

ФРАКТАЛЫ И ИХ УЧАСТИЕ В АРХИТЕКТУРНОМ ПРОЕКТИРОВАНИИ

С.Б. Поморов, А.А. Филиппов

Статья посвящена теме проектирования в архитектуре и градостроительстве с использованием теоретических позиций фрактальной геометрии. Подробно рассматриваются модели фракталов и способы их применения. Подчеркнуто, что применение фрактальных структур эффективно как на уровне проектирования микросреды обитания (интерьер, его элементы), так и на более высоких уровнях, включая уровень градостроительного проектирования. Приведены примеры учебного эксперимента. Сделаны выводы о целесообразности использования фрактальных алгоритмов в архитектурном морфогенезе.

Ключевые слова: архитектурное проектирование, теория архитектуры, фрактал, методика, фрактальная архитектура, фрактальная геометрия.

Понятия фрактал, фрактальная геометрия и фрактальная графика, появившиеся в конце 70-х, сегодня прочно вошли в обиход математиков, художников и проектировщиков. Слово фрактал образовано от латинского «fractus» и в переводе означает «состоящий из фрагментов». Оно было предложено математиком Бенуа Мандель-Бротом в 1975 г. для обозначения нерегулярных, но самоподобных структур, которыми он занимался [11].

Фракталом называется структура, состоящая из частей, которые в каком-то смысле подобны целому.

Одним из основных свойств фракталов является самоподобие. Объект называют самоподобным, когда увеличенные части объекта похожи на сам объект и друг на друга. Иначе, можно сказать, что в простейшем случае небольшая часть фрактала содержит информацию обо всем фрактале [12, с. 11].

По мнению Бабича В.Н., «Фрактал – это сложная структура, пространственная форма которой изломана и нерегулярна или регулярна; хаотична или упорядочена, и повторяет саму себя в любом масштабе» [3].

В центре фрактальной фигуры находится её простейший элемент – равносторонний треугольник, который получил название «фрактальный» (рисунок 1). Затем, на среднем отрезке сторон строятся равносторонние треугольнички со стороной, равной $(1/3)$ от стороны исходного фрактального треугольника. В свою очередь, на средних отрезках сторон полученных треугольничков, являющихся объектами-наследниками первого поколения, выстраиваются треугольнички-наследники второго поколения со стороной $(1/9a)$ от стороны исходного треугольника. Таким образом, мелкие элементы фрактального объекта по-

вторяют свойства всего объекта. Полученный объект носит название «фрактальной фигуры». Процесс наследования можно продолжать до бесконечности. Таким образом, можно описать и такой графический элемент как прямую (рисунок 2). Фракталы делятся на группы. Самые большие группы это [7]:

1. Геометрические фракталы (рисунок 3). Именно с них и начиналась история фракталов. Этот тип получается путем простых геометрических построений. Фракталы этого класса самые наглядные. В двумерном случае их получают с помощью некоторой ломаной (или поверхности в трехмерном случае),

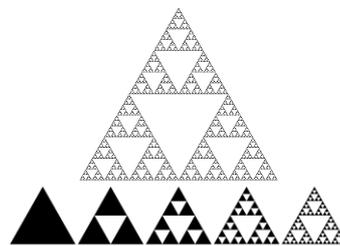


Рисунок 1 – Треугольник Серпинского и его построение

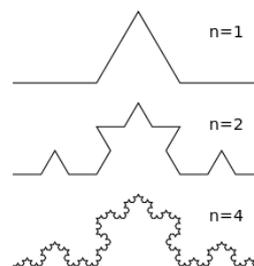


Рисунок 2 – Построение кривой Коха

называемой генератором [1]. За один шаг алгоритма каждый из отрезков, составляющих ломаную, заменяется на ломаную-генератор, в соответствующем масштабе. В результате бесконечного повторения этой процедуры, получается геометрический фрактал.

