

ЗАГАДКИ ГРУНТА В АНГКОРЕ, КАМБОДЖА

Й. ИВАСАКИ – д-р техн. наук, директор Геолого-исследовательского института, г. Осака, Япония.

Описаны особенности «каменного строительства», в регионе Ангкор (Камбоджа). Как и в любом другом регионе, мы сталкиваемся здесь с чудесами природы и загадочными рукотворными памятниками. Рассматриваются вопросы гидрогеологического режима реки и озера, а также особенности грунтов оснований древних памятников архитектуры Ангкора, в частности, песчаных грунтов средней плотности, служащих основанием 40...60-метровой каменной башни, и блоков из латерита, которые использовались не только в качестве фундаментов, но и как элементы строительных конструкций в некоторых памятниках. Блоки из латерита рассматриваются как один из факторов разрушения конструкций.

1. ВВЕДЕНИЕ

Ангкор – это регион, где кхмерам удалось достичь высочайшего уровня развития каменного строительства, процветавшего в Южной Азии в IX–XV вв. Автор статьи имел возможность изучить геотехнические характеристики Ангкора, являясь членом японской правительственной группы по сохранению Ангкора (JSA, 1995-02). Группа была организована в помощь Камбодже в 1994 г. на базе фонда по сохранению мирового наследия, учрежденно-го совместно Японией и ЮНЕСКО.

2. ПРИРОДНЫЕ ДОСТОПРИМЕЧАТЕЛЬНОСТИ

Река Меконг начинается на юго-востоке Китая, протекает через Лаос, Вьетнам и Камбоджу и сливается в Пномпене с притоком Тонлесап (рис. 1). В ее верхнем течении находится очень крупное озеро Тонлесап, которое простирается на 150 км с севера на запад. Озеро чрезвычайно мелководно, его глубина не превышает 3 м. В период дождей воды Меконга текут вспять, и уровень воды в озере достигает 10 м (рис. 2). Особые характе-

ристики озера Тонлесап – мелководность и большая протяженность – станут в будущем предметом исследований.

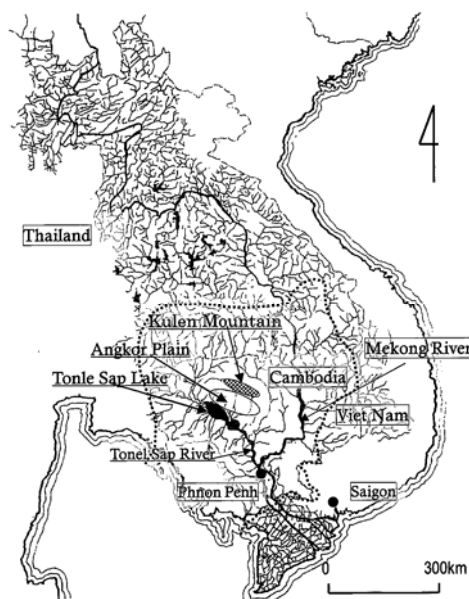


Рис. 1. Река Меконг, ее приток и озеро Тонлесап

В 802 н.э. на северном берегу озера Тонлесап остановился Джейавалманн II, возвращавшийся из плена в Индонезии. Он провозгласил создание империи кхмеров на горе в 50 км к северу от озера.

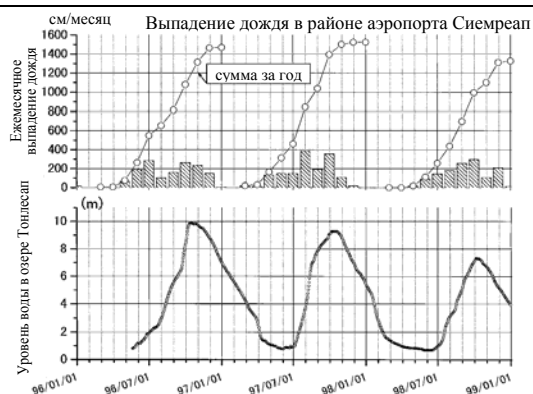


Рис.2 Сезонные изменения уровня воды в озере Тонлесап в период дождей

На рис. 3 представлена топология Ангкорской равнины, которая начинается у подножия горы Кулен на отметке примерно 50...60 м над уровнем моря. Равнина имеет очень плавный уклон 1:1000 в сторону озера Тонлесап, расположенного на отметке 0 м над уровнем моря.

