УДК 912:681.2(571.150)

КОЛИЧЕСТВЕННОЕ ОБОСНОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ РЕГУЛЯРНО-ЯЧЕИСТЫХ МОДЕЛЕЙ КАК МЕТОДА ЧИСЛЕННОЙ ОЦЕНКИ И ГИС-КАРТОГРАФИРОВАНИЯ ТЕРРИТОРИЙ

Е.П. Крупочкин, Д.А. Дирин, А.Н. Дунец, Е.В. Рыгалов

В статье рассматривается проблема разработки регулярно-ячеистых моделей, используемых в интегральной и покомпонентной оценки территорий. Главный акцент авторами работы сделан на обосновании параметров регулярно-ячеистых моделей, позволяющих оценивать различные виды ресурсов в крупномасштабных исследованиях.

На основании проведенных расчетов и экспериментов показана целесообразность внедрения рассматриваемых моделей при измерениях и формализованной оценке различных видов ресурсов для принятия обоснованных решений в области экономического развития территорий регионального уровня. В качестве метода создания и использования оценочных туристско-рекреационных моделей обоснована необходимость применения гексагональных операционных единиц, обладающих рядом преимуществ. В частности, доказана правомерность использования регулярных сетей гексагональной формы со стороной, и радиусом вписанной окружности – 3 км, что обеспечивает оптимальный уровень автоматизации вычислительных работ и совокупных затрат.

Результаты исследований могут быть интересны специалистам в области геоинформатики и картографии, а также географам и экономистам и др., занимающихся проблемами формализованных оценок территорий регионального уровня с использованием геоинформационных систем и технологий.

Ключевые слова: количественная оценка потенциала территорий, регулярно-ячеистые модели, операционные территориальные единицы, гексагональные сети, параметры регулярных операционных территориальных единиц, геоинформационные системы и технологии.

Проблема разработки и использования регулярных пространственных сеток в оценочных ГИС-моделях является на наш взгляд, одним из краеугольных камней в междисциплинарных исследованиях, которые основываются на синтезе таких моделей, как – математических, геоинформационных и картографических. Анализ работ в данной области [1, 2, 3 и др.] показывает неоспоримые преимущества регулярных сетей, суть которых заключается в: относительной простоте, удобстве с точки зрения автоматизации вычислительных работ и массового производства ГИС-моделей, оперативности создания и обновления баз данных, возможности массового координирования данных по единым алгоритмам, оперативном составлении цифровых карт с использованием грид-технологий и др.

При этом следует акцентировать внимание на некоторых проблемных вопросах, которые сразу же возникают при использовании данного инструмента в отдельно взятых (частных) задачах.

Одной из таких задач является – ***разработка универсального механизма и инструмента (одновременно) при интегральной или покомпонентной оценке потенциала территорий.*** В качестве объекта исследований выступает западная территория равнинной части Алтайского края (Кулундинская равнина). Актуальность выбора объекта исследований заключается в объективной формализованной оценке туристско-рекреационного потенциала и его отдельных компонентов: культурно-исторического, природного, экономического и др. Такая оценка позволит решить прикладную задачу оптимизации туристско-рекреационного хозяйства. Выявление пространственных закономерностей потенциала территории (как покомпонентного, так и общего – интегрального) позволит значительно усовершенствовать теорию территориальной организации туризма.

Оценка потенциала различных территорий выполнялась нами в прежних исследованиях [4, 5 и др.] и рассматривалась как один из элементов комплекса проводимых работ. При этом стоит отметить, что в таких работах применение регулярных пространственных сеток или ОТЕ (операционных территориальных единиц) носила обыденный характер и в большей степени выбор параметров операционных ячеек производился на основе ис-

следований других авторов, близких по своему замыслу. Такой подход вполне логичен и объясняется экономией времени на эксперименты с сетями в пользу его задействования для расчетных задач и массовой обработки исходных данных.

Между тем его недостаток заключается, прежде всего, в наличии систематических погрешностей, вытекающих из нечеткого представления о правильности выбора параметров ОТЕ, особенно в зависимости от масштаба и назначения разрабатываемых моделей. **К таким параметрам мы относим:**

1. Форму ячеек, определяющих общую конфигурацию создаваемых сетей;
2. Размеры и площадь ячеек;
3. Топологию создаваемых сетей на основе установленных ячеек;
4. Угол поворота отдельных ячеек и сети в целом;
5. Возможность автоматизации работ с помощью ГИС.

Эксперименты с изменением формы ячеек в геоинформатике и в картографическом методе географических исследований, известны давно. Так А.В. Кошкарев один из первых отечественных ученых обосновал применение сетей регулярного типа для ГИС в качестве удобного и эффективного инструмента сбора и анализа пространственных данных. Согласно А.В. Кошкареву разбиение географического пространства на более дробные единицы правильной формы лежит в основе обработки космических снимков. Кроме того, несомненна простота, удобство и экономичность совместного анализа разновременных и разносюжетных карт такого типа с помощью приемов картографического метода исследования, особенно – математических [1, 6 и др.].