2. Алгебраические фракталы (рисунок 4). Свое название они получили за то, что их строят, на основе алгебраических формул иногда весьма простых [9]. Методов получения алгебраических фракталов несколько. Один из методов представляет собой многократный (итерационный) расчет функции

$$Z_{n+1} = f(Z_n),$$

где Z – комплексное число, а f некая функция.

Расчет данной функции продолжается до выполнения определенного условия. И когда это условие выполнится – на экран выводится точка. При этом значения функции для разных точек комплексной плоскости может иметь разное поведение: с течением времени стремится к бесконечности; стремится к 0; принимает несколько фиксированных значений и не выходит за их пределы; поведение хаотично, без каких либо тенденций.

3. Стохастические фракталы (рисунок 5). Это еще один большой класс фракталов получающихся в случае, если в итерационном процессе случайным образом менять какие-либо его параметры. При этом получаются объекты очень похожие на природные – несимметричные деревья, изрезанные береговые линии и т.д. Двумерные стохастические фракталы используются при моделировании рельефа местности и поверхности моря [5].

4. Природные фракталы (рисунок 6). По мере детального рассмотрения природных фрактальных объектов можно подойти к масштабу, где начинают проявляться квантовые эффекты. Это значит, что природные фракталы не имеют бесконечно повторяющихся субструктур и не могут демонстрировать бесконечного самоподобия. В этом состоит принципиальное отличие искусственных фракталов от природных. Для природных фракталов в классификационном понятии использован термин «физические фракталы», чтобы подчеркнуть их «нерукотворность» [9]. Они являются одним из наиболее удивительных творений природы. Такие структуры замечательны тем, что получаются путем всего двух простых операций – копирования и масштабирования. Примерами природных фракталов являются дерево, легкие, кровеносная система человека и т.д.

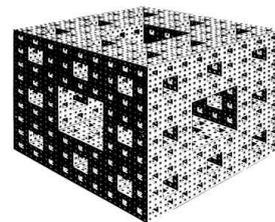


Рисунок 3 – Губка Менгера

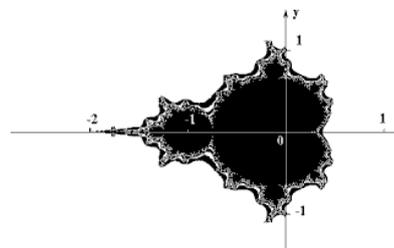


Рисунок 4 – Множество Мандельброта



Рисунок 5 – Ветка-фрактал



Рисунок 6 – Природный фрактал

Эти системы самоподобны и являются фракталами: на каждом дереве есть ветки, от них отходят веточки поменьше, еще меньше и т.д., то есть по сути каждая веточка подобна всему дереву. Так же устроена и кровеносная система человека [1].

Фрактальные структуры обладают определенным рядом свойств [4]:

- самоподобие (иерархический принцип организации);
- способность к развитию (принцип непрерывности формообразования);
- дробная метрическая размерность (принцип сингулярности меры);
- принцип неопределенности границ (размытость, нечеткость контуров);
- принцип динамического хаоса (явление при котором поведение нелинейной системы выглядит случайным, хотя подчиняется детерминистическим законам)

Под фрактальностью понимается наличие у объекта одного из фрактальных свойств, выраженного в динамическом или статическом состоянии. Необходимо также коснуться такого понятия, как фрактальная размерность, которое по своей сути является очень информативным параметром, описывающим сложную геометрию. Наряду с существующими параметрами и показателями качества поверхности деталей фрактальная размерность является мощным средством при описании геометрии поверхностей с учётом их трёхмерной (пространственной) структуры, а также может широко использоваться при проектировании и создании трёхмерных моделей поверхности, контактных задачах и решении многих других технических проблем.

