УДК 624.131.1

DOI 10.23968/1999-5571-2017-14-4-37-49

© Лу Шенпин, аспирант

© Lu Shengping, post-graduate student

E-mail: lsp.exe@yandex.ru

E-mail: lsp.exe@yandex.ru

© А. А. Лаврусевич, профессор, д-р геол.-минерал. наук

© A. A. Lavrusevich, Dr. Sci. Geol.- Min., Professor

(Национальный исследовательский Московский

(Moscow State University of Civil Engineering)

государственный строительный университет)

E-mail: lavrusevich@yandex.ru

E-mail: lavrusevich@yandex.ru

ТРАДИЦИОННЫЕ АРХИТЕКТУРНЫЕ ФОРМЫ И ТЕХНОЛОГИИ СТРОИТЕЛЬСТВА СООРУЖЕНИЙ НА ЛЁССОВЫХ МАССИВАХ

TRADITIONAL ARCHITECTURAL FORMS AND BUILDING TECHNIQUES OF STRUCTURES LOCATED ON LOESSIAL MASSIFS

Пещера (китайск. «яодун») — это уникальная форма жилища на лёссовых массивах, идеально адаптированная к природной среде. Пещеры широко распространены в провинциях Шэньси, Шаньси, Нинся, Ганьсу в Китае, для которых характерно широкое распространение лёссовых пород. С развитием общества строительные отрасли стали уделять внимание пещерам, так как они имеют преимущества в области энергосбережения, охраны окружающей среды, низкой себестоимости и других областях. Не следует забывать, что более 40 млн человек в Китае сегодня живут в пещерах. В статье проанализированы расположение и методы строительства пещер на основе изучения географической и геологической среды лёссовых массивов. Представлены планировка, особенности моделирования пространства, конструктивные характеристики и технологии строительства различных форм пещер, находящихся в определенных природных климатических и культурных условиях. Выявлено, что пещеры в лёссовых массивах соответствуют требованиям экологического строительства современного общества. Постулируется, что пещеры имеют несомненную исследовательскую ценность как ресурсосберегающие объекты, улучшающие экологическую среду и условия жизни людей на лёссовых массивах, а также как перспективные объекты строительства и эксплуатации сооружений, служащие расширению площади городов на лёссовых массивах.

Ключевые слова: лёсс, лёссовые массивы, Лёссовое плато, Китай, пещеры, традиционно-архитектурные формы, технология строительства, структура, метод строительства.

The cave ("yaodun" in Chinese) is a unique form of dwelling located on loessial massifs that is ideally adapted to the natural environment. Caves are widespread in such Chinese provinces as Shaanxi, Shanxi, Ningxia, Gansu, which are characterized with loessial rocks. With the development of society, construction industries began to pay attention to caves, as caves have advantages in the field of energy saving, environmental protection, low cost, etc. It is worth to remember that more than 40 million people in China live in caves today. This article analyzes the location and methods of cave construction on the basis of studying the geographic and geological environment of loess massifs. The authors present the planning, modeling features of space, design characteristics and technologies of building caves of various forms effected by certain natural climatic and cultural conditions. It is found out that caves in loessial areas meet the requirements of ecological construction of modern society. In view of this, it is claimed that caves located on loessial massifs have unquestionable research value as resource-saving objects that improve the ecological environment and living conditions of people. They are also promising objects of construction and operation of facilities for expanding cities on loessial massifs.

Keywords: loess, loessial massifs, loessial plateau, China, caves, traditional architectural forms, construction technology, structure, construction method.

Введение

Лёсс широко распространен по всему миру, но его количество в Китае значительно больше,

чем в других странах. Только в среднем течении реки Хуанхэ — в провинциях Шэньси, Шаньси, Ганьсу и Хэнань — площадь лёссового покрытия

достигает 630 тыс. км². Лесс — это уникальный земной ресурс, сравнимый с такими полезными ископаемыми метабиосферы, как торф, уголь, нефть, газ и др. Средняя мощность лессовых отложений в Китае составляет около сотни метров, что позволяет местным жителям создавать особенные архитектурные формы жилищ — пещеры (на китайском — «яодун») [1–4]. Еще на заре человеческой цивилизации пещеры являлись естественными укрытиями древнего человека от ненастья и диких зверей, где он чувствовал себя достаточно защищенным. С Лессовым плато связана колыбель китайской цивилизации. Именно на этой территории в лессовых отложениях встречены многочисленные находки, свидетельствующие о жизни предков китайского общества. Особые свойства лессовых пород позволили строить уникальные по технологии и архитектурно-конструктивным решениям сооружения — пещеры, которые вот уже тысячелетия удовлетворяют потребности жителей данного региона. Читая произведения о жизни населения Китая на Лессовом плато в XVIII в. [4], мы сегодня с удивлением обнаруживаем, что жилища остались прежними: разве что у входа в каждую жилую пещеру теперь висит спутниковая антенна. Это лишний раз подтверждает правильность решения жилищной проблемы китайского населения, насчитывающего свыше 4000 лет [5].