В.С. Тикунов при рассмотрении элементарных единиц пространственного деления выделяет 2 категории [1, 7]:

1) растровые ячейки, как элемент растровой модели данных (здесь также употребимо понятие грид-модель [8];
2) регулярная сеть или решетка регулярно-ячеистых моделей данных.

Согласно В.С. Тикунову первый тип моделей является одной из первых, следовательно – наиболее известных и популярных для многих ГИС [1, 8]. К примеру, представление данных на основе регулярных пространственных сетей образует основу глобальных цифровых моделей рельефа (ЦМР) Земли ETOP05 и GTOPO30. Первая из них содержит более 8 млн. высотных отметок в узлах регулярной сети сферических трапеций с размерами 5 x 5 угл. мин., вторая (более детальная) представляет высоты в узлах трапеций 30 x 30 сек. и т.д. Аналогичный принцип организации данных положен в основу американского национального стандарта на цифровую модель рельефа *DEM* геологической съемки США с хранением высотных отметок по профилям в узлах ячеек 30 x 30 м в системе координат километровой сетки американских топографических карт (в проекции *UTM),* а также в узлах трапеций разных размеров.

Второй тип является отличным от растрового (хотя и формально с ней схож) и представляет собой регулярно-ячеистую модель данных. Формальное сходство достигается с ячейками прямоугольной (квадратной) формы. Также известны примеры регулярных (квазирегулярных) сетей или решеток с ячейками правильной треугольной, гексагональной или трапециевидной формы, равновеликих или квазиравновеликих и многих других. Таким образом, регулярно-ячеистая модель данных служит основой «разбиения» территории на ячейки правильной геометрической формы, что во многом обеспечивает корректность топологии для ГИС-моделей.

Большой гибкостью и высокой эффективностью при сохранении быстрого доступа к элементам описания пространственных объектов обладает квадротомическая модель данных, известна под названием – квадротомическое дерево или «квадродерево» (рисунок 1). В его основе лежит разбиение территории или изображения на вложенные друг в друга пиксели или регулярные ячейки с образованием иерархической древовидной структуры – декомпозиции пространства на квадратные участки (квадраты, квадратные блоки, квадранты), каждый из которых делится рекурсивно на четыре вложенных до достижения некоторого уровня пространственного разрешения.

Обычно оно строится на основе матрицы Мортона, определяющей оптимальный в некотором смысле порядок ее кодирования и физической записи, обеспечивая минимальный последовательный поиск. Принимая за нулевой уровень иерархии земную сферу в целом, может быть построено глобальное квадротомическое дерево. Известные формулы между пространственным разрешением и уровнем дерева показывают, что уже на 23-м уровне иерархии достигается метровое его разрешение [8; 9, С. 98–99].

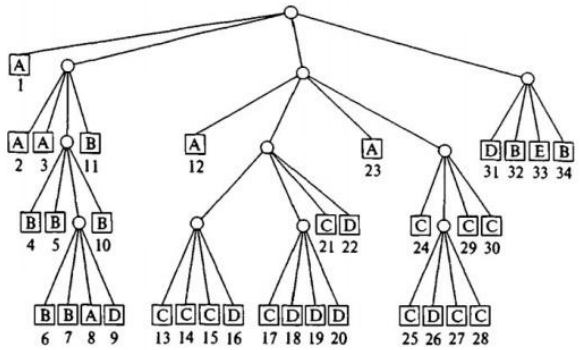

Рисунок 1. – Итоговое квадродерево как графическая иллюстрация результатов декомпозиции описываемого участка [8, С. 63]

На ранней стадии развития ГИС (конец 60-х – начало 70-х годов XX в.) разработчики действительно ориентировались преимущественно на растровые и регулярно-ячеистые модели данных, что объяснялось плохой разработанностью и непопулярностью векторных моделей в условиях отсутствия или недоступности средств векторного шифрования картографических источников и средств автоматизированного картографирования. В дальнейшем векторные модели данных (вплоть до сегодняшних дней) стали занимать лидирующие позиции. Отчасти это объясняется такой парадоксальной вещью, как отставание растровых ГИС-технологий и технологий обработки растровой графики в сравнении с векторной. Однако в связи с бурным развитием новых подходов, методов и алгоритмов обработки больших массивов данных (параллельные вычислительные процессы, технология компьютерного зрения, нейро-сетевая обработка, технология «grid» и др.) можно констатировать возвращение к прежней тенденции.

Большую известность регулярно-ячеистые модели получили благодаря их массовому внедрению в крупные научно-исследовательские проекты. Так, например, А.Р. Батуев разработал апробировал метод построения изолинейных моделей плотности нагрузки (овцы, КРС) на территорию Боргойской группы приселенгинских котловин с 1960 по 1999 гг. [10, с. 124–133], создал серию оценочных карт распаханности территории Тугнуйской группы котловин и др. на основе комбинации треугольников и треугольных сетей, позволяющих создать систему опорных точек. Для них выявлены повышенная точность картографирования, возможность одновременного манипулирования не одним показателем, а целым комплексом. Несмотря на высокую генерализованность обзорных тематических карт, созданных А.Р. Батуевым, их качество оказалось фактически сопоставимо с картами крупного масштаба.

