УДК 551.312.3: 552.123:624.131

О ВЛИЯНИИ СТРУКТУРЫ АЛЛЮВИАЛЬНЫХ КРУПНООБЛОМОЧНЫХ ГРУНТОВ НА ИХ ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА

Осовецкий Б.М., Копылов И.С.

Естественно-научный институт Пермского государственного национального исследовательского университета, Пермь, Россия (614990, г. Пермь, ул. Генкеля, 4), georif@yandex.ru

Рассмотрены методы дробного гранулометрического анализа аллювиальных отложений и способы обработки результатов. Описаны основные особенности детальной структуры крупнообломочного аллювия и ее влияния на инженерно-геологические свойства грунтов. Анализируются критерии, характеризующие изменение детальной структуры аллювия в направлении от гор к равнинам. Показано, что большую роль в формировании структуры аллювия и инженерно-геологических свойств играет блоковая тектоника и неотектоника, которая проявляется через различную геодинамическую (неотектоническую) активность. Установлено, что в пределах активно поднимающихся блоков земной коры (антиклинории, своды, поднятия), приуроченных к участкам высокой геодинамической активности, возрастают уклоны и скорость водного потока в руслах рек и формируется более крупный по размерам обломков галечно-валунный аллювий. При пересечении относительно опускающихся блоков (синклинории, впадины), приуроченных к участкам низкой геодинамической активности, уклоны и скорости течения уменьшаются, аллювий становится менее крупнообломочным гравийно-галечным.

Ключевые слова: инженерная геология, аллювиальные крупнообломочные грунты, дробный гранулометрический анализ, инженерно-геологические свойства, неотектоника, геодинамическая активность.

ABOUT THE INFLUENCE OF THE STRUCTURE OF ALLUVIAL COARSE DISINTEGRATED ROCK GROUNDS ON THEIR ENGINEERING-GEOLOGICAL PROPERTIES

Osovetsky B.M., Kopylov I.S.

Natural Science Institute of the Perm State National Research University, Perm, Russia (614990, Perm, Gencelya st., 4). georif@yandex.ru

The methods of fractional granulometric analysis of alluvial deposits and ways of result processing are considered. The main features of a detailed framework of a macrofragmental alluvium and its impact on geotechnical properties of soils are described. The criteria characterizing the change of the detailed structure of alluvium in the direction of the mountains to the plains are analyzed. It is shown that a large role in shaping the structure of alluvium and engineering-geological properties plays block tectonics and neotectonics, which is manifested through different geodynamic (neotectonic) activity. It is established that within actively rising blocks of the earth's crust (anticlinoriums, arches, uplifts) associated with the areas with high geodynamic activity, slope and the rate of water flow in the rivers increase and larger in size debris gravel-boulder alluvium is formed. When crossing the relatively falling blocks (synclinoriums, depression), dedicated to areas with low geodynamic activity, slope and speed of flow decreases, creating less of large size debris gravel-pebble alluvium.

Keywords: engineering geology, alluvial macrofragmental soils, fractional granulometric analysis, geotechnical properties, neotectonics, geodynamic activity.

Введение. Крупнообломочные грунты широко используются при строительстве различных сооружений. Их инженерно-геологические свойства меняются в очень широких пределах в зависимости от многих факторов региональной обстановки – структурно-тектонические, неотектонические, геодинамические, геоморфологические, гидрогеологические факторы [1; 3; 6], которые влияют на структуру грунтов.

По гранулометрическому составу крупнообломочные грунты разделяются на валунные (при преобладании неокатанных частиц – глыбовые) с размером частиц более 200 мм, галечниковые (для неокатанных – щебенистые) с размером 10-200 мм и гравийные (для неокатанных – дресвяные) с размером 2-10 мм и содержанием частиц по массе более 50% [4]. Струк-

тура крупнообломочных пород зависит от количества, размера и распределения обломков в массиве. Для количественной оценки структуры этих пород пользуются различными показателями – коэффициентами упаковки, которые учитывают проекцию расстояния между центрами частиц одной фракции и диаметр частиц. Этот процесс достаточно трудоемкий и может быть проведен только для крупных обломков.

