

Архитектура заглубленных зданий – перспективное направление «зеленого» строительства

С.В.Ильвицкая, ГУЗ, Москва

Т.В.Лобкова, ГУЗ, Москва

В связи с тем, что наша цивилизация стоит перед проблемой глобального энергетического кризиса, экологическая, энергоэффективная или «зелёная» архитектура становится всё более популярной и востребованной. Задачей архитекторов сегодня является проектирование экологически чистых зданий высокого качества, которые также имеют низкое потребление энергии. В статье рассматриваются основные аспекты архитектурного проектирования и строительства заглублённых домов, роль заглублённых зданий и сооружений в повышении уровня энергоэффективности и снижении неблагоприятного воздействия на окружающую среду.

Ключевые слова: заглублённые здания, «зелёная» архитектура, энергоэффективность, экосистема.

The Architecture of Buried Buildings is a Promising Direction for "Green" Construction

S. Ilvitskaya, GUZ, Moscow

T. Lobkova, GUZ, Moscow

Due to the fact that our civilization is facing the problem of the global energy crisis, ecological, energy-efficient or "green" architecture is becoming increasingly popular and in demand. The task of architects today is to design high-quality, environmentally friendly buildings that also have low energy consumption. The article discusses the main aspects of architectural design and construction of buried houses, the role of deeper buildings and structures in increasing energy efficiency and reducing the adverse impact on the environment.

Keywords: embedded buildings, green architecture, energy efficiency, ecosystem.

В настоящее время современные здания (в особенности, жилые здания) – основные источники потребления энергии и загрязнения окружающей среды, что способствует непредсказуемому и катастрофическому изменению климата. Заглублённые здания обладают прекрасными энергосберегающими характеристиками и поэтому могут использоваться в различных климатических условиях, включая и климат центральной части Российской Федерации. Наземные здания отличаются высоким уровнем потребления энергии для нагрева и охлаждения зданий, что обусловлено необходимостью обеспечения постоянной комфортной температуры помещений. В отличие от наземных сооружений, отличающихся высоким уровнем энергопотребления для поддержания комфортной

температуры помещений, заглублённые здания, окружённые защитным слоем грунта, имеют высокие показатели энергоэффективности, так как на глубине двух метров в средней полосе зимой и летом температура грунта составляет 10–17 °С, что обеспечивает постоянные температуры и в помещении. Но, несмотря на это, данный тип зданий нуждается и в ряде других мероприятий, которые позволят ещё больше сократить энергопотребление, что даст возможность отнести такие здания к «зелёной» архитектуре.

Загрязнение окружающей среды, хрупкое состояние экосистем, потеря зелёных зон и деградация пейзажа и природы, истощение возобновляемых и невозобновляемых источников энергии и, в целом, игнорирование природы – всё это результат антропогенной деятельности на планете. Основными глобальными экологическими проблемами сегодня являются: истощение природных ресурсов и загрязнение окружающей среды твёрдыми бытовыми отходами; загрязнение атмосферы и возникновение «парникового эффекта» и деградация и опустынивание земель; загрязнение водных мировых ресурсов и пагубное влияние на флору и фауну.

Изменения в экономике, экологии и психологии людей не только способствуют возникновению новых типов зданий, но и заставляют вновь обратиться к традиционным методам строительства. Принципам экостроительства соответствуют здания, частично заглублённые в грунт (рис. 1). В средней полосе на глубине двух метров температура грунта зимой и летом постоянна и равна 10–17 °С: в холодный период земля даёт тепло, летом – прохладу. Применение земляной защиты позволяет не только значительно снизить расход энергии в нормальных условиях, но и уменьшить зависимость от снабжения топливом, особенно в условиях суровой зимы.

Одна из важных задач, которую необходимо решить при проектировании заглублённых домов, – экономия энергии. Для достижения одновременно энергоэффективности здания и комфорта проживания следует выполнять ряд основных требований, среди которых: определение типа здания, выбор места строительства, определение наиболее эффективной ориентации, архитектурно-планировочного и конструктивного решения. Особое внимание должно уделяться благоустройству и озеленению. Местоположение заглублённого здания определяется исходя из топографических, геологических и гидрогеологических условий. Основными требованиями к участку являются:

- наличие сухих, не склонных к эрозии, желательно песчаных почв;
- низкий уровень грунтовых вод;

- наличие подходящего рельефа;
- небольшая относительная влажность воздуха.

