

УДК 504.54:712(443.4/.6)

© Е.С. Хазиева

Е.С. Хазиева

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ЛАНДШАФТНЫХ МЕТРИК FRAGSTATS ДЛЯ ИЗУЧЕНИЯ ДИНАМИКИ СОВРЕМЕННОЙ ЛАНДШАФТНОЙ СТРУКТУРЫ



В данной работе проведен анализ динамики современной ландшафтной структуры с использованием ландшафтных метрик Fragstat. В настоящее время направление ландшафтно-экологических исследований занимает важное место при решении экологически направленных задач на пути устойчивого развития территорий. Применение в ландшафтно-экологических исследованиях различных количественных показателей латеральной структуры ландшафтов и ее разнообразия (т.н. ландшафтных метрик, для расчета которых традиционно используется программа FRAGSTATS и разработанный на ее основе специализированный модуль Patch Analyst для ГИС-пакетов, обеспечивает возможность прогнозирования изменений ландшафтной структуры, является основой для разработки схем ландшафтного планирования и управления. Ландшафтная экология стала развиваться с 1930-х в Германии, сам термин был введен К. Троллем в 1939. В дальнейшем это направление развивалось в рамках классической экологии в Австралии (Р. Хоббс), в США (Р. Форман, П. Риссер, Д. Уинс) для объяснения экосистемных процессов, особенно миграции животных, оценки жизнеспособности популяций с привлечением фактора пространственной организации географического ландшафта (размеров, формы, конфигурации, соседства местообитаний), при этом использовался методический аппарат географии. В России проблематика, теория и методология ландшафтной экологии в значительной степени пересекается с ландшафтоведением и геоэкологией. Объект ее исследования определяется либо как ландшафтно-экологические или эколого-экономические системы, затронутые антропогенной деятельностью (П.Д. Гунин, Е.А. Востокова, 2000), либо как локальные, региональные, зональные и глобальные экосистемы, аранжированные по структуре, рисунку, функции и динамике единиц более крупных надбиогеоэкологических порядков [1]. С 1980-х гг. ландшафтная экология разрабатывается как теоретическая основа управления природопользованием – И. Зонневельдом в Нидерландах, Ф. Голли, Х. Шугартом, Ф. Борманом,

Х. Делькуртом в США, Л. Рьжковски в Польше и др. [4]. В качестве пространственного выражения ландшафта как системы предложена концепция ландшафтной, или земельной, единицы (landscape unit). Наиболее обстоятельная интерпретация этого понятия дана в работе первого президента IALE И. Зонневельда. По Зонневельду, ландшафтная единица («landscape unit»), во-первых, центральная концепция ландшафтной экологии, во-вторых, инструмент картографирования, в-третьих, средство перевода ландшафтного знания через оценку в практическую сферу. Ландшафтная единица – это участок земной поверхности, экологически гомогенный для данного уровня изучения [5]. Подчеркивается, что это целостное образование, которое изучается ландшафтными экологами как система равноправных компонентов, которая занимает некоторый диапазон «этажей» в иерархии природных систем. Ландшафтная единица – это множество внутренних (топологических, по сути – межкомпонентных) и внешних (хорологических, пространственных) взаимодействий, система в состоянии относительного равновесия. Ряд в иерархии ландшафтных единиц образуют экотопы, земельные участки – микрохоры (или land facet), земельные системы – мезохоры (или land system), основные ландшафты – макрохоры (или main landscape), что сопоставимо с российской системой морфологических единиц [2]. В зависимости от географической специфики местности разные факторы и свойства могут быть доминирующими на одном и том же иерархическом уровне. Иерархия ландшафтных единиц при картографировании может выстраиваться по-разному в зависимости от целей исследования. Таким образом, можно констатировать, что концепция ландшафтной единицы И. Зонневельда очень близка к понятию ПТК, но отличается большей гибкостью в отношении ведущих факторов, принципов картографирования, построения иерархии, степени детерминированности межкомпонентных отношений.