Геология горы Кулен характеризуется наличием в основном юрских осадочных песчаников. Черными и белыми точками на карте

обозначены геологические скважины. Высота горы Кулен – примерно 400 м, центральная часть имеет вид плоского плато, окруженного периферийными склонами. Сама гора является огромным резервуаром воды, там берет свое начало река Сиамреап, снабжающая в сухой период водой равнину Ангкор. В целом, долина Ангкор хорошо обеспечена водой как озера Тонлесап на юге, так и водами с горы Кулен на севере, что позволяло получать большие урожаи риса и снабжать продовольствием всю империю.

3. РУКОТВОРНЫЕ ЗАГАДКИ

В каждом регионе мира существуют поразительные рукотворные памятники. Ангкор не является исключением. Автор хотел бы представить вниманию читателей несколько монументальных сооружений, находящихся в районе Ангкора, и связанные с ними загадки.

3.1. Загадка камней: как их доставили на место строительства?

За период независимости с 802 по 1431 г., когда Сиа́мская армия вторглась в Ангкор,

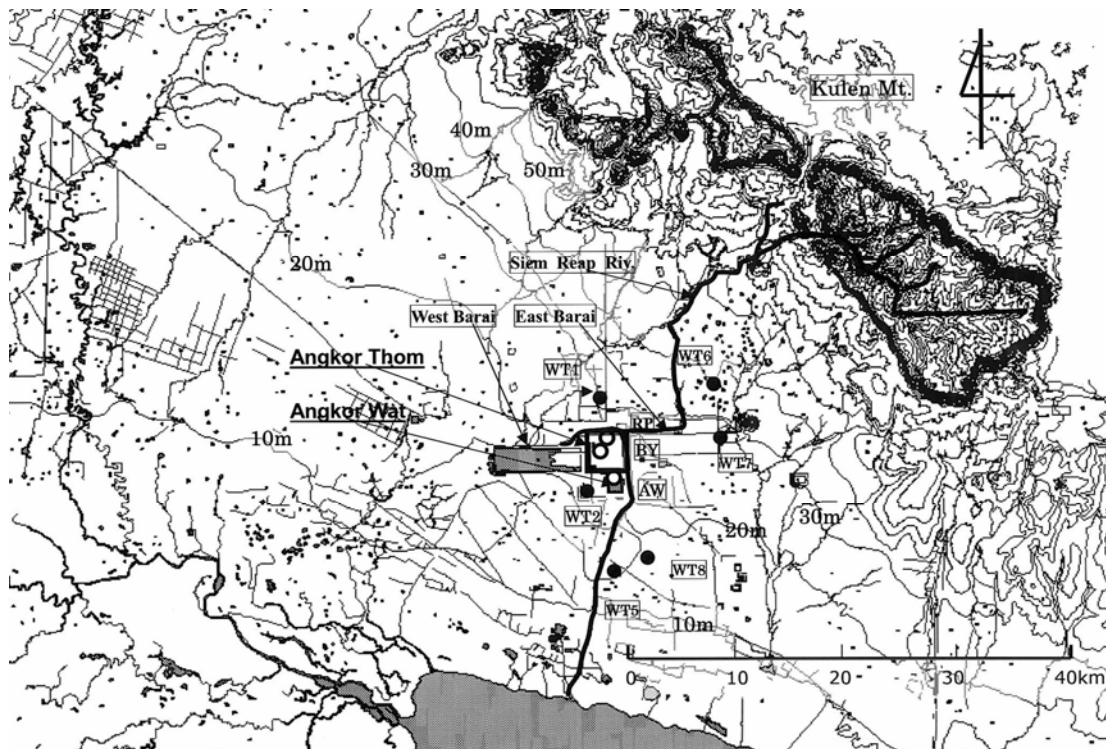


Рис.3. Топологические линии и расположение скважин

кхмеры развили уникальную философско-политическую систему, согласно которой император после своей смерти становился божеством, охраняющим империю. Каменные храмы строились каждым императором в основном в обширной долине между озером Тонлесап и горой Кулен.

Строительные материалы для возведения храмов доставлялись из разных каменоломен в горе Кулен в центр долины. Однако до сих пор остается загадкой, как кхмерские инженеры перемещали каменные материалы с горы на строительные площадки.

Обширная равнина между горой и озером была основным поставщиком продовольствия для империи. Основной рекой в долине является Сиамреап, которая берет начало на горе Кулен и течет на юго-запад, достигая озера Тонлесап. Река поставляет основную массу воды для ирригации и не пересыхает даже в период засухи.