В.А. Червяков предложил использовать в качестве операционных ячеек скользящий математический оператор в виде движущегося кружка заданного радиуса [3, 11]. По своей сути данный метод также представляет собой вариацию регулярной сети операционных ячеек, но только в виде динамической окружности, т.е. оператора в движении. Ее принципиальное отличие от других ОТЕ согласно приведенным выше результатам отличает: высокая репрезентативность, достоверность, возможность изучения и картографирования явлений в статике, динамике и взаимосвязях.

Вместе с тем, есть и некоторые недостатки данного подхода, которые заключатся: а) в двух- и более кратной обработке одних и тех же данных, что в итоге влияет на точность получаемых результатов; б) в решении ряда дополнительных задач и вычислений, связанных с нахождением контрольных точек; в) в возникновении эффекта элиасинга, влияющего на возникающие искажения, практически во всех случаях и др.

Необходимость выделения элементарных географических объектов (ячеек) В.Н. Бугроменко и А.П. Орешко [2] объясняют следующими причинами: 1) необходимостью сопоставления обычно несопоставимых свойств конкретных объектов без сокращения качественного и количественного разнообразия последних; 2) требованиями, что сопоставимые свойства должны быть атрибутом территории, а не конкретных объектов. Подобное превращение приводит к тому, что эти свойства изменяются не от объекта к объекту, а от места к месту, в том числе и к таким местам, где нет объектов, но есть «следы» их близкого или бывшего присутствия.

ОТЕ по своей сути представляют абстрактные географические объекты в отличие от конкретных элементарных географических объектов – компонентов геосистем. Собственно сама постановка проблемы элементарного географического объекта вытекает из невозможности определения сути географических явлений (например, географического анализа рекреационных условий), исходя лишь из операций над конкретными объектами.

Операционные территориальные единицы согласно исследованиям В.Н. Бугроменко, А.П. Орешко [2, 12 и др.], А.В. Кошкарева [1, 6 и др.], В.А. Червякова [3, 11 и др.], должны представлять наименьшее неделимое пространство исследуемых конкретных объектов. При конструировании ОТЕ следует использо-

вать принцип эквивалентности, согласно которому (в географической интерпретации) всеми свойствами данного объекта обладают и его ближайшие окрестности. Для соблюдения данного принципа необходимо таким образом наложить сеть правильных ячеек на взаимодействующие между собой объекты реальной действительности, чтобы каждый объект попал в пределы определенной (единственной) ячейки. Как показали исследования, в наибольшей степени функция эквивалентности может быть реализована в гексагональных ячейках или ОТЕ, названных В.Н. Бугроменко и А.П. Орешко – эквиклеточными (от латинского «***aequus***», что означает – «***равный»***).

Использование ячеек гексагональной формы также нашло отражение в работах по землеустройству в нашей стране еще в начале XX в. Операционные ячейки со сторонами 20 и 5 км успешно использованы в работе Л.П. Фукс [13] для изучения систем расселения на юге Западной Сибири. На рисунке 2 проиллюстрирована апробация метода построения регулярно-ячеистой модели гексагональной формы, с помощью которой и был исследован ареал размещения татарских поселений Юга Западной Сибири. При этом Л.П. Фукс использовал разные уровни такой модели, применяя методику кратного деления отобранных (попавших в нужный ранг) ОТЕ при изучении территорий более низкого уровня.

Многоуровенность, с одной стороны, и удобство анализа – с другой, позволили автору установить зависимость жизнеспособности типов поселений от пространственной организации их сети: величины ареала распространения, густоты поселений и тесноты связей между ними, внедрения в их среду иных поселений, например, других национальных типов.

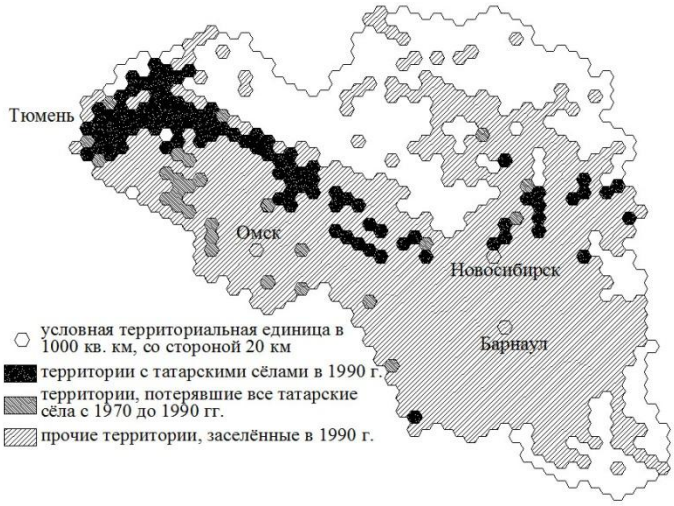

Рисунок 2 – Регулярно-ячеистая модель ареала размещения татарских поселений Юга Западной Сибири [13, С. 14]

Таким образом, изучение опыта наших коллег, полученных ранее материалов анализа некоторых параметров операционных территориальных единиц, свидетельствуют о целесообразности использования ОТЕ именно гексагональной формы, т.к. такие ячейки являются оптимальными как с точки зрения удобства автоматизации вычислительных работ, так и с учетом точности и достоверности разрабатываемых на их основе ГИС-моделей. Для наших экспериментов мы применили несколько гексагональных сеток со сторонами шестиугольника: d = 500 м, 1 км, 2 км, 3 км, 4 км, 5 км.

