0 см. Карбонатная мука характеризуется рыхлым сложением, светло-серой окраской, преимущественно тонкозернистой структурой и однородной текстурой. В тонкозернистом слабощементированном материале присутствуют разобщенные угловатые обломки исходных карбонатных пород. Дресва распределена неравномерно, снизу вверх наблюдается тенденция уменьшения количества крупнообломочного материала. В кровле горизонта карбонатная мука обогащается глинистым материалом, придающим элювиальным грунтам светло-бежевую окраску. Глинистый материал поступает из вышерасположенного почвенно-растительного слоя в период таяния снега и

ливневых осадков. В отдельных разрезах стенок карьеров верхняя зона бесструктурного элювия имеет более сложное строение. В его пределах наблюдается переслаивание слоев различной степени преобразования. Слои карбонатной муки могут чередоваться со слоями тонкоплитчатых карбонатных пород цементированных тонкодисперсным карбонатно-глинистым иллювием. Мощность слоя карбонатной муки варьирует от 0,3 до 0,8 м.

Перекрываются элювиальные отложения темно-бурыми делювиальными суглинками, поверх которых развивается почвенно-растительный слой. Толщина глинистого и почвенного слоя достигает до 0,5 м. На части вершин эрозионно-денудационных останцев делювиальные суглинки смыты временными потоками поверхностных вод. В этом случае почвенно-растительный слой развит слабо, на поверхность выходит уплотненная карбонатная мука. Атмосферные осадки периодически смывают рыхлые элювиальные отложения, что приводит к постепенному уменьшению мощности слоя бесструктурного элювия в разрезе молодой коры выветривания.

Как видно из строения бесструктурного элювия выветривание карбонатных пород сводится к физической дезинтеграции. Основным фактором выветривания являются сезонно-климатические перепады температур. Тонкие водные пленочки, заполняющие трещинки разгрузки и межзерновое пространство известняков и доломитов, оказывают расклинивающее действие на породы. С понижением температур поверхностная энергия незамерзающих поровых вод на границах с твердой минеральной фазой возрастает. Создающиеся напряжения разрывают межзерновые структурные связи в породах, способствуя их механическому разрушению [7]. Процессы химического выветривания отходят на второй план.



Рис.1. Обобщенная схема по степени экзогенного изменения скальных грунтов согласно ГОСТ 25100 2011 и фото профиля залегания карбонатных пород на территории п. Райлан Бугульминский район

Таким образом, в хорошо развитых профилях выветривания плоских вершин эрозионно-денудационных останцев хорошо выделяются две зоны: зона структурного элювия и зона бесструктурного элювия. Своеобразный карбонатный состав материнских пород привел к развитию здесь молодых кор выветривания обломочного типа. Отсутствие относительно мощной, развитой зоны химического выветривания связано с постоянным выносом тонкодисперсного материала плоскостными водами атмосферных осадков к подошве останцев, где из них формируются пролювиально-делювиальные шлейфы.

Отличия в сложении и структурных особенностях пород структурного и бесструктурного элювия предполагают различные подходы к изучению их физико-механических свойств. Зону развития структурного элювия по всем признакам можно отнести к скальным грунтам трещиноватых массивов. Их основные строительные свойства определяются степенью трещиноватости. Несмотря на высокие прочностные показатели пород в отдельных монолитах ($R_{сж}=14,8-72,4$ МПа) их устойчивость в массивах в целом будет определяться плотностью разрывных нарушений. Согласно работам [3] устойчивость пород в трещиноватых массивах будет определяться размерами элементарных блоков отдельностей. Поэтому были проведены подсчеты геометрических параметров экзогенных трещин разгрузки и размеров отдельностей в бортах карьеров. Согласно полученным результатам в основании структурного элювия размеры блоков отдельностей в виде параллелепипедов варьируют по длине в пределах 25,0-50,0 см, по ширине - 20,0-30,0 см, по высоте - 15,0-25,0 см. Коэффициент трещиноватости ($K_{тр}$) составляет 5-10%. По классификации Л.И. Нейштадт [8] карбонатные породы структурного элювия по степени трещиноватости можно отнести к средне- и сильно-трещиноватым. В верхней части слоя структурного элювия, где преобладают плитчатые отдельности карбонатных пород, длина монолитных фрагментов составляет 5,0-15,0 см, ширина - 3,0-10,0 см, высота - 2,0-5,0 см. Плитчатые отдельности отделены друг от друга открытыми трещинами шириной до 1,0 см. Карбонатные породы верхней части структурного элювия можно отнести к очень сильнотрещиноватым ($K_{тр} = 10-20\%$) и исключительно сильнотрещиноватым ($K_{тр} > 20\%$). Одновременно, с увеличением коэффициента трещиноватости отмечается тенденция уменьшения прочностных характеристик карбонатных отдельностей в слое. Это хорошо видно при сравнении величин сопротивления известняков на одноосное сжатие из различных частей грунтовых массивов (табл. 1).