К настоящему времени разработаны различные программы для решения задач ландшафтного планирования, проектирования и управления. Особое

место оно занимает в ландшафтном управлении лесами и в сертификации лесного хозяйства, призванного гарантировать соответствие планов использования древесины и восстановления запасов естественной емкости лесов. Обобщая опыт и дискуссии по проблеме моделирования для планирования, проектирования и управления, можно констатировать, что основные трудности лежат в области параметризации отношений моделируемых элементов и частей системы к условиям среды, описания взаимодействий между ними и соответственно воспроизведение эндодинамики моделируемой системы, сложности отображения возможных траекторий в точках бифуркации, в оценках чувствительности системы к малым изменениям внешних переменных, в интеграции динамики, реализуемой на различных иерархических уровнях. Для оценки и визуализации динамики землепользования в данной работе использовались методы пространственного анализа, основанного на метриках FRAGSTAT [6, 7].

Используя функции пространственного анализа (Spatial Analyst – группа функций, обеспечивающих анализ размещения, связей и иных пространственных отношений пространственных объектов, включая анализ зон видимости/невидимости, анализ соседства, анализ сетей, создание и обработку цифровых моделей рельефа, анализ объектов в пределах буферных зон и др. [2]) можно получить данные по двум категориям: по ландшафтам, относящимся ко всем элементам анализа и классам, также связанным с элементами анализа карты (участками), к тому же имеющими одинаковое значение для определенного атрибута. С помощью данного модуля можно просчитать значения по шести основным группам метрических показателей:

1. Площадь объекта (Area).
2. Плотность и размер объекта (Patch Density and Size Metrics).
3. Границы объекта (Edge Metrics).
4. Форма объекта (Shape Metrics).
5. Разнообразие объекта (Diversity Metrics).
6. Показатели, характеризующие ядра экологической сети (Core Area Metrics).

Patch Analyst вычисляет как простые статистические параметры, такие, как периметр, площади на уровне класса или ландшафта, так и более сложные показатели, такие, как количество или густоту объектов, средний размер или радиус вращения. Класс области и его доля от ландшафта, класс ландшафта являются единицами ландшафтной композиции; первый показатель позволяет подсчитать количество видов участков в каждом классе, второй – из скольких ландшафтов. В этой же категории возможно получить показатели количества объектов,

значение их средней величины, коэффициент разнообразия, величину стандартного отклонения. В качестве основы для расчета ландшафтных метрик были использованы карты ландшафтного покрова, созданные в рамках проекта CORINE.

В качестве объекта исследования динамики ландшафтного покрова и типов использования земель по разновременным данным CORINE Land Cover нами был выбран округ Иль-де-Франс во Франции. Иль-де-Франс является одним из главных экономических, культурных и транспортных регионов Франции. Этот регион наиболее урбанизирован, на него приходится 18,5% всего населения страны (средняя плотность населения составляет 966 жителей на км²). Территория Парижа и его пригородов занимают 12012 км² (во Франции регион является третьим по площади после Корсики и Альзаса) и насчитывают до 11,7 млн человек, что составляет 19% всего населения Франции. Сейчас в регионе насчитывается 8 департаментов: Ессуан (Essonne), От-де-Сен (Hauts-de-Seine), Париж (Paris), Сьен-Сен-Дени (Seine-Saint-Denis), Валь-де-Марн (Val-de-Marne), Валь-де-Уаз (Val-d'Oise), Сьен-е-Марн (Seine-et-Marne) и Ивелин (Yvelines). Этот регион является наиболее экономически обеспеченным во Франции, производя 480870 млн \$ внутреннего валового продукта, тем самым обеспечивая высокий уровень жизни населения, что невозможно без проведения рациональной экологической политики.

На территорию Иль-де-Франс были взяты карты типов ландшафтного покрова и землепользования масштаба 1:100000 с разрешением 100 м за три временных отрезка – 1990, 2000 и 2006 года (рис. 1, рис. 2, рис. 3), реализованных в проекте CORINE Land Cover (Координационная информационная система по окружающей среде). Номенклатура карт землепользования CORINE состоит из трех уровней: первый уровень (5 классов) выделяет основные крупные категории ландшафтного покрова земли; второй уровень (15 классов) используется в масштабах 1:500000 и 1:1000000; третий уровень (44 класса) используется для составления карт масштаба 1:100000.