Для определения фрактальной размерности используются различные аналитические и расчётные методы оценки. Исходными данными для определения фрактальной размерности является информация о поверхности в виде совокупности высот вершин в специальном формате. В качестве примера можно выделить метод определения фрактальной размерности «размахов» Хёрста (Н. Hurst и др., 1965). Согласно Хёрсту, исходными данными служит ограниченный объём значений какого-либо параметра X , измеренный через равные промежутки времени. Альтернативным методом определения фрактальной размерности самоподобного профиля поверхности является метод отрезков. Как и в первом методе, исходной информацией является оцифрованная карта поверхности. Метод покрытий основан на тех же процедурах, что и метод отрезков. Существенным отличием метода покрытий является то, что отрезки не пересекают поверхность, а покрывают её, касаясь в возможных точках [9, с. 119]. Немаловажно выделить метод фрактального композиционного анализа в архитектуре, основанного на методике ячеистого вычисления фрактальной размерности, разработанный Исмаилом Халедом Д. Альдином на примере памятников исламской архитектуры. Такой метод позволяет не только обнаружить фрактальность в различных пространственных модулях, но и позволяет определить уровни их фрактальной согласованности [8].

Введение в научный оборот понятия «фрактал» способствовало развитию междисциплинарного подхода, основанного на методах нелинейной динамики, фрактальной геометрии и теории самоорганизации. В первом десятилетии XXI века в рамках теории архитектуры зарождается научное направле-

ние фрактальной архитектуры. Появляются публикации и иллюстрации, посвященные этой теме. Проводятся исследования и эксперименты по расчётам уровня фрактальности памятников архитектуры (рисунок 7) [8].

После появления фрактальной теории архитекторы и градостроители начинают активно применять данное направление в своей деятельности. Обзор публикаций свидетельствует о том, что фрактальная геометрия может использоваться не только для анализа, но и для проектирования (рисунок 8).

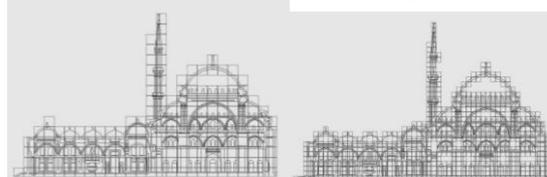


Рисунок 7 – Расчет степени фрактальности в архитектурных проекциях методом ячеистого вычисления фрактальной размерности мечети Шах-Заде, Турция [8]



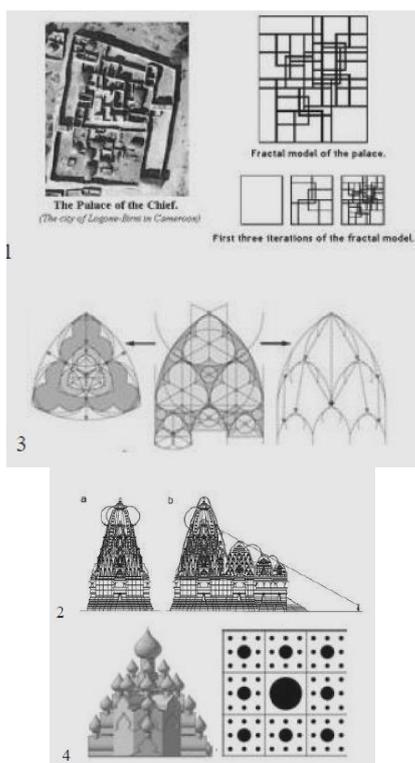
Рисунок 8 – Пример применения теории фрактальности в современной архитектуре

Примечательно, что фрактальные структуры в архитектуре применялись задолго до того, как Бенуа Мандельброт выявил закономерность построения многих природных процессов и структур.

Фрактальные структуры были обнаружены в конфигурации африканских племенных поселений, в зиккуратах древнего Вавилона, в культовых сооружениях Древней Индии и Китая, в готических соборах и храмах Древней Руси (рисунок 9) [7, 8, 13, 14].

Высокую степень фрактальности в Архитектоне Малевича видно не вооруженным глазом, хотя работы были созданы задолго до появления понятия фрактальности в архитектуре (рисунок 10).