1. Геологические и географические факторы расположения форм сооружений на лессовых массивах

Большое влияние на архитектурную форму лессовых пещер оказывают рельеф лессовых массивов и характеристики прочностных свойств лесса, которые прежде всего зависят от возраста и генетических типов отложений. Выделяют лессы нижне-, средне- и верхнечетвертичного возраста (Q_1 , Q_2 , Q_3), а также рыхлые голоценовые отложения (Q_4). Из них средне- и верхнечетвертичные лессовые отложения имеют наибольшую мощность и распространены наиболее широко. Для них характерны светло-коричневый цвет, отсутствие слоистости, высокая пористость (до 60 %), вертикальная отдельность, а также просадочность, которая уменьшается с увеличением глубины. Основной гранулометрический состав — фракция пыли, представляющая собой

в основном обломки кварца; кроме нее, в состав лесса входят полевые шпаты, слюды, гранат, апатит, глинистые и другие минералы. Кремнезем в лессах может достигать 70–90 %, а карбонат кальция — обычно не менее 10 % [6–8].

На рис. 1 показана зависимость между возрастом, рельефом лессовых массивов и архитектурной формой пещер.

К другим характеристикам лесса верхнечетвертичного и голоценового возраста (Q_3 , Q_4) относятся весьма невысокие значения нижнего предела текучести, которые обычно изменяются в пределах 25–30 %, а также низкие числа пластичности, изменяющиеся в пределах 10–15 и более. Перечисленные физические свойства лесса (Q_3 , Q_4) — причина проявления просадочности и псевдокарстования при увлажнении. Нижне- и среднечетвертичные лессы (Q_1 , Q_2) имеют большую прочность, меньшую пористость и другие характеристики, которые также влияют на формирование архитектурных форм пещер. Они показаны в табл. 1 [7].

Исходя из сказанного, на платообразных поверхностях верхней части склона обычно строят вертикально-горизонтальные пещеры типа «А»; на террасовидных уступах — горизонтально-вырытые формы «Б», а у подножия — отдельно стоящие сооружения «В», для строительства которых в настоящее время могут использоваться различные материалы: дерево, кирпич или бетон.

Тип «А». Пещеры, выстроенные на выровненных поверхностях верхней части склона и бровке уступа. Верхние платообразные поверхности верхней части склона лессовых массивов имеют практически ровную поверхность. На этих участках архитектурные формы в основном представлены вертикально-горизонтальными пещерами, которые представляют собой постройки за счет прямоугольной экскавации лесса (рытье котлована). Данные сооружения распределены точечно или в несколько рядов, между которыми существует определенное расстояние. Данные сооружения, построенные на обширных выровненных поверхностях, можно увидеть только вблизи, так как они находятся под землей.

Другая форма застройки находится на бровке между выровненной поверхностью и склоном (рис. 2). В этом месте на склоне ступенчато

Рис. 1. Рельеф лессовых массивов и расположение архитектурных форм пещер [7]

вырезается часть лессового грунта, а затем в образовавшейся вертикальной стенке роется пещера. Такие сооружения могут строиться в несколько ярусов, причем крыша нижней пещеры используется в качестве двора верхней. Данные постройки на разных уровнях соединены вер-

тикальными переходами для удобства перемещения жителей. Такое расположение не только позволяет сохранить характер естественного рельефа, но и удобно для жителей.