Методика, результаты исследований, обсуждение

При изучении детальной структуры аллювиальных валунно-гравийно-галечных осадков многих рек России и ближнего зарубежья (Печоры, Онеги, Камы, Белой, Вятки, Дона, Десны, Днестра, Кубани, Кумы, Туры, Тобола, Ишима, Оби, Иртыша, Енисея, Лены, Чулыма, Томи, Ангары, Вилюя и др.) нами использован дробный гранулометрический анализ с рассевом обломочного материала на ситах по шкале гамма-Батурина [5]. Рассев грубообломочного материала крупностью более 5 мм производился из пробы представительного объема (50-100 л) на грохоте в полевых условиях. Из того же осадка отбиралась навеска материала крупностью менее 5 мм массой до 10 кг для определения гранулометрического состава на ситах в лабораторных условиях. В результате в интервале гранулометрической шкалы от 500 до 0,05 мм выделялось суммарно 40 классов обломочных частиц. Полученные данные позволили получить новую информацию об изменении инженерно-геологических свойств галечных грунтов. Структура крупнообломочных грунтов в первом приближении часто рассматривается как смесь двух составных частей: каркаса и заполнителя.

Каркас является обычно основой любого крупнообломочного грунта. Он сложен обломками валунной и галечной размерности, доля которых в объеме грунта меняется в широких пределах, и она определяет многие инженерно-геологические свойства галечного грунта, особенно прочность, проницаемость, пористость и др. Однако структура самого каркаса существенно меняется в зависимости от соотношения обломков разной крупности в его составе и их морфологии. Соотношение обломков разной крупности в составе каркаса определяется фациальной обстановкой осадконакопления, тектоно-геоморфологической, современной геодинамической (неотектонической) обстановками и т.д.

Дробный гранулометрический анализ галечных грунтов показал, что при высокой доле обломков каркаса в грунте, что обычно наблюдается в аллювиальных валунных галечниках высокогорных рек, и преимущественно округлой форме обломков наиболее крупные из них образуют структуру, напоминающую плотную или даже плотнейшую упаковку шаров. В связи с этим при описании структуры галечного осадка широко применяются различные геометрические модели.

Геометрические закономерности упаковки обломков каркаса изучались многими учеными (J.R.L. Allen, A.N. Coogan, A.N. Dyer, R.W. Manus, J.R. Hails, H.S. Pandalai). Предложе-

но несколько моделей плотной упаковки [10]. Другая группа моделей рассматривает т.н. свободные упаковки, в которых отсутствует соприкосновение крупных обломков друг с другом. Модель плотной упаковки приемлема для грунтов, в которых содержание валунно-галечного материала превышает некоторый минимальный предел [9]. Ниже этого предела обломки каркаса оказываются погруженными в массу частиц заполнителя.

С позиций концепций, основанных на геометрических закономерностях упаковки обломков, выполнено большое число экспериментов и наблюдений над природными грунтами. Так, Фрейзер [7] изучил галечники с замером объема составных частей грунта. Он доказал, что в природных грунтах наблюдается высокая степень заполнения пространства между галечными обломками за счет вхождения песчаных зерен матрикса в поры между ними. Одновременно им были изучены искусственные смеси. Экспериментально было доказано, что при изменении сферичной формы обломков на плоскую объем занятого обломками пространства уменьшается. Гарднер [9], используя данные экспериментов со стальными шарами, установил, что стабильные и достаточно плотные упаковки имеют плотность заполнения пространства от 0,59 до 0,63. Теоретические значения, соответствующие плотнейшим шаровым упаковкам, никто в природе не встречал. Поттер [8] определил содержание песчаного матрикса в 19 образцах галечника, которое составило в среднем 29%. Он сделал вывод о том, что галька и песок отлагались в период осадконакопления одновременно.

Нами показано [5], что модель плотной упаковки обломков каркаса применима для грунтов высокогорного валунно-галечного аллювия, с отдельными отклонениями – для среднегорного и низкогорного галечника. Наоборот, модель свободной упаковки соответствует структуре галечника равнинных рек. При уменьшении динамической активности водного потока (в средне- и низкогорном аллювии, а также на отдельных участках равнинных рек) в составе каркаса преобладают уже обломки пониженной крупности, и модель их структуры будет отличаться от модели плотной упаковки.