3.2. Искусственный резервуар Барай

Гигантские искусственные озера были созданы для накопления воды из реки Сиамреап (рис. 4). Первым из них стало водохранилище Восточный Барай, устроенное в IX в. Считается, что оно стало бесполезным из-за чрезмерного заиливания. Второе искусственное озеро – Западный Барай было устроено вслед за первым. Искусственные плотины на этих озерах чрезвычайно велики: 7 км в длину и 2,5 км в ширину.

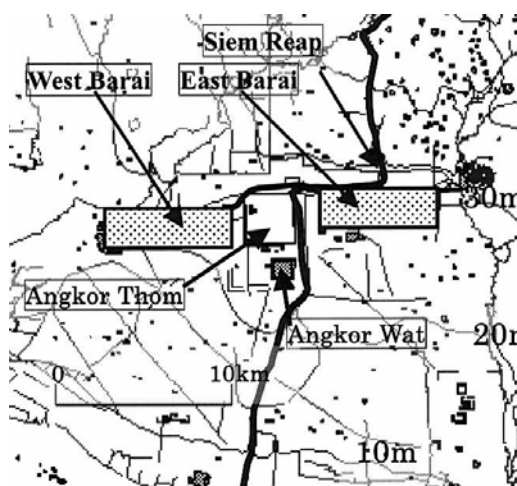


Рис. 4. Барай, Ангкор-Том, Ангкор-Ват и река Сиамреап

На рис. 5 показан топографический профиль района в направлении с севера на юг. Расстояние измерялось от линии северного берега озера Тонлесап. Барай и основные памятники отмечены точками между горой и озером.

Картографические исследования региона, проведенные ЛСА (японской комиссией по международному сотрудничеству), выявили, что нынешнее русло реки Сиамреап на 3–5 м ниже уровня исторической реки в месте расположения древнего каменного моста. Это дает возможность предположить, что высыхание восточного водохранилища Барай было вызвано углублением русла реки. Возможные методы углубления остаются пока предметом споров.

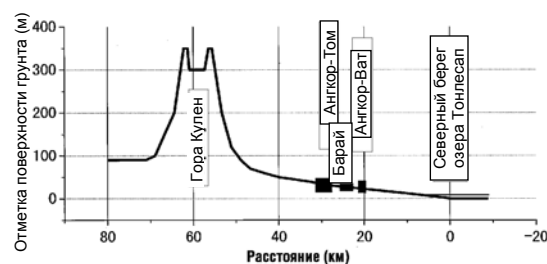


Рис.5. Профиль дневной поверхности от Тонлесап до горы Кулен (сечение север-юг)

3.3. Песчаники средней плотности в основании тяжёлых памятников

Комитет по сохранению Ангкора выполнил первое глубокое бурение до коренных пород в Ангкоре в 1995 г. (рис. 6, 8).

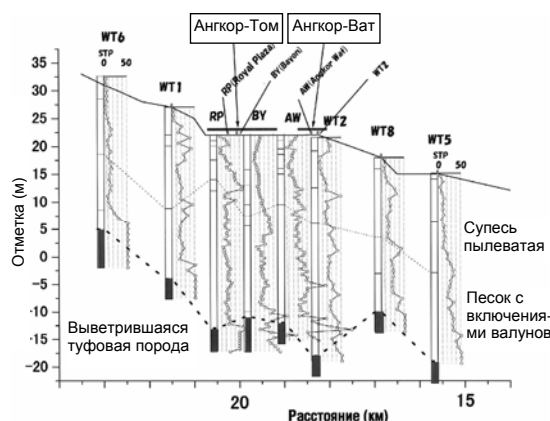


Рис. 6. Геологический разрез, по данным пенетрационных испытаний (см. расположение скважин на рис. 3)



Рис. 7. Байон, центральный храм в Ангкор-Том

Коренные породы имеют вулканическое или осадочное происхождение и залегают на глубине 70...80 м от дневной поверхности. Поверхностные слои разреза представлены осадочными породами четвертичного периода и состоят в основном из слоя мелкозернистого песка мощностью примерно 40 м. Величина N (количество ударов на залог), по данным пенетрационных испытаний SPT, не превысила 50 (см. рис. 8).