Тип «Б». Пещеры на террасовидных уступах. Пещерные застройки на террасовидных

Таблица 1

Характеристика и распределение лесса разного геологического возраста и его влияние на форму пещер

Геологический возраст	Цвет	Распределение лесса	Толщина, м	Просадочность	Прочность лесса (категория разработки)	Распределение пещер
Рыхлые голоценовые отложения (Q_4)	Серо-желтоватый, коричнево-желтоватый	На речной отмели, платообразных поверхностях	5–6	Высокая 2-го типа	Легко копать	Мало
Верхнечетвертичные лессы (Q_3)	Серо-желтоватый, светло-желтый	Широко распространен, образует покровы на платообразных поверхностях	10–80	2-го типа, зависит от собственного веса	Сравнительно легко копать	Много, большинство вертикально-горизонтальных форм
Среднечетвертичные лессы (Q_2)	Темно-желтый, светло-коричневый, красноватый	Широко распространен, образует покровы на платообразных поверхностях и в средней части склонов	120–150	Низкая 1-го типа	Довольно трудно копать	Много, большинство вырытых форм
Нижнечетвертичные лессовые отложения (Q_1)	Коричнево-желтоватый, коричнево-красный	Образует покровы на платообразных поверхностях и в нижней части склонов	0–40	Отсутствует	Трудно копать	Мало

Рис. 2. Пещерные застройки, находящиеся на бровке между выровненной поверхностью и склоном.
Фото А. А. Лаврусевича

уступах распределяются, как правило, на солнечной стороне крутых склонов, так как эти участки не подходят для сельского хозяйства. Их метод строительства — выкапывание арочных пещер с четырьмя-пятью помещениями и дополнительными помещениями в лессовой стене. Такие пещеры построены с видом на открытую долину, имеют достаточно освещения и вентиляции; перед застройкой остается ровная площадка в качестве двора для хозяйственной деятельности (рис. 3). Распределение пещерных застроек на террасовидных уступах характеризуется четким разделением на разные уровни. Дороги зигзагообразной формы строят вдоль линии пещерных застроек: такое расположение создает удобство подъема в гору для жителей. Следует отметить, что на террасовидных уступах при пересечении долин всегда возникают большие поселения. Подобная конфигурация образует гармоничный и красивый архитектурный образ, отражая уникальную адаптацию человека к географическим и экологическим условиям [9].

Тип «В». У подножья склона. Отдельно стоящие сооружения у подножья лессовых массивов

не связаны с лессовым массивом (как бы «оторваны» от лесса), но сохраняют архитектурный стиль пещеры. С 1960–1970-х гг. пещерная архитектурная форма переходит с расчлененного рельефа на равнину. Поворотным моментом в строительстве стал переход от пещерных форм жилищ к жилым сооружениям из современного материала. В плане сооружение представляет собой куб или прямоугольник с каменной облицовкой фасада, но крыша остается по-прежнему выпуклой. Преимущества современного отдельно стоящего сооружения — это ориентированность относительно солнца, несущие арочные своды и экономия строительного материала. Отдельно стоящие сооружения у подножья лессовых массивов строятся на ровных и обширных террасах. Это, как правило, участки выше линии паводка, достаточно удаленные от мест, опасных с точки зрения воздействия оползней и селевых потоков.

2. Архитектурная характеристика пещер

Пещера — это традиционное жилое пространство при отсутствии фундамента. Вместо фундамента используют утрамбованный лесс, поверх которого кладут кирпич. Основную кон-

Рис. 3. Пещерные застройки на террасовидных уступах. Фото А. А. Лаврусевича

струкцию пещеры составляют верхнее лессовое покрытие, фасад пещеры и ее несущие стены. Вспомогательные части конструкции — дверные и оконные проемы, карниз, плинтус, дымовая труба и т. д. Лесс выполняет функции несущей стены, поэтому необходимо строить опору, чтобы укрепить стену. Перед проемом, как правило, делают отмостку и земляной уступ по краям, чтобы укрепить пещеру. При постройке пещеры уступ делают сразу; его высота 1 м, а ширина — 40 см. Также его используют для сушки вещей (рис. 4) [10].

Ширина проема пещеры колеблется в пределах 3–3,6 м, высота — 3–4,2 м. Высота арки зависит от ширины пролета: как правило, ширина арки в 2 раза больше высоты. Высота двери составляет 2,1–2,5 м, ширина — 0,9–1,2 м. У входа обычно ставят двустворчатые деревянные двери. Для лучшей инсоляции делают два окна: верхнее и боковое — оба по 60–90 см.

Традиционно фасад штукатурили или покрывали лессом, смешанным с водой. Со временем стали использовать бетон и кирпич для облицовки.