Б. Мандельброт первым написал о фрактальности архитектуры, указав для сравнения форму здания Парижской оперы. Можно привести ряд примеров фрактальных форм в архитектуре.



1 – фотография первобытного поселения в Африке; 2 – храм Каджухаро в Индии; 3 – фрагмент готического витража; 4 – модель православного храма [7, 8]

Рисунок 9 – Фрактальные структуры в архитектурных сооружениях древности



Рисунок 10 – Архитектоны Малевича

Это самоподобие форм в архитектуре зданий Исторического музея (Москва); почтамта (Владивосток); индийских храмов (комплекс в Кхаджурахо); фрактальные прообразы и архитектура пирамидальных фасадов (ступенчатые пирамиды), колоколен, фасадов готических зданий Германии. Замок Кастель-дель-Монте, Италия (построен по собственному проекту императором Священной Римской империи Фридрихом II), представляет в плане правильный восьмиугольник, к вершинам которого пристроены восемь башен, также имеющих в плане форму правильных восьмиугольников.

Математическая метафора в виде графика функции Вейерштрасса представляется прообразом для силуэта храмов с множеством вертикальных повторяющихся элементов (силуэт Миланского собора). Расположение и размеры куполов многоглавых церквей, условно показанные в одной плоскости плана с осевой симметрией, также имеют прообразом фрактальную структуру (типа «салфетки» Серпинского с кругами). Спиралеподобные формы, отражающие один из распространенных фрактальных алгоритмов в природе, используются и в искусственной среде, включая архитектуру и дизайн (спиральный декор храма Василия Блаженного, металлические узоры оград и решеток, произведения декоративно-прикладного искусства) (рисунок 11) [2].

После появления публикаций Б. Мандельброта использование фрактальных алгоритмов в архитектурном морфогенезе становится осознанным. Стало возможным применение фрактальной геометрии в определенной мере для анализа архитектурных форм (моделирования таких структур) [8].

Сформировался фрактальный подход – достаточно эффективный способ анализа и (потенциально) проектирования архитектурных форм, который может существенно обогатить язык архитектурной теории и практики (рисунок 11). В настоящее время фрактальную архитектуру некоторые исследователи делят на два типа [4, 7, 8]: искусственно созданная и естественно сложившаяся. Искусственно созданная фрактальная архитектура бывает интуитивной и сознательной. Под интуитивной фрактальностью подразумевается структура многих шедевров мировой архитектуры прошлого, в которых архитектор или строители неосознанно использовали фрактальные принципы. При этом фракталоподобные формы представлены в сооружениях разных эпох и народностей, отражают различные алгоритмы формообразования.

Интересный эксперимент был произведен в ИнАрхДиз АлтГТУ на серии лекций по дисциплине «Современные проблемы теории и истории архитектуры». После ознакомления студентов с теорией фрактальности, им было предложено в короткий промежуток времени сделать архитектурные наброски, используя воображение и усвоенную информацию о фракталах. Результат превзошел ожидания и вылился в серию уникальных фрактальных, а значит гармоничных, архитектурных композиций (рисунок 12). Проведенный опыт наглядно демонстрирует, насколько быстро архитектор улавливает значение фрактальности в



1 – Спасская башня, Кремль, Москва; 2 – Парижская опера; 3 – Собор Василия Блаженного, Москва; 4 – Храм в Кхаджурахо, Индия [4, 7, 8, 12]