Наиболее детальные исследования проведены на примере среднегорного аллювия р. Белой (Урал), которые показали, что для грунтов, образованных при наиболее активной динамике водного потока, основой каркаса является валунное субраспределение обломков с модальным классом 160-125 мм, а общий диапазон крупности обломков этого субраспределения укладывается в интервал от 500-400 до 100-80 мм. Распределение этих обломков по крупности можно аппроксимировать логнормальным законом. Следующее субраспределение обломков каркаса может заполнять только пустоты, остающиеся после формирования структуры первого субраспределения. По законам плотнейшей упаковки объем пустот между равными шарами составляет около 25%, а диаметр наиболее крупного шара, плотно сидящего в пустоте, будет составлять около 1/2 диаметра крупного шара. Дробный рассев показал, что

фактически в природных галечниках это соотношение соблюдается. Так, второе по крупности крупногалечное субраспределние обломков представлено гальками с модальным классом 80-63 или 63-50 мм, а общий диапазон размерности может составлять от 100 до 40 мм. Третье среднегалечное субраспределение представлено обломками с модальным значением 40-31,5 или 31,5-25 мм, которые заполняют пустоты, образованные при укладке обломков двух более крупных. Наконец, четвертое мелкогалечное субраспределение имеет моду в интервале 20-16 или 16-12,5 мм.

Соответственно, объем пустот определяет и соотношение указанных субраспределений в грунте. Так, доля валунного субраспределения в грунтах р. Белой колеблется на разных участках реки от 5 до 30% (среднее 15%), крупногалечного – от 23 до 53% (среднее 40%), среднегалечного – от 12 до 30% (среднее 20%) и мелкогалечного – от 8 до 18% (среднее 14%). Данное соотношение явно свидетельствует о том, что валунные обломки не соприкасаются друг с другом и, таким образом, основу каркаса галечников р. Белой составляют крупногалечные обломки. При существенном отклонении формы обломков каркаса от шаровой объем пористого пространства между крупными обломками уменьшается, что заметно отражается на структуре грунта. Снижение пористости галечников и щебня происходит в направлении изменения формы обломков в следующей последовательности: шаровая – овальная – угловатая – дощатая.

Общая степень сортировки валунно-галечных обломков по крупности заметно меняется при переходе от горных районов к равнинным. В валунно-гаечных грунтах горных районов она весьма низкая, а для равнинных обстановок заметно повышается. Это проявляется, прежде всего, в изменении соотношения между субраспределениями обломков и их среднего размера. Например, в равнинных реках с хорошо сортированным аллювием обычно преобладает субраспределение мелкогалечных обломков с модой 16-12,5 мм.

Один из важнейших инженерно-геологических показателей – прочность галечного грунта определяется также петрографическим составом обломков каркаса, степенью их трещиноватости, выветрелости и другими показателями. При давлении на галечный грунт в первую очередь происходит уплотнение структуры каркаса. При его структуре, близкой к модели плотной упаковки обломков, уплотнение грунта практически не заметно. При свободной упаковке обломков каркаса оно может быть значительным.

Заполнитель галечных грунтов представлен гравийно-песчаными и алеврито-глинистыми частицами. Доля первых в составе галечного грунта составляет от 10 до 50%. Степень сортировки частиц заполнителя по крупности существенно повышается при переходе от горной обстановки к равнинной. Если в составе заполнителя валунно-галечных горных грунтов преобладают гравийные частицы, то в равнинных грунтах их очень мало из-за дроб-

ления сростков и мелких обломков пород в горных водотоках. В равнинных галечниках зрелых рек заполнитель представлен хорошо сортированным среднезернистым песком. Алеврито-глинистые частицы заполняют оставшиеся поры между обломками каркаса и гравийно-песчаными частицами. Однако степень заполнения этих пор может заметно отличаться. Так, отмостка на галечниковых отмелях многих рек сложена часто обломками каркаса, а заполнитель в ней может полностью отсутствовать. Пористость такого грунта может достигать 25-30%. Наоборот, в галечниках горных рек частицы заполнителя могут полностью заполнить все поры, а пористость грунта снижается до нескольких процентов.