Защитная толща грунта определяет энергосберегающий эффект заглублённых зданий. По сравнению с наземными зданиями заглублённые в грунт дома фактически не нуждаются в охлаждении воздуха в летний период благодаря отдаче тепла через ограждающие конструкции грунтовой обсыпки. В зимний период обсыпка грунтом значительно уменьшает теплопотери за счёт добавочного термического сопротивления грунтовой обсыпки. Её последующее озеленение позволяет увеличить количество зелёных насаждений, улучшить микроклимат застройки и городской ландшафт. Расположенное на склоне полузаглублённое здание позволяет достигнуть наибольшего зрительного контакта с окружающим природным пространством, в отличие от зданий на равнинном рельефе (рис. 2, 3).

Заглублённые дома, возведённые с применением «зелёных» технологий, значительно уменьшают загрязнение окружающей среды, а также при соблюдении определённых условий смогут самостоятельно обеспечивать собственные потребности в энергетических источниках, не используя при этом внешние источники электропитания. Также в городских условиях заглублённые дома помогают восстанавливать и сохранять растительный и животный мир, улучшают качество окружающей городской среды, то есть способствуют охране природы.

Для решения экологических проблем необходимо прежде всего разработать теоретическое обоснование использования заглублённых зданий с применением «зелёных» технологий, а также:

- определить функциональную структуру, объёмно-планировочные решения и потенциал заглублённых зданий;
- провести анализ:
 - существующего опыта проектирования заглублённых зданий и сооружений;
 - существующего опыта проектирования и строительства с использованием «зелёных» технологий;



Рис. 1. «Земляной дом» («Erdhaus») в городе Унтерзиггенваль (источник: <https://pbs.twimg.com/media/DpUdg9UXoAAS4pJ.jpg>)

принципов интеграции «зелёных» технологий в архитектуру заглублённых зданий с целью обеспечения энергоэффективности;

- сформулировать концепцию современной архитектуры заглублённых зданий с применением «зелёных» технологий.

В качестве периода для исследования предложен промежуток времени, начиная с эпохи неолита (ок. 9000 лет до н. э.) до настоящего времени – от древних землянок до современных общественных и жилых зданий заглублённого типа.

Методика исследования базируется на историческом, типологическом и структурно-аналитическом методе, восходящем к системному подходу, и состоит из нескольких взаимосвязанных этапов и звеньев, объединённых общей комплексной концепцией исследования. Она включает разработку авторских классификаций заглублённых зданий и творческих концепций мастеров современной ландшафтной архитектуры.

Научная новизна исследования заглублённых зданий содержит основные аспекты и заключается:

- в установлении приёмов архитектурно-образного решения заглублённых зданий с применением «зелёных» технологий;
- в выявлении характерных особенностей объёмно-планировочных решений заглублённых зданий с применением «зелёных» технологий и тенденций их развития;
- в применении принципа гармоничного синтеза «зелёных» технологий и современных достижений в архитектуре заглублённых зданий на основании методик проектирования заглублённой архитектуры.
- в использовании возможностей заглублённой архитектуры при решении глобальных экологических проблем.

Основные стадии исследования заглублённых зданий: архитектурно-пространственные типы – факторы влияния «зелёных» технологий на архитектуру заглублённых зданий – принципы рациональной интеграции зелёных технологий в архитектуру заглублённых зданий – заглублённый объект, спроектирован-



Рис. 2. Заглублённый дом в Биг Сьюр, Калифорния (источник: <http://architizer-prod.imgix.net/mediadata/projects/332012/d4b52810.jpg?q=60&auto=format,compress&cs=strip&w=1680>)

ный с использованием современных «зелёных» технологий, в сложившейся историко-архитектурной среде города.

«Зелёная» архитектура (экологическая архитектура, эко-строительство, экодевелопмент, энергоэффективная архитектура) – прикладной раздел архитектуры, которая применяется с целью снижения уровня потребления энергетических и материальных ресурсов в течение всего срока эксплуатации здания и влияния на окружающую среду. Термин «зелёная архитектура» вырос из понятия «устойчивая архитектура», возникшего в 80-х годах XX века. В 1987 году Комиссией ООН по окружающей среде и развитию была предложена концепция устойчивого развития.