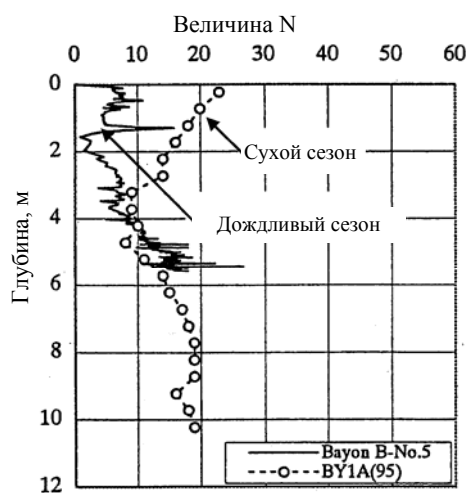


Рис. 8. Сезонные изменения значений пенетрационных испытаний

Показатель N, по результатам пенетрационных испытаний, на поверхности составляет 5 и увеличивается с глубиной (см. рис. 6).

Среднее значение N равняется примерно 20. Такие показатели являются условием устойчивости каменных строений высотой 42 м, таких как храм Байон в Ангкор-Том (рис. 9), или каменных сооружений высотой 60 м в Ангкор-Ват. Давление от некоторых каменных строений на грунт основания составляет от 300 до 600 кПа. Однако геотехнические данные, основанные на средней величине N для поверхностного грунта, равной 20, указывают, что грунт едва ли способен выдержать значительную нагрузку от веса конструкций.

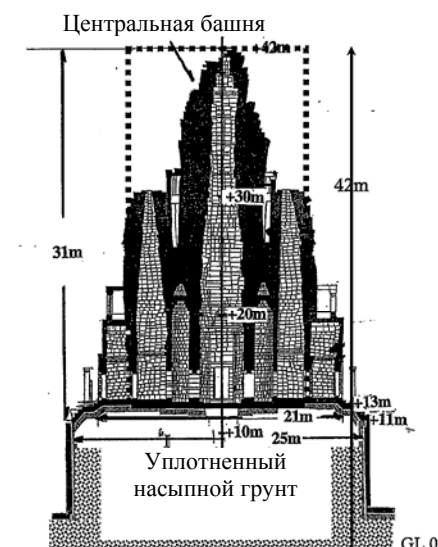


Рис. 9. Сечение Центральной башни, Байон

На рис. 8 показано изменение значения N , по данным пенетрационных испытаний, на площадке храма Байон в Ангкор-Томе. Видно, что верхний слой глубиной 3...4 м претерпевает сезонные изменения грунтовых характеристик. Также во время отрывки траншей было выявлено, что верхний слой грунта составляет насыпной грунт мощностью примерно 3 м.

На рис. 9 изображен храм Байон в Ангкор-Томе. Основная башня храма Байон достигает примерно 42 м в высоту от дневной поверхности и 31 м – от наносного слоя. Диаметр основания равен 21 м.

Общий вес каменной кладки равен приблизительно 4500 т, а среднее давление на основание из насыпного грунта оценивается от 450 до 800 кПа, что сопоставимо с нагрузкой от железобетонного здания в 20...40 этажей.

Археологическая группа комитета по сохранению Ангкора подтвердила наличие насыпного грунта из плотно спрессованного песка мощностью 3 м от дневной поверхности.

3.4. Крутая насыпь – храм Бафуон

На территории Ангкор-Томе находится храм Бафуон (рис. 10, 11). Высота башни составляет примерно 40 м при длине основания около 100 м. Внутренний материал сооружения – уплотненный песок. Начиная с 1906 г. в Ангкор-Томе работала группа французских реставраторов, которая во время работ в Боробудуре (Индонезия) имела возможность разработать новый метод консервации. Этот метод, называемый *анатолосис*, заключался в попытке использования исторических строительных материалов при реконструкции по оригинальным технологиям. Такой метод успешно применялся в 30-е гг. XX столетия.

При реставрации Бафуона должен был применяться такой же принцип. В 50-е гг. французские специалисты попытались поднять камни снова на крутую насыпь. Но так как угол крутой насыпи составляет 40° , после того как была построена первая ступень высотой 5 м, насыпь разрушилась. Была предпринята вторая попытка, но с тем же результатом.

В конце концов французы отказались от идеи следовать историческим технологиям и установили бетонную стену внутри пирамиды, чтобы сохранить земляные сооружения.

Сегодня нам не известно, как древние кхмеры могли строить такие высокие и крутые насыпи.