Количественный анализ предполагал вычисление и сравнительный анализ численных показателей по всем видам гексагональных сеток (от 500 м – до 5 км). В качестве репрезентативной выборки использовалась комбинация векторных слоев (таблица 1).

Далее на основе полученных численных значений (показателей плотности, густоты и покрытости) с помощью ГИС MapInfo Professional производились операции вычисления таких показателей, как: общая информативность (*P*), энтропия (*H*), коэффициенты корреляции (*r*), точность (*M*) по формулам [3, 14]:

$$P = \log_2 \times \sum_{i=1}^{N} N_i, \qquad (1)$$

где $\sum Ni$ – численные значения показателей, вычисленных в ОТЕ – культурно-историческое наследие, инфраструктура и обслуживание, природные условия;

$$H = -\sum_{i=1}^{N} P_i \times \log_2 P_i, \qquad (2)$$

где P_i – доля каждого фактора относительного его заполненности (обеспеченности) в каждой ОТЕ разного размера;

$$r = \frac{\sum (x_i - \bar{x}) \times (y_i - \bar{y})}{n \times \delta_x \times \delta_y}, \qquad (3)$$

где X_i и Y_i – численные значения между двумя оцениваемыми факторами (слоями) по всей совокупности операционных ячеек, n – объем репрезентативной выборки, определяемый количеством ячеек при каждом заданном шаге (d), δ – среднее квадратическое отклонение по каждому из факторов.

Таблица 1 – Группировка набора исходных данные с наименованиями групп с наборами векторных данных и соответствующими перечнями показателей

Наименование слоев	Наименование показателей, вычисленных в ОТЕ	Наименование группы
Культурно-исторические памятники	ед./кв. км (плотность)	Культурно-историческое наследие
Памятники археологии	ед./кв. км (плотность)	
Объекты сферы услуг	ед./кв. км (плотность)	Инфраструктура и сервисное обслуживание
Объекты инфраструктуры	ед./кв. км (плотность)	
Населенные пункты	ед./кв. км (плотность)	
Дорожная сеть	км/кв. км (густота)	
Растительность (леса)	кв. км/кв. км (покрытость, %)	Природные условия
Болота	кв. км/кв. км (покрытость, %)	
Гидрография (реки и озера)	км /кв. км	
Рельеф (изолинии)	Средняя высота, м	

В таблице 2 отражены главные показатели, на основе которых мы посчитали возможным сделать выводы и рекомендовать к использованию ОТЕ определенного размера. Анализ полученных данных (см. таблицу 2) позволяет сделать вывод о том, что показатель информативности изменяется на основе линейной функции в зависимости от размера ОТЕ – чем больше размерность ячеек, тем большие численные значения приобретают ячейки в результате измерений. По крайней мере, данная закономерность прослеживается для строго установленных пределов ОТЕ при d_{min} = 0,5 км; d_{max} = 5 км. Это объясняется, с одной стороны – эффектом возросшего охвата географических объектов при увеличении самих операционных ячеек, что вполне ясно. Однако при этом, изменение энтропии (*H*), от которой зависят и разнообразие, и детальность картографируемых характеристик, изменяется нелинейно. Наибольшие числовые значения принимают ОТЕ с размерностью от 1 до 2 км.

С учетом выше сказанного следовало бы рекомендовать к использованию для интегральной и покомпонентной оценки гексагональные ОТЕ со стороной (длиной ребра) 1–2 км.

Однако для принятия окончательного решения мы посчитали необходимым применить расчеты коэффициентов корреляции и ошибок обработки пространственных данных (объектов внутри расчетных слоев в ГИС).

Как видно из полученных результатов, значения корреляционных матриц при увеличении шага растут пропорционально значениям общей информативности (таблица 3). При этом зависимость одних факторов остается в неизменном положении, значения других – существенно повышаются. В качестве особой категории в группе природных условий выделяется показатель заболоченности территории. При каждом возрастании размерности ОТЕ, увеличивается число ячеек с отрицательной формой связи от данного показателя. Это объясняется вполне просто, т.к. наличие болот является препятствием с точки зрения хозяйственного освоения земель и вовлечения в оборот. Это одинаково справедливо как для отраслей промышленности и сельского хозяйства, так и для развития туризма. При этом заметим, что речь идет только о форме связи, поскольку сам факт связи практически не установлен (значение коэффициентов близки к нулевым).

Несмотря на уже проведенные многочисленные расчеты и эксперименты, по нашему мнению, проведение полноценного

сравнительного анализа разноразмерных ОТЕ трудно достижимо без оценки точности картометрических измерений и картографических построений. Отсюда в качестве дополнения к уже проведенным расчетам мы посчитали необходимым сделать оценку точности измерительных (сбор исходных данных по слоям) и аналитических (результаты обработки объектов по слоям) работ. Наиболее объективно метрические и картографические возможности ОТЕ отражает показатель точности (*M*), вычисляемый по формуле (4):

$$M = m_i - K, \qquad (4)$$

где m_i – численные (измеренные) значение плотностей оцениваемых ячеек по всем группам факторов, *K* – численные значения, приближенные к истинным.