«Зелёная» архитектура создаётся благодаря взаимодействию инженерных, ландшафтных и архитектурных решений и должна рассматриваться в их совокупности. Ключевым моментом «зелёной» архитектуры является то, что весь процесс возведения здания – начиная с появления идеи, планирования и исполнения, жизненного цикла эксплуатации, вплоть до его последующего технического обслуживания и ремонта, осуществляется с помощью экологически чистых технологий и ресурсов [1].

«Зелёные» технологии – это инновации, в основе которых лежат принципы устойчивого развития и повторного использования ресурсов. «Зелёные» технологии охватывают сферы общего экологического управления (управление отходами, борьба с загрязнением воды, воздуха, восстановление земель и пр.); производства энергии из возобновляемых источников (солнечная энергия, биотопливо и пр.), смягчения последствий изменения климата, снижения вредных выбросов в атмосферу, повышения эффективности использования топлива, а также энергоэффективности в зданиях и осветительных приборах [2].

«Зелёные» строительные стандарты – это системы критериев и требований к объектам недвижимости, которые призваны регламентировать жизнеустойчивый подход в строительстве и оценить степень соответствия зданий исходным

принципам. В России применяются следующие международные системы сертификации: LEED, BREEAM, DGNB, ГОСТ Р 54964–2012 «Оценка соответствия. Экологические требования к объектам недвижимости» [3].

До конца XX века не существовало систематизированного подхода, который позволял бы использовать весь потенциал здания в плане энергосбережения и сохранения окружающей среды. Этот период можно отнести к периоду «до провозглашения концепции “зелёной” архитектуры».

Понятие устойчивого развития в западном мире впервые появляется в период энергетического кризиса и возникновения проблем загрязнения окружающей среды 1960-х и 1970-х годов.

Книга Рэйчел Карсон «Безмолвная весна», изданная в 1962 году, – это одна из первых попыток понять, что «устойчивое развитие» неразрывно связано со строительством «зелёных» зданий. В 1960–1970-х годах после очередного энергетического кризиса западный мир озабочился сохранением природных ресурсов и проблемами окружающей среды. Стали популярными идеи ведения здорового образа жизни, охраны и сохранения чистоты окружающей среды. Появились необычные дома нового типа, в которых были реализованы экологические принципы, использовались источники альтернативной энергетики. Одним из первых образцов «зелёной» архитектуры в это время может служить «Дом в холме» архитектора Артура Квормби, построенный в 1974 году (рис. 4). В здании применены преимущественно натуральные и экологически чистые материалы, активно используется природный ландшафт участка.

В период с 1975-го по 1993 год понимание важности энергоэффективности сформировалось на государственном уровне, возникла государственная поддержка частных инициатив. Были сформулированы цели и задачи «зелёного» строительства, разработаны первые стандарты «зелёного» строительства BREEAM. В 1987 году состоялось первое заседание комиссии ООН по окружающей среде, на котором была выдвинута концепция устойчивого развития и впервые прозвучал термин «зелёная



Рис. 3. Дом в Буг Сюр, интерьер (источник: <http://architizierprod.imgix.net/mediadata/projects/332012/e617dafa.jpg?q=60&auto=format,compress&cs=strip&w=1680>)



Рис. 4. «Дом в холме» архитектора Артура Квормби (источник: <http://abcnews.com.ua/ru/education/v-anghlii-prodaietsia-dom-khobbita-za-917-tys>)

архитектура». В этот период, а именно в 1985 году, была построена «Резиденция Брунселль». Архитектор Оби Баумэн попытался максимально органично вписать здание в природную среду. В доме продумана тепло- и влагоизоляция, обеспечивается устойчивый климат-контроль внутренних помещений, на стадии проекта закладывается система солнечных коллекторов [4].

С 1993 по 1998 год серьёзное влияние оказало движение на национальных и межправительственных уровнях против изменения климата и за сокращение вредных выбросов. Коллективными усилиями разработчиков были сформулированы и введены «зелёные» стандарты строительства – появление стандартов LEED (1998), Energy star (1992). Началось внедрение компьютерных технологий, вследствие чего появилась возможность работы с глобальными статистическими данными, включая данные по энергопотреблению.