Результаты дробного гранулометрического анализа показали, что представление о степени сортировки обломков галечных грунтов требуется детализировать. Применяемые коэффициенты сортировки (например, коэффициент Траска) не отражают всей полноты картины. Наиболее полное представление о степени сортировки галечных грунтов дает раздельная характеристика структуры каркаса и заполнителя. Проследить процесс постепенного повышения степени сортировки галечных грунтов можно в направлении от горных районов к равнинным. В валунно-галечных аллювиальных грунтах в структуре каркаса и заполнителя наблюдается широкий диапазон размеров обломков. В галечных аллювиальных грунтах равнинных территорий резко сужается диапазон размерности обломков каркаса, и они приобретают высокую степень сортировки по крупности с долей преобладающей моды галечного материала (обычно 16-12,5 мм), достигающей 15%. Заполнитель такого осадка сложен хорошо сортированным среднезернистым песком с преобладающей модой обычно в узкоразмерном классе 0,4-0,315 или 0,315-0,25 мм, достигающей 19%.

Важным фактором, определяющим долю частиц заполнителя в галечном грунте, является его геологический возраст. Установлено, что примесь глинистого материала в галечных грунтах возрастает от молодых отложений к более древним. Причиной являются процессы литогенеза (химическое выветривание неустойчивых минералов, диагенетические процессы образования новых минералов, выпадение коллоидных новообразований, проседание глинистых частиц в поры осадка и т.д.). Это, в свою очередь, определяет изменение таких инженерно-геологических свойств грунтов, как пористость и проницаемость.

Валунно-галечные грунты обладают наиболее высокими значениями коэффициента неоднородности (Кн), который зависит от их структуры. Коэффициент неоднородности имеет сложную зависимость от среднего размера обломков. Так, в валунно-галечных аллювиальных грунтах р. Белой в высокогорных аллювиальных грунтах величина коэффициента неоднородности относительно низкая в связи с концентрацией основной массы обломков в составе каркаса, для низкогорного и предгорного аллювия она возрастает, а для хорошо сортированного равнинного – снова снижается (таблица 1, рисунок 1).

Таблица 1. Инженерно-геологические (гранулометрические) параметры галечных грунтов р. Белой

Максимальный диаметр обломков, d, мм	Средний медианный размер частиц, Md, мм	Коэффициент неоднородности, $К_н$	Коэффициент сортировки, So
600	42	8,7	4,2
500	30	6,5	4,1
400	41	40,7	3,9
300	21	74,4	2,3
200	21	51,7	2,5
100	19	43,3	2,4
70	9,5	29,2	4,2
50	6,8	21,4	3,7

Рис. 1. Гистограмма распределения обломков горного (А) и равнинного (Б) аллювия р. Белой по крупности

Большую роль в формировании структуры аллювия и инженерно-геологических свойств играет блоковая тектоника, которая проявляется через различную геодинамическую (неотектоническую) активность соответствующих фрагментов земной коры и вносит значительные коррективы в изложенные выше представления о структуре горного, предгорного и равнинного аллювия. В пределах активно поднимающихся блоков земной коры, приуроченных обычно к антиклинориям и сводам, возрастают уклоны и скорость водного потока в руслах рек. Соответственно формируется и более крупнообломочный аллювий. При пересечении относительно опускающихся блоков, приуроченных к синклинориям и впадинам, уклоны и скорости течения уменьшаются; аллювий становится менее крупнообломочным. Изменение крупности аллювия при пересечении активных блоков земной коры иногда оказывается весьма существенным. В пределах равнинной зоны могут встречаться участки с типично горным аллювием и наоборот. Эта закономерность хорошо выражена на примере р. Белой [5] и отображена на рисунке 2.