Таблица 2 – Численные значения количественных показателей оценки разноразмерных гексагональных сетей

Наименование показателя / Размер ОТЕ	*P*	$\overline{H}$	*M*
500	0,20	0,46	0,92
1000	0,27	0,51	1,65
2000	0,50	0,5	1,16
3000	0,68	0,38	1,16
4000	0,72	0,34	1,24
5000	0,81	0,25	3,00

Для оценки точности (К) использовалась сеть контрольных точек, расположенных в узлах регулярной сети. Сеть располагалась произвольно, обеспечивая, таким образом, репрезентативность вычислений. Процедура совмещения сети контрольно-измерительных точек выполнялась несколько раз для каждого вида гексагональных сетей – начиная от 500-метровой и заканчивая 5-километровой ($500 \le d_i \le 5000$). Измеренные значения (m_i) оцениваемых разноразмерных ячеек по каждой группе факторов в каждой ОТЕ вычислялись автоматически с помощью встроенного ГИС-инструментария. По своей сути, измеренные значения (такие как, густота дорожной сети, плотность объектов инфраструктуры и т.д.), отражают степень генерализации для каждого вида ОТЕ с учетом шага (d). В свою очередь, так называемые истинные значения показателей (К) фактически являются максимально приближенными к истинным. Они определялись на основе крупномасштабных карт и снимков с использованием картографических серверов Яндекс-карты [15] и SasGIS Planet [16].

На заключительном шаге количественного анализа ОТЕ построен совмещенный график информативности и ошибок генерализации, полученных на основе разноразмерных гексагональных сеток с ребром от 0,5 до 5 км (см. рисунок 3). Полученный график демонстрирует крайне неравномерное распределение информационных (метрических) возможностей в зависимости от шага или размера ОТЕ. Вместе с тем, если аппроксимировать верхний график, то мы получим экспоненциальную зависимость информативности от размера сеток. При этом нижний график распределения ошибок изменяется дискретно (ступенчато), тем не менее, общий тренд явно подчиняется линейной функции и прямо пропорционален размеру сетки. То есть, чем больше размер (сторона ОТЕ), тем выше значение систематических ошибок.

Таблица 3 – Фрагменты корреляционных матриц, отражающие тесноту связи между факторами разноразмерных сетях

Фрагмент А

	G_P	**R_L**	**D_P**	**K_P**	**B_P**	**E_N**
G_P	1,00	-0,05	0,047	0,03	0,09	0,04
R_L		1,00	0,29	0,35	0,11	0,11
D_P			1,00	0,58	0,01	0,35
K_P				1,00	-0,003	0,20
B_P					1,00	-0,006
E_N						1,00

Фрагмент Б

	G_P	**R_L**	**D_P**	**K_P**	**B_P**	**E_N**
G_P	1,00	-0,07	0,02	0,01	0,08	0,02
R_L		1,00	0,24	0,28	0,09	0,07
D_P			1,00	0,56	-0,00	0,29
K_P				1,00	-0,01	0,17
B_P					1,00	0,00
E_N						1,00

Примечание: Фрагмент таблицы А содержит результаты расчетов при использовании ОТЕ со стороной 3 км, фрагмент Б содержит результаты расчетов при использовании ОТЕ со стороной 5 км.

Условные обозначения: G_P – густота речной сети, R_L – густота дорожной сети, D_P – плотность населенных пунктов, K_P – обеспеченность объектами культурно-исторического наследия, B_P – заболоченность, E_N – плотность объектов социально-экономического назначения.

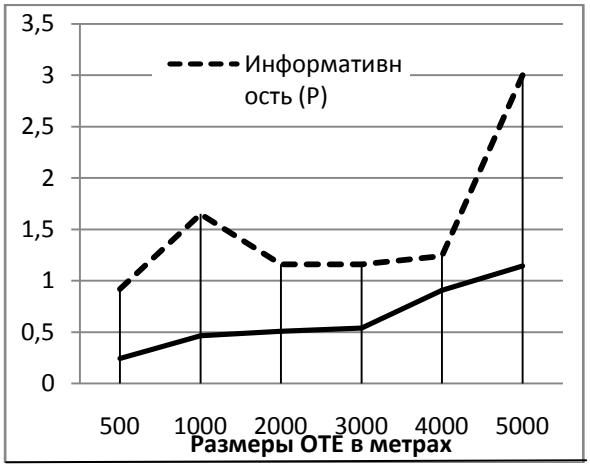

Рисунок 3 – Динамика информативности и ошибок генерализации, полученных на основе разноразмерных сеток с шагом от 0,5 до 5 км

Между тем тщательный анализ нижнего графика позволяет выделить отрезок с устойчивыми низкими значениями ошибок, изменяющихся от 0,47 до 0,55. Резкое увеличение систематической ошибки начинается со значения 0,8 при размерности ОТЕ – 4 км и далее, по возрастающей. Таким образом, совместный анализ комплекса факторов позволяет рекомендовать для расчетов тип гексагональных (эквиклеточных) сетей со стороной (ребром) ОТЕ – 3 км. Данный размер является наиболее оптимальным, как с точки зрения совокупных затрат на обработку исходных данных, так и с учетом возникающих при этом ошибок и информативности обработанных слоев.