С 1998 по 2005 годы происходит продвижение инновационных подходов в строительстве и переход от комплексной суммарной эффективности здания к уровню его нулевого энергопотребления с использованием технологий пассивного дома (применение альтернативных источников холодного и горячего водоснабжения, рациональное употребление источников тепла дома и окружающей его территории). В 1999 году состоялась первое заседание Всемирного совета по экологическому строительству, в котором приняли участие восемь стран: США, Австралия, Испания, Великобритания, Япония, ОАЭ, Россия и Канада [5].

В будущем планируется расширенное применение метода Анализа жизненного цикла (LCA и LCC), где на уровне экологического и экономического следа можно будет рассчитать все затраты, риски и целесообразность «от конца к началу», то есть от утилизации к первоначальной идее.

На сегодняшний день существует множество направлений в «зелёной» архитектуре, например:

- экомейнстрим – дома с ультранизким потреблением энергии, где экономятся тепло и вода.
- экохайтек – проекты и объекты со сложными инженерными сооружениями и системами.
- эколоутек – дома, созданные преимущественно из природных материалов (дерево, глина, солома, тростник).
- заглублённые «зелёные» здания – здания, частично заглублённые в грунт и соответствующие принципам экостроительства.

Как известно, температура грунта уже на глубине 5–8 м является постоянной и не снижается до отрицательных значений даже зимой. В холодный период земля даёт тепло, летом – прохладу.

Потребность в заглублённой архитектуре возникла в связи с повышением в России и за рубежом требований к теплозащитным свойствам ограждающих конструкций. При выборе основных решений заглублённых зданий важно учитывать целесообразность применения альтернативных механических систем, таких как солнечные панели, кондиционирование воздуха с использованием льда, рекуперация тепла из сточных вод, использование низкопотенциальной энергии [7].

Существенная особенность заглублённых зданий состоит в том, что земля – естественный материал с высокой тепловой массивностью, является элементом конструкций объекта. Тепловая массивность – количество энергии, необходимое для того, чтобы поднять температуру на 1 °С – выражается в способности здания аккумулировать тепло и зависит от плотности и количества строительных материалов. В течение некоторого времени здание может поглощать тепло из воздуха или от прямого солнечного излучения. В ночное время суток здание отдаёт накопленное днём тепло обратно во внешнюю среду. В заглублённом здании такой процесс протекает достаточно медленно, что позволяет температуре внутри здания оставаться комфортной в течение нескольких часов без нагрева или охлаждения. В отличие от такого типа зданий в обычных наземных домах накапливается очень мало избыточного тепла, и когда теплопоступление заканчивается, тепло быстро начинает уходить из здания. Одной из важнейших черт заглублённых строений по сравнению с наземными зданиями является способность к энергосбережению, выражающаяся в снижении энергопотребления на охлаждение или нагрев здания. Почва, окружающее заглублённое здание, снижает его энергетические потребности в излишнем нагреве и охлаждении за счет уменьшения теплопередачи. Кроме того, стабильное колебание температуры почвы создаёт постоянную температуру во внутренних помещениях в течение года, которая колеблется от 14 до 18 градусов по Цельсию. Таким образом, помещения имеют умеренную и стабильную температуру в летний и зимний сезон [8; 12; 14].

Еще одной особенностью заглублённой архитектуры является сохранение природного ландшафта вместе с флорой и фауной и увеличение зелёных пространств в городе или сельской местности. Так как крыша здания засыпана землей, чаще всего её засаживают травой или растениями, что создаёт дополнительное озеленённое пространство. Заглублённое здание отлично подойдёт для местности, где нужно минимизировать изменение ландшафта, сохранить живописный вид и обеспечить большой зрительный контакт с окружающей средой и где проектирование наземных зданий недопустимо [15; 16] (рис. 5).



Рис. 5. Дом в Парагвае от архитекторов фирмы «Бауен» (Bauen) (источник: https://turbo.network/hqroom/image/upload/c_limit,f_auto,h_10000,w_975/v1425952539/post/52072/6bb7e7ceb0004d50ZlbH7WONTSWiz0wx.jpg)

Ещё одним преимуществом заглублённых зданий является минимальное воздействие на их жильцов шумового загрязнения (вибрации, внешний шум): грунт защищает от звуков любой частоты, отчего в помещениях весьма тихо.