Таблица 1

Сопротивления водонасыщенных грунтов на одноосное сжатие (R_c) из различных частей карбонатных массивов по районам Татарстана

Район РТ (количество карьеров)	Средние значения R_c , МПа		
	Слой 1 массивный слабо измененный известняк	Слой 2 трещиноватый известняк подошвы структурного элювия	Слой 3 трещиноватый известняк кровли

			структурного элювия
Нижекамский район (6 кар.)	65,3	35,2	18,1
Альметьевский район (6 кар.)	66,5	30,5	12,0
Бавлинский район (6 кар.)	68,1	29,2	18,7
Бугульминский район (6 кар.)	55,6	27,5	14,2
Черемшанский район (3 кар.)	65,9	32,0	12,4
Лениногорский район (5 кар.)	44,57	27,1	8,2

Как видно из таблицы, в разрезах карбонатных массивов снизу вверх, по мере увеличения интенсивности трещиноватости, происходит последовательное ухудшение механических свойств пород. Прочные ($R_{сж} = 120-50$ МПа) известняки переходят сначала в группу скальных пород средней прочности ($R_{сж} = 15-50$ МПа), а затем в группу скальных малопрочных грунтов ($R_{сж} = 5-15$ МПа) [1]. Подобная закономерность обусловлена снижением сил межзерновых структурных связей в породах по мере возрастания расклинивающего воздействия капиллярно-поровых вод [4] с увеличением трещинной водопроницаемости карбонатных массивов. Информация о среднем расстоянии между трещинами в стенках карьеров позволяет определить коэффициент структурного ослабления k_c для расчета прочности породных массивов $R_{сж}^M$ по формуле [5]:

$$R_{сж}^M = k_c * R_{сж}^0,$$

где $R_{сж}^0$ - прочность ненарушенной породы.

Согласно расчетам, слабо измененные карбонатные породы в грунтовом массиве ниже зоны развития молодых кор выветривания характеризуются прочностью сопоставимой с прочностью образцов ненарушенной породы, 45,37-59,85 МПа. В области развития структурного элювия прочность карбонатных массивов уменьшается. В подошве слоя структурного элювия прочность породного массива составляет от 16,26 до 21,12 МПа, в кровле - от 3,28 до 7,27 МПа.

Отложения зоны бесструктурного элювия молодых кор выветривания можно отнести к классу дисперсных несвязных грунтов. Согласно результатам гранулометрического анализа в их составе преобладают дресвяно-щебнистые обломки карбонатных пород размером более 2,0 мм, сумма которых составляет 70-80% (табл. 2). Доля заполнителя псаммитовой и алевритовой фракций варьирует от 20 до 30%. Согласно ГОСТ 25100-2020 [1] породы зоны бесструктурного элювия относятся к дресвяно-щебнистым разновидностям крупнообломочных грунтов. По гранулометрическому составу грунты неоднородные ($C_u > 3$), по степени влажности - малой степени насыщения ($0 < S_r < 0,5$ д.е), в дождливый сезон - средней степени насыщения ($0,5 < S_r < 0,8$ д.е). Обломки карбонатных пород характеризуются ослабленными структурными связями, что обуславливает их относительно небольшую прочность на одноосное сжатие ($R_{сж} = 5-10$ МПа). В верхней

части зоны бесструктурного элювия плитчатые фрагменты коренных пород легко ломаются руками при незначительном усилии.