2.1. Структура вертикально-горизонтальной формы пещер

Вертикально-горизонтальные пещеры в основном строятся на выровненных поверхностях верхней части склона. Строители умело используют такие свойства массивов лессовых

Рис. 4. Фасад пещеры

грунтов, как мощность толщи, низкая категория разрабатываемости лесса, вертикальная отдельность, устойчивость вертикального лессового откоса. На выбранном месте устраивают квадратный или прямоугольный котлован, в вертикальных стенках которого (внутри «общего двора») по всем четырем сторонам выкапывают пещеры, используемые в качестве жилых и хозяйственных помещений. Существующие вертикально-горизонтальные пещеры имеют различные формы планов (рис. 5).

Двор можно озеленить, посадить цветы, а также выкопать емкость для сбора атмосферных осадков. Как правило, в одной из пещер делают пандус, который соединяет двор и верхний уровень поверхности земли. Этот пандус используют в качестве входа и выхода. Конструкция застройки вертикально-горизонтальной пещеры показана на рис. 6.

Глубина постройки вертикально-горизонтальной пещеры — 5–6 м. По периметру стены двора строят земляную стену, после чего за пределами стен выкладывают грунт, выкопанный при постройке пещер, что увеличивает высоту до 6–7 м. Количество грунта от периметра стены до окружающего ландшафта последователь-

но уменьшается, образуя объемный наклон, предотвращающий попадание воды на территорию постройки. Далее по периметру строят парапет высотой 40–60 см и шириной 30 см, чтобы избежать несчастных случаев, связанных с падением жителей вниз. На периферии обычно высаживают кустарники для дополнительной защиты и красоты. Состоятельные люди строят вдоль внутренней части парапета карниз, защищающий стену от прямого попадания атмосферных осадков. По периметру двора внизу делают плитусы для защиты стен от влаги. Парапет, карниз и плитус пещеры показаны на рис. 7.

2.2. Характеристика расположения вырытых форм пещер на террасовидных уступах

Вырытые пещеры строят на бровке между выровненной поверхностью и склоном, а также на солнечной стороне крутых склонов с видом на просторную долину. Архитектурные особенности вырытых пещер зависят от площади террасовидных уступов и их высоты, а также изогнутости контура линии равных высот. Разные виды расположения вырытых пещер имеют свои особенности (рис. 8).

Вырытые пещеры также распределяются вдоль берега по дну долин, у которых V-образное

Рис. 5. Различные планы существующих вертикально-горизонтальных форм пещеры [11]

Рис. 6. Конструкция застройки вертикально-горизонтальной пещеры [7]

Рис. 7. Парапет, карниз и плинтус. Фото Лу Шенпина

Рис. 8. Разные виды расположения вырытых пещер на лессовых массивах [11]

поперечное сечение. Они представляют собой линейные поселения, построенные выше линии паводка, однако максимально близко к источнику воды. Такое расположение имеет лучшую экологическую среду за счет «богатых» гидрологических условий.

Вырытые пещеры чаще всего расположены на террасовидных уступах. Чтобы избежать неблагоприятного воздействия за счет нагрузки на основание нижней пещеры, крыша нижней пещеры используется в качестве двора верхней пещеры (рис. 9).

2.3. Виды форм поперечного и продольного разреза пещер

По технике безопасности пещеры строят в виде арки, чтобы избежать обрушения потолка. Арки бывают двух- и трехцентровыми, полукруглыми, трехцентровыми с ровным сегментом посередине и параболическими (рис. 10).

Форма арки зависит от качества лессового грунта и функции помещения пещеры. Чаще всего используют форму трехцентровой арки: две пересекающиеся дуги с одинаковым радиусом, но разным центром, каждая составляет 1/4 окружности; внутри вписанная окружность, которая делит арку на три части. Чем длиннее радиус, тем выше дуга арки.

Виды форм продольного разреза следующие:

- 1) тюльпанная (сужение от входа к задней стене), имеет преимущество — быстрый отвод воздуха;
- 2) прямая (используется наиболее часто);
- 3) клинообразная (хорошая изоляция, но плохая вентиляция и инсоляция);
- 4) ступенчатая (верхняя часть арки имеет два уровня, второй уровень получается за счет углубления помещения);

Рис. 9. Пещеры на террасовидных формах. Фото Лу Шенпина

Рис. 10. Виды форм арки пещеры на поперечном разрезе [7]

5) многослойная, представляющая собой двухэтажную пещеру (для подъема или спуска служит лестница, обустроенная либо внутри помещения, либо снаружи; верхний этаж часто используют под склад).