Расходы на содержание и поддержание заглублённых зданий гораздо меньше, чем для обычных здания. Внешняя оболочка здания окружена массой земли, поэтому части здания, контактирующие с землёй, защищены от различных атмосферных явлений, таких как дождь, заморозки, ветер, град и пр. Например, ультрафиолетовое излучение солнечной радиации обесцвечивает оболочку обычного здания, постоянные колебания внешней температуры, приводят к расширению и сжатию строительных материалов и конструкций, а применение заглублённых зданий позволяет обойти эти проблемы, например, свести к минимуму термические

трещины. Процент безопасности в заглублённых домах выше, чем у наземных зданий, при таких видах природных катастроф, как удары молнии, сильный ветер, шторм и возможные обрушения в результате землетрясения. Поскольку основная усиленная конструкция у данного типа зданий покрыта и обнесена землёй, то она же создаёт максимальную защиту от стихийных бедствий. Конструкции и структура заглублённого здания превосходят по качеству обычное здание. Во время толчков или движения земли, движется и подземное здание, в то время как наземный дом при этих воздействиях разрушается. Хорошие огнезащитные характеристики являются ещё одним преимуществом конструкции заглублённого здания: сочетание наружной оболочки из земли и железобетона наделяет здание хорошими огнезащитными свойствами. Такие дома являются экологически безвредными

вопросы	КАТЕГОРИЯ		ПОТЕНЦИАЛЬНЫЕ ДОСТОИНСТВА	ВОЗМОЖНЫЕ НЕДОСТАТКИ
ЭНЕРГИЯ	ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ЭНЕРГИИ		Сокращение проводимости тепла Теплоаккумулирующая способность Стабильность подземных температур Контроль инфильтрации воздуха Защита от перегрева от солнца Возможность внедрения и использования «зелёных» технологий строительства	Повышенное внимание к обеспечению кратности воздухообмена Медленный температурный ответ Зависимость от температур грунта Компромиссы с отоплением и охлаждением Отсутствие доступных данных по распределению тепла
	ПСИХОЛОГИЧЕСКИЙ И ФИЗИОЛОГИЧЕСКИЙ		Облегчение при защите от сурового климата (прохлада в горячем климате, тепло в холодном)	Отсутствие ориентации в пространстве Отрицательные психологические реакции: клаустрофобия, страх перед обрушением Отсутствие принятия/привычки общества к данному типу зданий
ЗЕМЛЕПОЛЬЗОВАНИЕ И МЕСТОПОЛОЖЕНИЕ	ФИЗИОЛОГИЧЕСКАЯ		Изоляция от поверхностного шума и вибрации Стабильные температуры	Чрезмерный шум или отсутствие шума Отсутствие свежего воздуха / загрязнение воздуха в помещении (при неправильном проектировании) Высокая влажность/конденсация Меньшее количество естественного света и более ограниченный обзор по сравнению с наземным зданием Более высокая концентрация радона
	ЗАЩИТА		Обеспечение безопасности Ограниченный доступ Противопожарная защита Защита от сурового климата Защита от природных катастроф	Необходимость подземной выработки территории
	МЕСТОПОЛОЖЕНИЕ		Визуальное воздействие Сохранение пространства поверхности Отсутствие нарушения визуальной целостности пейзажа Сохранение экологии места Возможность высаживания растительности на здании Эффективное использование неудобного участка земли	С эстетической точки зрения: Хороший дизайн территории требует мастерской проработки и высокой квалификации строителей Неправильно решенные инженерные коммуникации плохо повлияют на вид Неопределенная геологическая ситуация Неблагоприятная геологическая ситуация
	СИТУАЦИОННЫЙ ПЛАН		Топографическая свобода	Ограниченный доступ Удаление сточных вод Проблемы с водообеспечением Проблемы с адаптацией
ЗАТРАТЫ ЖИЗНЕННОГО ЦИКЛА	НАЧАЛЬНАЯ СТОИМОСТЬ		Нет надобности в наружной обшивке здания Пониженные затраты на землю (из-за непригодности земли для наземных зданий) Независимость от погодных условий	Повышенные расходы на строительство Земляные раскопки Неуверенность в будущей стоимости Ограниченные условия работы
	ЭКСПЛУАТАЦИОННЫЕ РАСХОДЫ		Пониженные расходы на обслуживание здания Повышенный срок службы здания и материалов здания Сохранение энергии	Расходы на обслуживание территории Доступ персонала Расходы на вентиляцию, освещение