Рис. 2. Карта тектонического строения и геодинамической активности долины р. Белой с расположением пунктов отбора проб грубообломочного аллювия

Геодинамическая активность рассматриваемой территории установлена по нашей методике [2] на основе дешифрирования и обработки космических снимков среднего разрешения и проведения линеаментно-геодинамического анализа. При пересечении р. Белой в горной части Уральской разломно-надвиговой области трех тектонических структур (блоков) первого порядка установлена следующая закономерность. В пределах активно поднимающегося блока с чрезвычайно и очень высокой геодинамической активностью (участок Башкирского антиклинория, пробы 10-17) медианный диаметр обломков аллювия фации прирусловой отмели почти в 3 раза превышает таковой для аллювия опускающегося блока с низкой геодинамической активностью (участок Зилаирского синклинория, пробы 1-9), размер наиболее крупного обломка – более чем в 2 раза, содержание галечно-валунного материала – в 1,3 раза. В пределах участка Западно-Уральской зоны складчатости со средней геодинамической активностью крупнообломочные осадки прирусловых отмелей (пробы 18-25) характеризуются средними показателями, что соответствует умеренной активности неотектонического подъема данной территории.

Заключение. Результаты применения дробного гранулометрического анализа, имеющие важное теоретическое значение, могут найти практическое применение в области инженерной геологии как при изучении грунтовых условий, так и при оценке геодинамических особенностей территорий. Необходимо развивать эти методы в комплексе, применяя их в инженерных изысканиях и региональных исследованиях.

Список литературы

1. Копылов И.С., Осовецкий Б.М. Об улучшении свойств грунтов как строительных материалов в связи с инженерно-геологическими проблемами в строительстве // Современные проблемы науки и образования. – 2011. – № 3. - URL: www.science-education.ru/97-4705 (дата обращения: 04.09.2011).

2. Копылов И.С. Теоретические и прикладные аспекты учения о геодинамических активных зонах // Современные проблемы науки и образования. – 2011. – № 4. - URL: www.science-education.ru/98-4745 (дата обращения: 29.09.2011).

3. Копылов И.С. Региональные факторы формирования инженерно-геологических условий территории Пермского края / И.С. Копылов, А.В. Коноплев, Р.Г. Ибламинов, Б.М. Осовецкий // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета (Научный журнал КубГАУ) [Электронный ресурс]. – Краснодар : КубГАУ, 2012. – № 10 (84). - С. 191–201. – Режим доступа: http://ej.kubagro.ru/2012/10/pdf/15.pdf.

4. Межгосударственный стандарт. ГОСТ 25100-2011. Грунты. Классификация. Soils. Classification. – М. : Стандартинформ, 2011. – 78 с.

5. Осовецкий Б.М. Дробная гранулометрия аллювия. – Пермь : Изд-во Перм. ун-та, 1993. – 343 с.

6. Середин В.В. Методика инженерно-геологического районирования на основе балльной оценки классификационного признака / В.В. Середин, М.В. Пушкарева, О.Л. Лейбович, Н.С. Бахарева // Инженерная геология. – 2011. – № 3. – С. 20-25.

7. Coogan A.N., Manus R.W. Compaction and diagenesis of carbonate sands // Compaction of coarse-grained sediment. - Amsterdam-Oxford-Nev York, 1975. – Vol. 1. – P. 79-166.

8. Dyer K.R. Grain size parameters for sandy-gravels // J. Sediment. Petrology. – 1970. – Vol. 40. – № 2. – P. 616-620.

9. Hails J.R. Compaction and diagenesis of very coarse-grained sediments // Compaction of coarse-grained sediments. - Amsterdam-Oxford-Nev York, 1976. – Vol. 2. – P. 445-474.

10. Pandalai H.S., Basumallic S. Packing in a clastic sediment: concept and measures // Sediment. Geol. – 1984. – Vol. 39. – № 1-2. – P. 87-93.

Рецензенты:

Середин В.В., д.г.-м.н., профессор, зав. кафедрой инженерной геологии и охраны недр Пермского государственного национального исследовательского университета, г. Пермь.

Наумова О.Б., д.г.-м.н., профессор, зав. кафедрой поисков и разведки полезных ископаемых Пермского государственного национального исследовательского университета, г. Пермь.