Рис.10. Храм Бафуон в Ангкор-Томе.

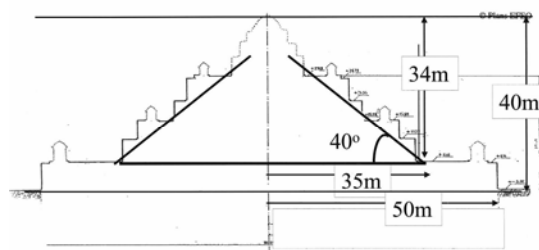


Рис.11. Вертикальное сечение храма Бафуон

3.5. Блоки из латерита

На рис. 12 изображена башня Прасат Суор Прат, что в переводе означает «Башня канатоходца», которая также расположена в Ангкор-Томе. При строительстве башни использовались блоки из латерита. (Латеритными блоками называется натуральный кирпич, который изготавливается путем нарезания грунта, содержащего высокий процент ионного оксида и окиси алюминия, и высушивания нарезанных блоков на солнце.)



Рис.12. Прасат Суор Прат (Башня канатоходца), Ангкор-Том

Окисление делает блоки очень твердыми, и именно они использовались в качестве материала при строительстве фундаментов в Ангкоре.

В данном случае блоки из латерита использовались не только для фундаментов, но и при строительстве стен башни. На рис. 13 показан один из типичных видов деформации, обнаруженных на входе в Прасат Суор Прат (Iwasaki, 1996). Горизонтальная балка была срезана от действия большой сосредоточенной вертикальной нагрузки. Было обнаружено, что под просевшим камнем латеритный блок сжался и его толщина уменьшилась.

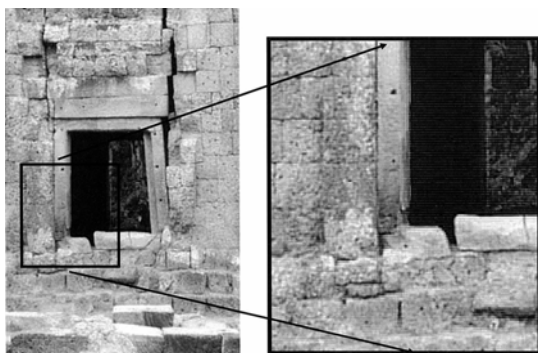


Рис. 13. Деформации блоков из латерита

Также было замечено, что блоки из латерита, используемые в качестве фундамента строений из песчаника, разрушились и раскрошились, что стало причиной деформаций памятника.

На рис. 14 показаны деформации насыпи вдоль рва в Ангкор-Вате. Можно предположить, что эти деформации были вызваны скольжением. Однако мы обнаружили, что камни не смещаются горизонтально из насыпи, а только проседают вертикально (рис. 15). Это происходит не из-за потери устойчивости насыпи, а в силу иных причин. Основным материалом при возведении строений были латеритные блоки, которые на сегодняшний день выветрились, разбились на несколько кусков и растворились в грунте, что и стало основной причиной деформаций насыпи.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В различных регионах существуют интересные природные феномены и загадки рукотворных исторических памятников. В этой работе автор попытался представить некоторые особенности исторических памятников, расположенных в Ангкоре.



Рис. 14. Насыпь в Ангкор-Вате



Рис. 15. Осадка насыпи

К природным чудесам относятся озеро Тонлесап и река Сиамреап, текущая с горы Кулен, которые своими водами обеспечивают процветание региона. Среди загадок рукотворных творений – устройство твердого насыпного основания для тяжелых каменных строений в условиях природного мелкозернистого песка средней плотности и фундаментов, изготовленных из латеритных блоков, обусловивших деформации строений вследствие естественного разрушения латерита.

В 2002 г. представители Франции, Японии, США, Германии, Италии, Китая, Индии и Швейцарии собрались в Камбодже, чтобы при координации ЮНЕСКО внести свой вклад в сохранение памятников Ангкора, объявленных ранее мировым наследием.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Iwasaki, Yoshinori, 1996. Geotechnical problem of Angkor monuments in Cambodia, Geotechnical Engineering for the Preservation of Monuments and Historic Site, Naples, Italy, pp.697-704, Balkema.
2. JSA, Annual Reports on the Technical Survey of Angkor Monument, 1995, 1996, 1997, 1998, 1999, 2000, 2001, 2002. Tokyo, JICE (Japan International Cooperation Center).