Рис. 6. Достоинства и недостатки заглублённых зданий в устойчивой архитектуре

из-за использования земли в качестве местного материала. Все эти преимущества могут быть достигнуты в различных климатических условиях посредством различных комбинаций элементов проектирования. Таким образом, выбор того или иного вида заглублённого здания напрямую связан с вопросами «зелёного» строительства и устойчивой архитектуры [9–11].

Несмотря на безвредность для окружающей среды, энергоэффективность и другие преимущества, заглублённая архитектура имеет ряд недостатков и ограничений. Важным недостатком данного типа зданий является то, что из-за своих особенностей заглублённые здания гораздо сложнее вписать в городскую среду, чем в сельскую местность. Стоимость земляных работ при строительстве заглублённых зданий выше, чем у обычных, и требует дополнительного оборудования. Более того, в подземных зданиях по сравнению с наземными следует уделять гораздо больше внимания вопросам водоотведения, что также увеличивает стоимость. Заглублённые здания нуждаются в более интенсивной и более продуманной системе вентиляции. Повышенная влажность и возможность протечки – это ещё один недостаток зданий подобного типа. Чтобы избежать этого, необходимо устройство надёжной оболочки из водонепроницаемых материалов.

* * *

1. Архитектура заглублённых зданий – это одно из самых древних направлений в «зелёной» архитектуре, сочетающее в себе традиционные и природные энергосберегающие черты, а также возможность дополнительного энергосбережения с помощью современных «зелёных» технологий.

2. Выявленные в результате исторического анализа примеры заглублённой архитектуры, а также оценка достоинств и недостатков данного направления позволяют судить об огромном потенциале заглублённых зданий как общественного или жилого объекта с целью формирования единого визуального и экологического пространства в городской или сельской среде (рис. 6).

3. Необходимо комплексное решение всех вопросов, связанных с проектированием и эксплуатацией заглублённых зданий в соответствии с потребностями современного общества, учётом защиты интересов будущего и сохранения окружающей устойчивой природной среды.

4. Здания и сооружения, возведённые с применением «зелёных» технологий, значительно сократят загрязнение окружающей среды нашей страны, а также при соблюдении определённых условий смогут самостоятельно обеспечивать собственные потребности в энергетических источниках, не используя при этом внешние источники электропитания [17–19].

Литература

- Ильвицкая, С.В. Развитие архитектуры и природы как единой системы / С.В. Ильвицкая, И.А. Поляков // Естественные и технические науки. – 2014. – № 11–12 (78). – С. 443–444.
- Милашечкина, О.Н. Энергосберегающие здания / О.Н. Милашечкина, И.К. Ежова. – Саратов : СГТУ, 2006. – 75 С.

3. Васильев, Г.П. Использование низкопотенциальной тепловой энергии земли в теплоснабжающих системах / Г.П. Васильев, Н.В. Шилкин // АВОК: вентиляция, отопление, кондиционирование воздуха, теплоснабжение и строительная теплофизика. – 2003. – № 9.

4. Белоголовский, В. Green house / В. Белоголовский. – М. : Татлин, 2009.

5. Бродач, М. Рынок зелёного строительства в России [Электронный ресурс] / М. Бродач, Г. Имз // Здания высоких технологий. – 2013. – № 1. – С. 18–29. – Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=27199926> (дата обращения 21.08.2019).

6. Национальная рейтинговая система оценки качества здания / Табунщиков Ю.А., Гранёв В.В., Наумов А.Л., Акиев Р.С. // АВОК: вентиляция, отопление, кондиционирование воздуха, теплоснабжение и строительная теплофизика. – 2011. – № 3. – С. 4–7.

7. База ГОСТов [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://allgosts.ru/91/040/pnst_352-2019 (дата обращения 12.10.19).

8. Kibert, C.J. Construction ecology: nature as the basis for green buildings / C. J. Kibert, J. Sendzimi, G. J. Bradley. – London : Spon Press, 2002. – 336 p.