Рисунок 11 – Фрактальность (интуитивная) архитектурных форм

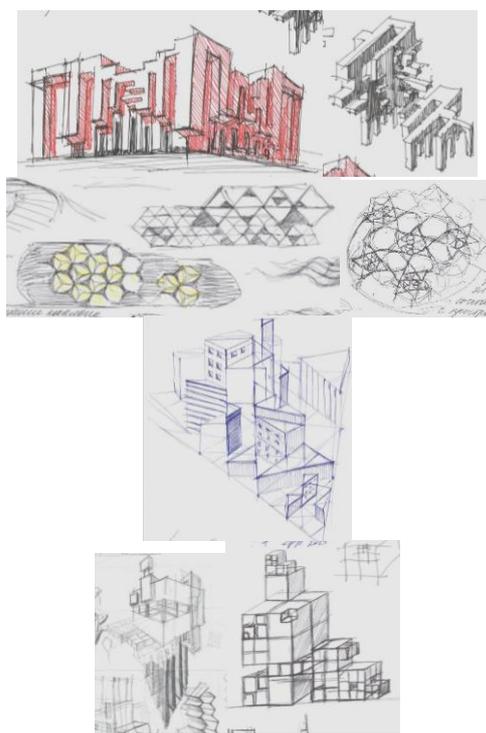


Рисунок 12 – Фрактальные построения в учебном проектировании (эксперимент в ИнАрхДиз АлтГТУ)

архитектуре, и доказывает возможность её достижения не только интуитивно, но и сознательно. В свою очередь, говоря о естественной фрактальности, следует отметить, что речь идет не только об отдельных зданиях, но и о взаимосвязях их конкретных комбинаций, об улицах, кварталах и других городских пространствах, которые сливаются в единый организм.

Сегодня в архитектуре применяются фрактальные правила построения с использованием ограниченного числа повторов, а

также сменой алгоритмов их построения, нарушением строгого подобия путём введением различных вариаций, т.е. используются квазифракталы, мультифрактальные структуры (неоднородные фрактальные объекты, для полного описания которых недостаточно введения всего лишь одной величины с его фрактальной размерностью, а необходим целый спектр величин с разными фрактальными размерностями; мультифракталы могут определяться не одним единственным алгоритмом построения, а несколькими последовательно сменяющимися друг друга алгоритмами) [4]. Необходимо учитывать и способность фрактала становиться синтезом чувственного (эмоционального) с рациональным началом в аспекте применения этой способности в сфере деятельности архитекторов, урбанистов, специалистов в области теории архитектуры.

В некоторых источниках [8] говорится о переходе к новой парадигме в архитектуре под влиянием наук о сложных системах, включающих фрактальную геометрию и нелинейную динамику. Архитектурные фрактальные структуры более упорядочены, чем природные. Качественный анализ графических фрактальных образов, визуализирующих некоторые архетипы фасадов, планов и трехмерных архитектурных форм, эффективен с привлечением имитационного компьютерного моделирования. Можно смоделировать некоторые графические фракталы в качестве прототипов архитектурных фасадов и планов и выявить множество направлений и решений морфогенеза, включая не раскрытые ранее аспекты формообразования и создание потенциально новых архитектурных форм.

В связи с всеобщей компьютеризацией фракталы стали доступны для множества специалистов. Они оказались невероятно привлекательными для архитекторов, дизайнеров, градостроителей прежде всего с эстетической точки зрения, а также – с философской, психологической. На первом этапе развития фрактальная теория воспринималась на чувственно-эмоциональном уровне. Бесконечное повторение приводит к потере чувствительности, в то время как во фрактальных структурах человек ощущает себя, когда действующие на него раздражители варьируются с небольшими отклонениями [6].

Необходимо отметить, что применение фрактальных структур возможно на всех уровнях организации архитектурной среды. На макроуровне рассматривается город, как

фрактальная система, плохо поддающаяся предсказанию, потому постоянно нуждающаяся в ограничениях планами развития. Предлагается изначально воспринимать город как структуру, основанную на фрактальном методе построения - углубляющуюся в саму себя; к тому же структура города - как минимум стохастический фрактал (то есть допускающий отклонения от идеального алгоритма) или же система детерминированного хаоса, основанная на фрактальном аттракторе. Представление города как особой системы – естественно сложившейся фрактальной структуры, вполне оправдано, отмечает Ч. Дженкс [7, с. 98].