При строительстве необходимо рассмотреть ряд параметров пещеры (рис. 11). Основные из них включают высоту пещеры, ее глубину и размер арочного пролета. Эти параметры зависят от двух факторов: 1) физических свойств лесса; 2) экономичности постройки и ее функций.

1. *Физические свойства лесса.* Прочность влияет на размер пещеры. Например, при строительстве в среднечетвертичном лессе (Q_2) арочный пролет пещеры может быть большим.

2. *Экономичность и функция постройки.* В зависимости от функции постройки меняется ее конструкция. Как правило, размер арочного пролета маленьких пещер варьируется в преде-

лах 2,4–3,3 м. Размер арочного пролета средних пещер составляет 3,3–3,9 м, их глубина — 6,9–9,9 м. Как правило, высота арочного проема либо равна ширине арочного проема, либо в 1,3 раза больше; толщина лесса, покрывающего пещеру, как минимум равна высоте пещеры. Арочный пролет больших пещер составляет 4,2–4,8 м, их глубина — 12–16,5 м; высота арочного проема здесь либо равна ширине арочного проема, либо в 1,3 раза больше, но толщина лесса, покрывающего пещеру, в 1,5–2 раза превышает ее высоту (табл. 2) [12].

3. Метод строительства различных форм пещер

Архитектурная форма пещер характерна только для лессовых массивов. С появлением новых технологий строительства люди современного общества тем не менее продолжают строить пещеры в лессе. Как правило, люди совершен-

Рис. 11. Параметры размеров при строительстве пещеры [11]

ствуют существующие пещеры с помощью современных материалов: кирпича, дерева, бетона, железобетона и др. Тем не менее традиционные форма и метод строительства пещер в лессах представляют собой оптимальный вариант использования специфических свойств лессовых грунтов. Обратившись к опыту, технологиям и методам строительства традиционных лессовых пещер, сегодня можно проводить исследования для создания новой архитектурной формы на лессовых массивах.

При строительстве пещеры самое главное — выбрать подходящее место и определить качество лессового грунта.

3.1. Метод строительства вертикально-горизонтальных форм пещер

При строительстве вертикально-горизонтальных пещер в первую очередь необходимо определить демаркацию границ застройки на поверхностях, имеющих достаточную мощность лессовой толщи. Важно установить способность последней к экскавации. Вдоль границ снаружи

роют неглубокую замкнутую траншею шириной 1 м и глубиной 1–1,5 м, после чего ее засыпают и утрамбовывают. Далее на нее наносят четкие границы вертикально-горизонтальной пещеры: это позволит избежать осыпания грунта во время выкапывания двора. При строительстве на среднечетвертичном лессе (Q_2), имеющем высокую прочность, эту стадию подготовки к строительству можно пропустить.

Процесс выкапывания происходит в определенном порядке. Сначала выкапывают котлован со стороны, где находится долина для выноса излишков грунта. Когда котлован глубиной 6 м выкопан, к нему строят пандус для выхода. Он используется для того, чтобы выносить излишки земли из двора в процессе экскавации. Такой порядок необходим для того, чтобы избежать быстрого скопления воды в котловане. Далее постепенно удаляются оставшиеся излишки земли, пока не будет получена нужная конструкция пространства. Процесс строительства вертикально-горизонтальных пещер показан на рис. 12 [13].

Таблица 2

Соотношение параметров пролета и перекрывающей толщи в зависимости от размеров пещеры

Размер пещеры	Размер арочного пролета, м	Глубина пещеры, м	Соотношение арочного пролета и высоты пещеры	Соотношение мощности перекрывающей толщи лесса и высоты пещеры
Большой	2,4~3,3	6,9~9	$H = 1,0 \sim 1,3B$	$h \geq H$
Средний	3,6~3,9	7,9~9,9	$H = 1,0 \sim 1,3B$	$h \geq H$
Маленький	4,2~4,9	12~20	$H = 1,0 \sim 1,3B$	$h = 1,5 \sim 2H$

Примечание: H — высота пещеры; h — мощности перекрывающей толщи лесса; B — размер арочного пролета.

Рис. 12. Процесс выкапывания лесса при строительстве оседающей пещеры [11]

При выкапывании пространства двора возникает значительный объем земли. Например, после постройки вертикально-горизонтальной пещеры, имеющей восемь помещений, остаток земли составляет 1500–2000 м³. Строительство такой пещеры может занять несколько лет.