9. Earth Sheltered Housing Design: Guidelines Examples and References / R. Sterling, J. Carmody, T. Ellison [et al] / Underground Space Center, University of Minnesota. – New York : Van Nostrand Reinhold, 1979 – 318 p.

10. Wines, J. Green architecture / J. Wines. – Köln : Taschen, 2000. – 240 p.

11. Golany, G.S. Earth-sheltered habitat History (Architecture and Urban Design) / G.S. Golany. – New York : Van Nostrand Reinhold Company Inc., - 1983. – 240 p.

12. Нефёдов, В.А. Ландшафтный дизайн и устойчивость среды / В.А. Нефёдов. – СПб : Полиграфист, 2002. – 295 с.

13. Ильвицкая С.В. Роль культурно-досуговых центров в исторической среде и сохранение объектов культурного наследия / С.В. Ильвицкая, А.В. Смирнов // Жилищное строительство. – 2015. – № 3. – С. 1–6.

14. Теория и практика малоэтажного жилищного строительства в России / А.Н. Асаул, Ю.Н. Казаков, Н.И. Пасяда, И.В. Денисова; под ред. д.э.н., проф. А.Н. Асаула // СПб : Гуманистика, 2005. – 563 с.

15. Голубев, Г.Е. Подземная урбанистика и город : учеб. пособие / Г.Е. Голубев. – М. : ИПЦМИКХиС, 2005. – 124 с.

16. Тетиор, А.Н. Проектирование и строительство подземных зданий и сооружений / А.Н. Тетиор, В.Ф. Логинов. – Киев : Будивельник, 1990. – 168 с.

17. Ильвицкая, С.В. «Зелёная» архитектура жилища и GREEN BIM технологии / С.В. Ильвицкая, Т.В. Лобкова // Архитектура и строительство России. – 2018. – № 1. – С. 108–114.

18. Ильвицкая, С.В. «Зелёная» архитектура / С.В. Ильвицкая, Л.А. Кукушкина, А.Е. Кукушкин // Архитектура и строительство России. – 2018. – № 1. – С. 118–120.

19. Лобков, В.А. Экология земли и роль натуральных материалов в «зелёной» архитектуре / В.А. Лобков, С.В. Ильвицкая, Т.В. Лобкова // Землеустройство, кадастр и мониторинг земли. – 2018. – № 9. – С. 48–52.