Апробацию предложенной гексагональной сети с размерностью ОТЕ 3 км рассмотрим на примере карт культурно-исторического потенциала (рисунки 4, 5). Расчет показателей, характеризующих элементы опорного туристско-рекреационного каркаса, производился с использованием оверлейных функций ГИС MapInfo на основе базы данных и информации с географической привязкой каждого памятника. Обе модели объединяет единая методика получения и обработки данных, основанная на использовании регулярно-ячеистой модели гексагональной формы с рекомендуемыми параметрами (см. выше). Вместе с тем, способы картографической визуализации абсолютно разные: первая модель представляет собой дискретную, использующую в основе построения карты регулярно-ячеистый каркас, вторая – напротив, является континуальной или непрерывной моделью, воплощенной в системе изолиний.

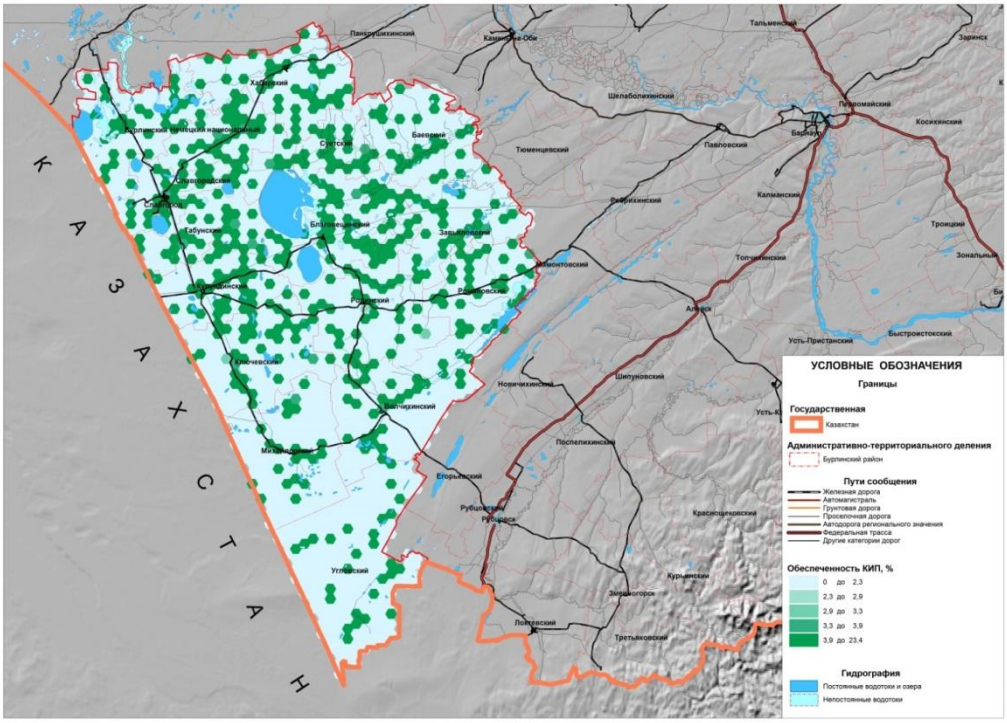

Рисунок 4 – Апробация регулярно-ячеистой гексагональной модели, демонстрирующей культурно-исторический потенциал равнинной части Алтайского края.
Параметры ОТЕ: сторона (длина ребра) – 3 км, радиус описанной окружности – 3 км, площадь – 23,3 кв. км