3.2. Метод строительства форм пещер на террасовидных уступах

Строительство пещер на террасовидных уступах достаточно просто. Сначала выравнивают поверхность откоса сверху вниз. Оставшийся грунт используют для строительства дороги или перемещают к основанию склона в долину. Также можно переместить освободившийся лессовый грунт на верхнюю часть склона либо обжечь и использовать в качестве строительного материала.

Для устойчивости уступа при выравнивании формирование откоса должно происходить постепенно. Коэффициент откоса составляет от одной двадцатой до одной двенадцатой в зависимости от прочностных свойств лесса. При выравнивании фасада в нижней части оставляют выступ высотой 1 м и строят карниз для защиты стены от атмосферных осадков. Высота выступа определяется удобством его использования в качестве строительных лесов. После постройки карниза выступ выводят в один уровень со стеной. Чтобы избежать разрушения в результате выветривания откоса, его штукатурят.

Далее вырывают пещеру. Сначала пещеру намечают высотой примерно 2–2,5 м, шириной 2 м и глубиной 2–4 м в зависимости от прочности лесса. Затем ее проветривают для удаления влаги. Перед тем как пещера будет готова, ее вентилируют еще два раза. Затем поверхность очищают, шлифуют и штукатурят.

На следующем этапе строят фасад, дверные и оконные проемы. Форма проема и способ установки определяются различными факторами. Фасад проема может быть выполнен из разных материалов: либо весь фасад состоит из лесса, либо нижнюю часть фасада до окна выполняют из кирпича, а верхнюю — из лесса. Также используют обожженные кирпичи для облицовки контура фасада. Если помещение недостаточно просохло, вверху оставляют отверстие, которое заделывают через 1–2 года.

3.3. Поставка хозяйственно-бытовой воды и техника сброса воды

Годовое количество осадков в районах лессовых массивов составляет 580 мм. Эта местность характеризуется сухим климатом. Для обеспечения вертикально-горизонтальных пещер водой строят водоприемный колодец в форме капли глубиной около 1,5–2 м. Он служит для хранения атмосферных осадков и имеет непроницаемое дно и стены. Такой колодец вмещает объем воды, которого хватает на целый год при экономном использовании. Вода из колодца не только употребляется для питьевых нужд, но и применяется для орошения сельскохозяйственных угодий. Для сбора атмосферных осадков роют канал, соединяющий верхнее лессовое покрытие и колодец (рис. 13).

Чтобы решить проблему сброса воды с территории двора, обычно строят водосток в самой нижней части двора глубиной 1–3 м и диаметром около 0,6 м. Сверху водосток накрывают каменной плитой с отверстием для сбора атмосферных осадков и хозяйственно-бытовой воды (рис. 14). Когда водосток заполняется доверху, люди выкачивают воду из колодца и малыми объемами перемещают в долину. Недозированный сброс

Рис. 13. Водоприемный колодец и система водозабора

Рис. 14. Водосток для сбора атмосферных осадков и хозяйственно-бытовой воды

воды мгновенно приводит к развитию эрозии и псевдокарста, что влечет за собой разрушение сооружения.

Для лессовых грунтов наибольшую опасность представляет вода. В 80 % случаев пещеры рушатся из-за неправильного контроля водостока [14], поэтому следует обеспечить быстрый и беспрепятственный сброс воды к базису эрозии. Кроме того, во время сильных осадков необходимо защитить фасады сооружений от попадания и протекания дождевой воды. Как правило, для защиты пещеры от атмосферных осадков по периметру двора часто кладут отмостку, а верхнее лессовое покрытие строят под углом и шлифуют, также устраивают водоотводный канал. В то же время на обнаженных участках лессового массива должны быть высажены кустарники и деревья, чтобы укрепить лессовые грунты и оттянуть влагу за счет транспирации [15].

Выводы

Лессовые массивы имеют сильно расчлененный сложный рельеф и необычные свойства,

поэтому при строительстве на лессах необходимо принимать разумное решение застройки и учитывать многочисленные факторы. Пещеры на сегодняшний день остаются достаточно удобным видом жилых помещений. В Китае в пещерах проживает более 40 млн человек [1, 3, 16].

1. При строительстве горизонтально вырытых пещер на террасовидных уступах необходимо в первую очередь рассмотреть геологический возраст лесса. Лучше всего для строительства таких форм подходят массивы, сложенные средне-четвертичными лессами (Q_2).