Фрактальными свойствами обладают не только здания, сооружения, кварталы, улицы, районы, но вся городская среда в целом, рассматриваемая как непрерывная структура в пространстве и во времени, развивающаяся функционально во взаимосвязи с изменяющейся пространственной организацией города.

Применение фрактальных структур эффективно и на уровне проектирования микро-среды обитания: интерьеров, их элементов, предметов быта (рисунок 13). Здесь внедрение фрактальных структур позволяет создать совершенно новую среду обитания человека с фрактальными свойствами абсолютно на всех ее уровнях, что соответствует так называемой вложенности пространств.



Рисунок 13 – Фрактальная структура в элементе интерьера (мебель)

Таким образом, в настоящее время использование фрактальных алгоритмов в архитектурном морфогенезе является осознанным. Благодаря развитию информационных технологий стало возможным применение фрактальной геометрии для анализа архитектурных форм и для моделирования таких структур. Сформировался фрактальный подход – достаточно эффективный способ анализа и (потенциально) проектирования архитектурных форм, который существенно обогащает язык архитектурной теории и практики.

Приёмы фракталоподобного формообразования в архитектуре применяются с давних времен, и хотя использование фрактальных правил построения в архитектуре далеко

не всегда оказывалось математически выверенным, но в поиске и создании художественно выразительных пропорций архитекторов вели их интуиция и талант, чувство гармонии и высокий профессионализм.

Архитектура во многих своих проявлениях есть отражение природы, ее принципов строения форм, конструкций, поверхностей, сочетания цветов и т.д. Повторение законов природы в архитектурном формообразовании позволило нашим предшественникам на интуитивном уровне создать фрактальные здания и сооружения.

Фрактальные построения – не панацея, и вовсе не новая эра в истории архитектуры человечества, а лишь новый способ проектирования архитектурных форм, который существенно обогащает язык архитектурной теории и практики. Понимание естественной фрактальности влияет на архитектурное представление городской среды. Попытка разработать методику архитектурного проектирования, основанную на углубленных фрактальных построениях, представляет особый интерес. Будет ли такая методика базироваться исключительно на математических принципах, или представлять симбиоз разнородных методов и свойств, покажут дальнейшие исследования и практические эксперименты. Сегодня же можно с уверенностью заявить, что современный фрактальный подход может быть успешно применен не только для анализа, но и для поиска архитектуры, адекватной гармонии порядка и хаоса природной среды, архитектуры, которая может стать смысловой доминантой в природном и историческом контексте.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Азевич А.И. Симфония фракталов [Электронный ресурс] / А.И. Азевич // Информатика: электронный журнал. – 2008. - № 23 (576). – Режим доступа: <http://inf.1september.ru/article.php?ID=200802307>.
2. Айрапетов А.А. Проблемы применения фрактальной теории в архитектуре / А.А. Айрапетов // Вопросы теории архитектуры. Архитектурно-теоретическая мысль Нового и Новейшего времени : сб. науч. тр. / под ред. И. А. Азизян. – М.: Ком-Книга, 2006. – С. 305-320.
3. Бабич В.Н. Фрактальные структуры в планировке и застройке города / В.Н. Бабич, В.А. Колясников // Академический вестник УралНИИпроект РААСН. – 2009. – № 2. – С. 45-47.
4. Бабич В.Н. О фрактальных моделях в архитектуре [Электронный ресурс] / В.Н. Бабич, А.Г. Кремлев // Архитектон: известия вузов. – 2010. – № 30. – Режим доступа: http://archvuz.ru/2010_2/2.