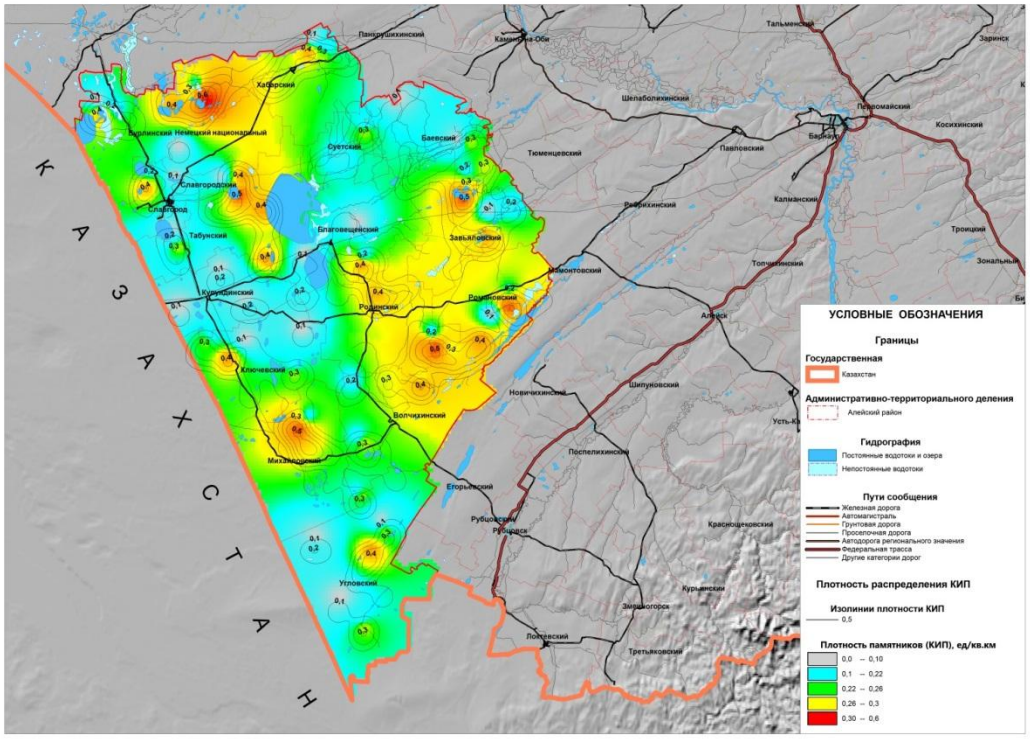

Рисунок 5 – Изолинейная модель культурно-исторического потенциала равнинной (западной) части Алтайского края: получена на основе обработки данных регулярно-ячеистой модели

Таким образом, апробация регулярно-ячеистой модели с гексагональными ОТЕ четко выделяет из общего фона именно такие ОТЕ, которые обладаю повышенными значениями культурно-исторического потенциала (рисунок 4). Визуально мы наблюдаем пространственную группировку ячеек, показанных одним цветов и принадлежащим к одному диапазону. Например, наибольшими значениями, окрашенными в темно-зеленый цвет, обладают все ОТЕ в диапазоне от 3,9 до 22,4 %. Однако, несмотря на высокую наглядность такой модели, внутригрупповых пространственных различий в каждом из всех выделенных диапазонов, мы не видим.

Изолинейная модель позволяет нам визуально и с пространственной привязкой выделить основные места (ядра) концентрации культурно-исторического потенциала, а также изучить переходные характеристики и закономерности их территориального распределения. Так, к примеру, максимальной плотности памятников соответствуют локальные участки с наибольшей концентрацией в местах расположения пресных озер с благоприятными природно-географическими факторами. К последним следует отнести: удобство расположения площадок, выраженное в рельефе; близость и малое время подхода к водным объектам, что особенно важно для анализа распределения памятников археологии (удобство земледелия и скотоводства); оптимальное соотношение агроклиматических факторов (тепла и увлажнения); удобство перемещения и возможность положения новых путей и др. Другая, ярко выраженная закономерность состоит в высокой корреляции распределения памятников культуры с поселенческой сетью, что объясняется истоками формирования данной группы памятников с развитой культурой и традициями.

ОСНОВНЫЕ ВЫВОДЫ И РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Поведенные исследования и эксперименты с регулярно-ячеистыми моделями позволяют говорить о целесообразности их внедрения при измерениях и количественной оценке различных видов ресурсов (природных, культурных, экономических и др.), что в конечном итоге влияет на принятие необходимых и правильных стратегических решений в области экономического развития регионов страны.

В качестве метода создания и использования предлагаемых моделей (рисунки 4, 5) рекомендуется использовать гексагональные операционные ячейки, которые обладают рядом преимуществ: 1) универсальностью при

разработке и реализации технологических процессов сбора, хранения и обработки данных; 2) эффективностью при создании и использовании в ГИС баз данных в виде набора растровых данных, или в виде реляционных таблиц с пространственной привязкой; 3) удобством и высокой скоростью автоматизации вычислительных и картосоставительских работ с использованием ГИС; 4) возможностью классификации, как входных данных, так и полученных результатов обработки и др.

В ходе проделанных работ решена задача количественного обоснования параметров регулярно-ячеистых моделей на примере гексагональных – эквиклеточных. Доказана правомерность использования регулярных сетей гексагональной формы со стороной 3 км, что обеспечивает оптимальный уровень автоматизации вычислительных работ, сохраняя при этом допустимую степень генерализации. Также следует отметить особенность гексагональных сетей, которая проявляется в возможности их массового использования в типовых социально-экономических задачах, где площадь будет известна заранее (например, площадь хозяйств или земельных угодий). Таким образом, мы всегда можем определить оптимальный размер операционных ячеек, что еще раз подчеркивает удобство использования предложенной методики.

Апробация методики создания и использования регулярно-ячеистых моделей посредством ГИС дает основание перейти от измерения каждого отдельно взятого компонента оценки к планированию мероприятий по освоению туристско-рекреационного потенциала, в частности – культурно-исторического. По результатам апробации новой методики созданы дискретная и изолинейная (непрерывная) пространственные модели, на основе которых можно выделить перспективные «ядра» роста (притяжения) для таких видов туризма, как научно-познавательный, событийный и др. Соединение этих ядер, конечно – с учетом социально-экономических факторов и конъюнктуры рынка, позволит перейти непосредственно к разработке программ и маршрутов туристско-хозяйственного освоения территории.