2. При строительстве пещер в условиях, когда лессы перекрывают наклонные коренные пласты триасовых сланцев (с углами наклона более 15°), при увлажнении (обильные осадки) контакта между сланцами и лессом возможно проявление оползневых подвижек.

3. Пещеры следует строить на солнечной и подветренной стороне. При строительстве пещер в лессовых массивах необходимо максимально избегать участков инфильтрации поверхностных вод (трещины, кротовины и др.), так как в этих местах начинает развиваться лессовый псевдокарст, что крайне опасно для сооружений.

4. Следует обратить внимание на уровень паводка при строительстве отдельно стоящих сооружений у подножья склонов в пойме рек. Как правило, следы паводка остаются, поэтому необходимо строить сооружения на 3–5 м выше линии паводка.

5. Традиционные пещеры (яодун) очень экологичны. Кроме того, технология строительства с учетом особенных свойств лесса и существующих геоморфологических условий очень проста и доступна. Однако при строительстве современных пещер необходимо использовать современные строительные материалы и технологии, чтобы минимизировать риски сейсмической катастрофы, аналогичной произошедшей в провинции Ганьсу в XVI в. (23 января 1556 г.), когда погибло свыше 800 тыс. человек. Однако именно районы распространения лессовых пород относятся к сейсмоопасным зонам.

6. Традиционные экологичные поселения и проживание жителей в природной среде лессовых массивов постепенно заменяются урбанизированными территориями. Необходимо исполь-

зовать накопленный многочисленными поколениями богатый опыт строительства сооружений на лессовых массивах, чтобы дать оценку влиянию проблем как на существующие постройки, так и на эксплуатацию будущих сооружений и развитие современных городов на лессовых массивах. Кроме того, следует использовать и учитывать богатый международный опыт строительства крупномасштабных и современных зданий и сооружений на лессовых массивах.

Библиографический список

1. Петрова Е. Д. Пещерные жилища лессового плато северного Китая // Этнографическое обозрение. 2004. № 3. С. 50–56.
2. «Пещерные» люди // Мастерок.жж.рф. URL: <http://masterok.livejournal.com/2855942.html>
3. Подземная жизнь Китая // Строительный эксперт. URL: <https://ardexpert.ru/article/9608>
4. Обручев В. От Кяхты до Кульджи. Путешествие в Центральную Азию и Китай. М.: ЭКСМО, 2012.
5. Хуан Цзяхао. Грандиозное зрелище культуры пещер в Северной Шэньси // Гуандун науки и техники. 2013. № 22 (3). С. 152.
6. Денисов Н. Я. Строительные свойства лесса и лессовидных суглинков. 2-е изд., перераб. и доп. М.: Гос. изд-во литературы по строительству и архитектуре, 1953.
7. Хоу Цзяо. Пещерные жилища. М.; Пекин: Китайское изд-во по строительной промышленности, 1989. С. 72–93.
8. Абелев Ю. М. Основы проектирования и строительства на просадочных макропористых грунтах. М.: Стройиздат, 1979.
9. Ян Цзыци. Оригинальная концепция экологического мышления пещерных жилищ // Arts circle. 2013. № 3. С. 82.
10. Ло Цян. Исследование проектирования и строительства почвенных жилищ в Северо-Западном Китае. / Чунцин: Изд-во Чунцинского ун-та, 2006. С. 26–47.
11. Хоу Цзяо, Ван Цзюнь. Китайские пещеры. Чжэнчжоу: Хэнаньское изд-во по науки и технологии, 1999. С. 3–11.
12. Го Бинглу. Обычай и культура пещер. М.; Сиань: Изд-во «Карты», 2004. С. 63–69.
13. У Хао. Пещерные жилища в Шэньбэй. М.; Пекин: Китайское изд-во по строительной промышленности, 2008.
14. Лаврусевич А. А., Хоменко В. П. Инженерная защита территорий, пораженных лессовым псевдокарстом // Вестник МГСУ. 2012. № 10. С. 213–220.

15. Лаврусевич А. А., Крашенинников В. С., Лаврусевич И. А. Лессовый псевдокарст и опыт укрепления лессовых массивов и откосов искусственными посадками растений (на примере лессового плато в провинциях Ганьсу и Шэньси, Китай) // Инженерная геология. 2012. № 1. С. 44–54.

16. Бу Юньтонг. Изменение пещер на лессовых массивах // Ляован. 1991. № 10. С. 30–31.