5. Ватолин Д. Применение фракталов в машинной графике. // Computerworld-Россия. – 1995. – № 15. – С. 11.
6. Дженкс Ч. Новая парадигма в архитектуре // Проект International. – 2003. – № 5. – С. 98-112.
7. Исаева В.В. Фрактальность природных и архитектурных форм / В.В.Исаева, Н.В.Касьянов // Культура. Вестник ДВО РАН, 2006. – № 5. – С.119-127.
8. Исмаил, Х.Д.А. Фрактальный анализ шедевров исламской архитектуры – мечети Ахмад Шаха и Тадж-Махала: обоснование метода и опыт применения / Х.Д.А. Исмаил // Междунар. электрон. науч.-образов. журнал «Architecture and Modern Information Technologies»: «Архитектура и современные информационные технологии» (AMIT). – 2012, №4(21) [Электронный ресурс] Режим доступа: <http://www.marhi.ru/AMIT/2012/4kvart12/ismail/abstract.php>. – С 1-9.
9. Косинов Н.В. Генетический код строения вещества во вселенной [Electronic resource] // Н.В. Косинов, В.И. Гарбарук. – Агентство научно-технической информации, научно-техническая библиотека (SciTecLibrary). – Режим доступа: <http://www.sciteclibrary.ru/rus/catalog/pages/3428.htm>.
10. Летин, А.С. Архитектурная графика: краткий курс лекций, ч. 1 / А.С.Летин, Н.А. Комаров, О.С. Летина. – М.: МГУЛ, 2010. – 34 с.
11. Мандельброт Б. Фрактальная геометрия природы / Б. Мандельброт. – М. – 2002. – С. 16-24, С. 46-126, С. 196-210.
12. Шредер М. Фракталы, хаос, степенные законы / М. Шредер. – М.; Ижевск: НИЦ Регулярная и хаотическая динамика, 2001. – 527 с.
13. Eglash, R. African Fractals: modern computing and indigenous design / R. Eglash. – 2005. – 258 p.
14. Haggard, K. Fractal Architecture: design for sustainability / K. Haggard, P. Cooper. – 2006. – 158p.

Поморов С.Б. – *д.арх., профессор, E-mail: pomorovs@mail.ru; Филиппов А.А.* – *аспирант, E-mail: apsquadron@hotmail.com, Институт архитектуры и дизайна Алтайского государственного технического университета.*

УДК 711

СЦЕНАРИИ ПРОЕКТИРОВАНИЯ МЕЖДУНАРОДНОГО ТУРИСТИЧЕСКОГО МАРШРУТА НА ТРАНСГРАНИЧНОЙ ТЕРРИТОРИИ БОЛЬШОГО АЛТАЯ

С.Б. Поморов, М.Ю. Шишин, И.М. Михаилиди, Ф.С. Поморов

В статье рассматриваются вопросы территориального планирования рекреационно-туристической системы на трансграничной территории Большого Алтая. Обосновывается предложение по многовариантной организации траектории международного туристического маршрута. Приводятся проектные сценарии.

Ключевые слова: Большой Алтай, трансграничная территория, архитектурно-градостроительное проектирование, международный туристический маршрут, проектные сценарии.

Проектные предложения по организации глобального туристического маршрута на трансграничной территории Большого Алтая, соединяющего четыре государства – Россию (Алтайский край, Республика Алтай), Казахстан (Восточный Казахстан), Монголию (Баян-Ульгийский, Ховдский аймаки), Китай (Синьцзянь-Уйгурский автономный округ), – с общей инфраструктурой туризма высказываются на международных встречах и конференциях вот уже несколько лет [8-12].

Предпосылками для реализации данного намерения выступают межгосударственные программы и стратегические проекты в этом направлении, например, межправительственная программа ЮНЕСКО «Человек и биосфера» (МАБ), созданная в 1971 году,

направленная на организацию всемирной сети биосферных заповедников, в которую вошёл эко-регион Алтай.

Большую роль играют усилия Координационного совета «Наш общий дом - Алтай», созданного в 2003 году для координации законотворческой деятельности приграничных регионов четырех стран в области охраны природы, природопользования и рекреации, по инициативе представителей Алтайского края, Республики Алтай, Восточного Казахстана, Синьцзян – Уйгурского автономного района КНР, Баян-Ульгийского и Ховдского аймаков Монголии [8].

В рамках деятельности Координационного совета подписано соглашение о развитии трансграничного туризма на Алтае на