Исследования выполнены при финансовой поддержке РФФИ, грант №16-45-220007.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Кошкарев, А. В. Геоинформатика / А. В. Кошкарев, В. С. Тикунов; под ред. Д. В. Лисицкого. – М. : «Картгеоцентр» – «Геодезиздат», 1993. – 213 с.

2. Бугроменко, В. Н. Эквиклеточные сети как метод унификации компонентов геосистем: процедуры построения и программное обеспечение: препринт / В. Н. Бугроменко, А. П. Орешко // Тихоокеанский институт географии ДВНЦ АН СССР. – Владивосток, 1985.

3. Червяков, В. А. Количественные методы : учебное пособие / В. А. Червяков. – Барнаул : изд-во Алт. ун-та, 1998. – 259 с.

4. Дирин, Д. А. Комплексная оценка туристско-рекреационного потенциала ленточных боров Алтайского края в целях территориального планирования туризма и отдыха / Д. А. Дирин, Е. П. Крупочкин, А. Н. Дунец, С. С. Семочкина, Е. С. Попов, О. П. Николаева // Вестник Алтайской науки. – 2012. – № 4(14). – С. 120–125.

5. Крупочкин, Е. П. Опыт использования ГИС-технологий для оценки освоенности туристско-рекреационного пространства Алтае-Саянского региона / Е. П. Крупочкин, А. Н. Дунец // Известия Алтайского государственного университета. – 2012. – № 3-2(75). – С. 115–119.

6. Кошкарев, А. В. Некоторые вопросы использования регулярных пространственных сеток в тематической картографии и ГИС / А. В. Кошкарев. – М. : ВИНИТИ, 1980 (Деп. №1194-80). – 20 с.

7. Понятие «Грид», раздел – Регулярные сети» / Сайт межрегиональной общественной организации содействию развития рынка геоинформационных технологий и услуг «ГИС-Ассоциация» – Режим доступа: http://www.gisa.ru/13627.html – Дата обращения: 10.09.2016.

8. Геоинформатика : учебник для студ. вузов / Е. Г. Капралов, А. В. Кошкарев, В. С. Тикунов и др.; под ред. В. С. Тикунова. – М. : Издательский центр «Академия», 2005. – 480 с.

9. Картография. Вып. 4: Геоинформационные системы: Сборник переводных статей / сост., ред. и предисл. А. М. Берлянт, В. С. Тикунов. – М. : «Картгеоцентр» – «Геодезиздат», 1994. – 350 с.

10. Батуев, А. Р. Геосистемы и картографирование эколого-географических ситуаций приселенгинских котловин Байкальского региона / А. Р. Батуев, А. Б. Буянтуев, В. А. Снытко. – Новосибирск : Изд-во СО РАН, 2000. – 164 с.

11. Червяков, В. А. Теория и технология регионального картографического моделирования: геоинформационные подходы : монография / В. А. Червяков, Е. П. Крупочкин, О. Н. Барышникова, И. А. Колмакова, Е. В. Мардасова, А. А. Поляков, Т. Г. Попова. – Барнаул : Изд-во Алт. ун-та, 2005. – 136 с.

12. Бугроменко, В. Н. Элементарный географический объект / В. Н. Бугроменко // Вестник МГУ. Серия геогр. – 1978. – № 4. – С. 32–37.

13. Фукс, Л. П. Региональное расселение как система: самоорганизация и принципы управления (исследовательская модель расселения на юге Западной Сибири) : автореф. дис. ... д-ра геогр. наук. – СПб, 2007. – 32 с.

14. Крупочкин, Е. П. Теоретико-методические основы количественного описания и интерпретации информации : учебное пособие для студентов вузов / Е. П. Крупочкин, А. В. Иванченко, Н. А. Дол-

гов, А. В. Кротов. – Барнаул : Изд-во Алт. ун-та, 2011. – 202 с.

15. Картографический сервер «Яндекс». – Режим доступа: https://yandex.ru/maps/ – Дата обращения: 10.09.2016.

16. SASGIS «Веб-картография и навигация»: единый интерфейс загрузки и обработки картографического материала. – Режим доступа: http://www.sasgis.org/ – Дата обращения: 10.09.2016.

***Крупочкин Евгений Петрович**, к.г.н., доцент кафедры экономической географии и картографии ФГБОУ ВО «Алтайский государственный университет», e-mail: krupochkin@mail.ru, тел.: 8(3852) 29-12-80.*

***Дирин Денис Александрович**, к.г.н., зав. кафедрой экономической географии и картографии ФГБОУ ВО «Алтайский государственный университет», e-mail: denis_dirin@mail.ru, тел.: 8(3852) 29-12-80.*

***Дунец Александр Николаевич**, д.г.н., Проректор по международной деятельности ФГБОУ ВО «Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова, e-mail: dunets@mail.ru, тел.: 8 (3852) 29-87-43.*

***Рыгалов Евгений Владимирович**, ст. преподаватель кафедры экономической географии и картографии ФГБОУ ВО «Алтайский государственный университет», e-mail: rugalov@mail.ru, тел.: 8(3852) 29-12-80.*