17. Ли Чжаошу, Цуй Пэн. Вторичные бедствия Китайского землетрясения 1556 г. // Mountain Science. 2007. № 25 (4). С. 425–430.

References

1. Petrova E. D. *Peshchernye zhilishcha lessovogo plato severnogo Kitaya* [Cave dwellings of the loessial plateau of the Northern China]. *Ehtnograficheskoe obozrenie – Ethnographic review*, 2004, no. 3, pp. 50–56.
2. «Peshchernye» lyudi ["Cave" people]. Available at: <http://masterok.livejournal.com/2855942.html>
3. *Podzemnaya zhizn' Kitaya* [Underground life of China]. *Stroitel'nyy ehkspert* [Construction expert]. Available at: <https://ardexpert.ru/article/9608>
4. Obruchev V. *Ot Kyakhty do Kul'dzhi. Puteshestvie v Tsentral'nuyu Aziyu i Kitay* [From Kyakhta to Kuldzhi. Travel to Central Asia and China]. Moscow, EhKSMO Publ., 2012.
5. Khuan Tszyaxao. *Grandioznoe zrelishche kul'tury peshcher v Severnoy Shehn'si* [A grandiose show of culture of caves in Northern Shaanxi]. *Guandun nauki i tekhniki – Guangdong of science and technology*, 2013, no. 22 (3), 152 p.
6. Denisov N. Ya. *Stroitel'nye svoystva lessa i lessovidnykh suglinkov* [Construction properties of the loess and loess-like loams]. The 2-nd edition, revised and added. Moscow, State Publ. of literature on construction and architecture, 1953.
7. Khou Tszyiao. *Peshchernye zhilishcha* [Cave dwellings]. Moscow, Beijing, Chinese Publ. on building industry, 1989, pp. 72–93.
8. Abelev Yu. M. *Osnovy proektirovaniya i stroitel'stva na prosadochnykh makroporistykh gruntakh* [Basics of design and construction on collapsible macro-porous soils]. Moscow, Stroyizdat Publ., 1979.
9. Yan Tszytsi. *Original'naya kontseptsiya ehkologicheskogo myshleniya peshchernykh zhilishch* [Original concept of ecological thinking of cave dwellings]. *Arts Circle*, 2013, no. 3, 82 p.
10. Lo Tsyuan. *Issledovanie proektirovaniya i stroitel'stva pochvennykh zhilishch v Severo-Zapadnom Kitae* [A research of design and construction of soil dwellings in Northwest China]. Chuntsin, Chuntsin University Publ., 2006, pp. 26–47.

11. Khou Tsziyao, Van Tszyun'. *Kitayskie peshchery* [Chinese caves]. Chzhehnchzhou, Chzhehnchzhou Publ. on Sciences and Technologies, 1999, pp 3–11.

12. Go Binglu. *Obychay i kul'tura peshcher* [Custom and culture of caves]. Moscow, Sian', Karty Publ., 2004, pp. 63–69.

13. U Khao. *Peshchernye zhilishcha v Shehn'behy* [Cave dwellings in Shenbei]. Moscow, Beijing, Chinese Publ. on Building Industry, 2008.

14. Lavrusevich A. A., Khomenko V. P. *Inzhenernaya zashchita territoriy, porazhennykh lessovym psevdokarstom* [Engineering protection of the territories struck with loessial pseudo-karst]. *Vestnik MGSU – MGSU Bulletin*, 2012, no.10, pp. 213–220.

15. Lavrusevich A. A., Krashennnikov V. S., Lavrusevich I. A. *Lessovyy psevdokarst i opyt ukrepleniya*

lessovykh massivov i otkosov iskusstvennymi posadkami rasteniy (na primere lessovogo plato v provintsiyakh Gan'su i Shehnsi, Kitay) [Loessial pseudo-karst and experience of strengthening loessial massifs and slopes with artificial plants (on the example of the loessial plateau in the Provinces of Gansu and Shensi, China)]. *Inzhenernaya geologiya – Engineering Geology*, 2012, no. 1, pp. 44–54.

16. Bu Yun'tong. *Izmenenie peshcher na lessovykh massivakh* [Changing of caves located on loessial massifs]. *Lyaovan*, 1991, no. 10, pp. 30–31.

17. Li Chzhaoshu, Tsuy Pehn. *Vtorichnye bedstviya Kitayskogo zemletryaseniya 1556 g.* [Secondary disasters of the Chinese earthquake of 1556]. *Mountain Science*, 2007, no. 25 (4), pp. 425–430.