References

1. Il'vickaya S.V., Polyakov I.A. Razvitie arhitektury i prirody kak edinoj sistemy [The development of architecture and nature as a single system]. *Estestvennye i tekhnicheskie nauki [Journal of Natural and Technical Sciences]*, 2014. No.11–12 (78), pp. 443–444.
2. Milashechkina O.N., Ezhova I.K. Energosberegayushchie zdaniya [Energy-saving buildings]. Saratov, 2006. 75 p.
3. Vasil'ev G.P., Shilkin N.V. Ispol'zovanie nizkopotencial'noj teplovoj energii zemli v teplonasosnyh sistemah [Use of low-potential thermal energy of the earth in heat pump systems]. *AVOK: ventilyatsiya, otoplenie, konditsionirovanie vozdukh, teplosnabzhenie i stroitel'naya teplofizika [AVOK: ventilation, heating, air conditioning, heat supply and building thermal physics]*, 2003, no. 9.
4. Belogolovskij V. Grin haus. Moscow, Tatlin Publ., 2009.
5. Brodach M., Imz G., Rynok zelyonogo stroitel'stva v Rossii [Green Building Market in Russia]. *Zdaniya vysokih tekhnologij [High tech buildings]*, 2013, no. 1, pp. 18–29. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=27199926> (Accessed 21.08.2019).
6. Yu.A. Tabunshchikov, V.V. Granev, A.L. Naumov, R.S. Akiev. Nacional'naya rejtingovaya sistema ocenki kachestva zdaniya [National Building Quality Rating System]. *AVOK: ventilyatsiya, otoplenie, konditsionirovanie vozdukh, teplosnabzhenie i stroitel'naya teplofizika [AVOK: ventilation, heating, air conditioning, heat supply and building thermal physics]*, 2011, no 3, pp. 4–7.
7. Baza GOSTov [Elektronnyi resurs]. URL: https://allgosts.ru/91/040/pnst_352-2019 (Accessed 12.10.2019)
8. Kibert C.J., Sendzimir J., Bradley G. J. Construction ecology: nature as the basis for green buildings. London, Spon Press Publ., 2002, 336 p.
9. Sterling R., Carmody J., Ellison T. [et al]. Earth Sheltered Housing Design: Guidelines Examples, and References. New York, Van Nostrand Reinhold Publ., 1979, 318 p.
10. Wines J. Green architecture. Koln Taschen Publ., 2000, 240 p.
11. Golany G.S. Earth-sheltered habitat History (Architecture and Urban Design). New York, Van Nostrand Reinhold Company Inc. Publ., 1983, 240 p.
12. Nefyodov V.A. Landshaftnyj dizajn i ustojchivost' sredy [Landscape design and environmental sustainability]. Saint Petersburg, 2002, 295 p.
13. Il'vickaya S.V., Smirnov A.V. Rol' kul'turno-dosugovyh centrov v istoricheskoy srede i sohranenie ob"ektov kul'turnogo naslediya [The role of cultural and leisure centers in the historical environment and the preservation of cultural heritage sites], *Zhilishchnoe stroitel'stvo [Housing construction]*, 2015, no. 3, pp. 1–6.
14. Asaul A.N., Kazakov Yu.N., Pasyada N.I., Denisova I.V. Teoriya i praktika maloetazhnogo zhilishchnogo stroitel'stva v Rossii [Theory and practice of low-rise housing in Russia], Asaul A.N. (ed.). Saint Petersburg, Humanism Publ., 2005, 563 p.
15. Golubev, G.E. Podzemnaya urbanistika i gorod: ucheb. posobie [Underground urbanism and city]. Moscow, IPTSMIKhIS Publ., 2005, 124 p.
16. Tetior A.N., Loginov V.F. Proektirovanie i stroitel'stvo podzemnyh zdaniy i sooruzhenij [Design and construction of underground buildings and structures], Kiev, Budivelnik Publ., 1990, 168 p.
17. Ilvitskaya S.V. Lobkova T.V. «Zelenaya» arkhitektura zhilishcha i GREEN BIM tekhnologii ["Green" architecture of the dwelling and GREEN BIM technology]. *Arkitektura i stroitel'stvo Rossii [Architecture and construction of Russia]*, 2018, no 1, pp. 100–113.
18. Il'vickaya S.V., Kukushkina L.A., Kukushkin A.E. «Zelenaya» arkhitektura ["Green" architecture]. *Arkitektura i stroitel'stvo Rossii [Architecture and Construction of Russia]*, 2018, no. 1, pp.118–120.
19. Lobkov V.A., Ilvitskaya S.V., Lobkova T.V. Ekologiya zemli i rol' naturalnykh materialov v «zelenoy» arkhitekture [Earth ecology and the role of natural materials in green architecture]. *Zemleustrojstvo. Kadastr i monitoring zemli [Land Management. Land Cadastre and Monitoring]*, 2018, no. 9, pp. 48–52.

Ильвицкая Светлана Валерьевна (Москва). Доктор архитектуры, советник РААСН. Профессор, заведующая кафедрой архитектуры ФГБОУ ВО «Государственный университет по землеустройству» (105064, Москва, ул. Казакова, д.15. ГУЗ). Эл.почта: ilvitskaya@mail.ru.

Лобкова Татьяна Владимировна (Москва). Старший преподаватель кафедры информатики ФГБОУ ВО «Государственный университет по землеустройству» (105064, Москва, ул. Казакова, д.15. ГУЗ). Эл.почта: Tanya.ten.z@mail.ru.

Ilvitskaya Svetlana Valerievna (Moscow). Doctor of Architecture, Advisor to RAACS. Professor, Head of the Department of Architecture at the Moscow State University of Land Management (15 Kazakova St., Moscow, 105064. GUZ). E-mail: ilvitskaya@mail.ru.

Lobkova Tatyana Vladimirovna (Moscow). Senior Lecturer at the Department of Informatics of the Moscow State University of Land Management (15 Kazakova St., Moscow, 105064. GUZ). Email: Tanya.ten.z@mail.ru.