Таким образом, монолитные карбонатные массивы в зоне развития молодых кор выветривания подвергаются процессам дезинтеграции, в результате чего формируется неоднородный по строению и свойствам вертикальный профиль. В пределах профиля выветривания можно выделить два инженерно-геологических элемента: структурный элювий и бесструктурный элювий. Слой структурного элювия характеризуется упорядоченной трещиноватостью за счет преимущественного развития трех систем трещин разгрузки, разбивающих грунтовый массив на блочные и плитчатые отдельности. Слой бесструктурного элювия характеризуется развитием хаотичной трещиноватости, разбивающей массив на оскольчатые фрагменты щебнистой и дресвяной размерности. С точки зрения геомеханики нижнюю часть профиля коры выветривания следует оценивать как трещиновато-блочную среду, верхнюю - как трещинно-пористую среду, в которой обломки карбонатных пород выполняют функцию «зерен», заполнитель в виде карбонатной муки - функцию цемента, а трещины - роль извилистых пор. Подобное деление подразумевает различную деформационную устойчивость пород к внешним нагрузкам и геодинамическим процессам (карст, суффозия, уплотнение).

Таблица 2

Фракционный состав грунтов бесструктурного элювия в карьерах,
расположенных в различных районах Татарстана

Местоположение карьера	Части карбонатного массива	Содержание обломочных частиц во фракциях, %							
		<10,0	10,0-5,0	5,0-2,0	2,0-1,0	1,0-0,5	0,5-0,25	0,25-0,1	<0,1
Лениногорский район	Слой 3	11,5	20,9	24,4	14,9	10,8	9,0	5,4	3,1
	Слой 2	39,9	11,6	28,5	3,2	10,6	2,4	3,1	0,7
Нижнекамский район	Слой 3	1,0	7,0	23,3	26,4	18,1	8,7	7,2	8,3
	Слой 2	23,0	28,2	20,9	7,5	7,8	2,0	9,8	0,8
Бавлинский район	Слой 3	25,4	11,5	11,8	9,2	8,8	7,9	12,6	12,9
	Слой 2	53,7	29,5	12,7	1,2	1,0	0,4	1,0	0,6
Бугульминский район	Слой 3	18,8	11,9	14,6	11,8	11,8	7,8	13,0	10,4
	Слой 2	48,4	26,1	17,6	1,8	2,3	1,0	1,8	1,1
Альметьевский район	Слой 3	25,2	8,8	13,8	18,4	14,2	12,5	3,8	3,3
	Слой 2	38,5	18,9	23,6	5,1	5,2	2,8	3,8	2,3
Черемшанский район	Слой 3	8,9	12,0	28,2	15,3	17,8	8,4	6,7	2,7
	Слой 2	41,7	15,8	10,2	6,0	8,1	4,6	7,5	6,3

*слой 2- трещиноватый известняк подошвы структурного элювия; слой 3- трещиноватый известняк кровли структурного элювия

Литература

1. ГОСТ 25100-2020. Грунты. Классификация.

2. *Клубов В.А., Мецержков Ю.А.* Использование геолого-геоморфологических методов при комплексных поисках нефтяных месторождений на платформе // Геология нефти и газа. 1957. №8, с. 18-28.

3. *Мочалов А.М., Кагермазова С.В., Гребенцева Г.А.* Учет влияния трещиноватости скальных и полускальных пород на прочность массива при оценке устойчивости бортов карьеров по данным разведки // Записки горного института. 2011. Т. 190, с. 304-309.

4. *Осипов В.И.* Физико-химическая теория эффективных напряжений в грунтах // Грунтоведение. 2013. №2, с.3-34.

5. СП 91.13330.2012 Подземные горные выработки. Актуализированная редакция СНиП II-94-80.

6. *Чернова И.Ю., Нургалиев Д.К., Нургалиева Н.Г., Нугманов И.И., Чернова О.С., Кадыров Р.И.* Реконструкция истории Татарского свода в неоген-четвертичный период по данным морфометрического анализа // Нефтяное хозяйство. 2013. №6, с.12-15.

7. *Черняховский А.Г.* Элювий и продукты его переотложения. М., Наука, 1966.

8. *Newstadt L.I.* Methods of geological researching fracturing rock at engineering-geological research. Moscow - Leningrad, 1957.