Анализируя показатели, рассчитанные в модуле Patch Analyst для классов за три временных отрезка, можно сделать следующие выводы.

Площадь под городской и индустриальной застройкой имеет тенденцию к увеличению, к 2000 году (по сравнению с 1990 годом) площади под этим типом земель увеличились на 2500 га, а к 2006 году (по сравнению с 2000 годом) – на 3050 га. Аналогичная ситуация и с землями, находящимися под горнопромышленными территориями. Но необходимо заметить, что с ростом городских и промышленных территорий в регионе также увеличивается и

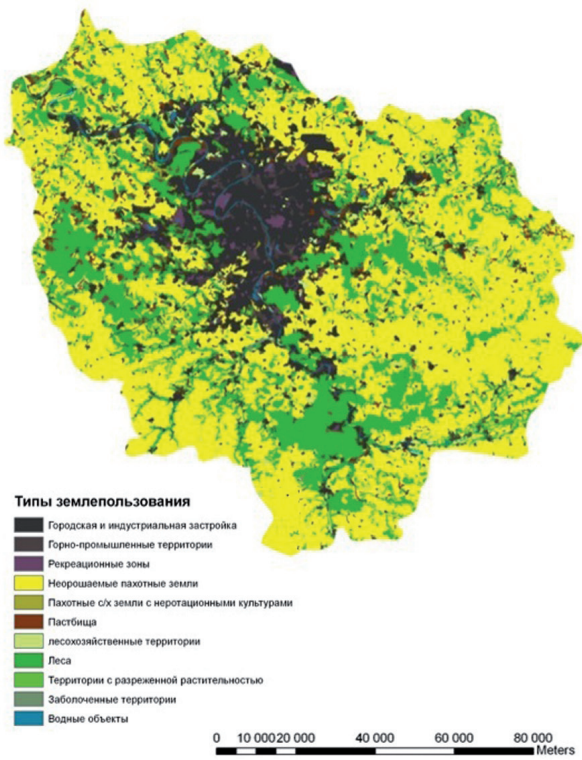


Рис. 1. Типы землепользования на территории Иль-де-Франс за 1990 г.

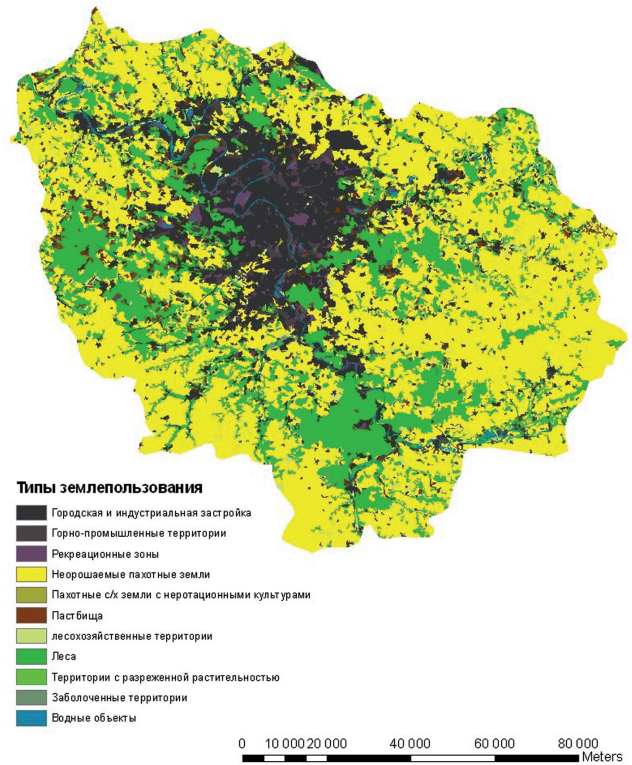


Рис. 2. Типы землепользования на территории Иль-де-Франс за 2000 г.

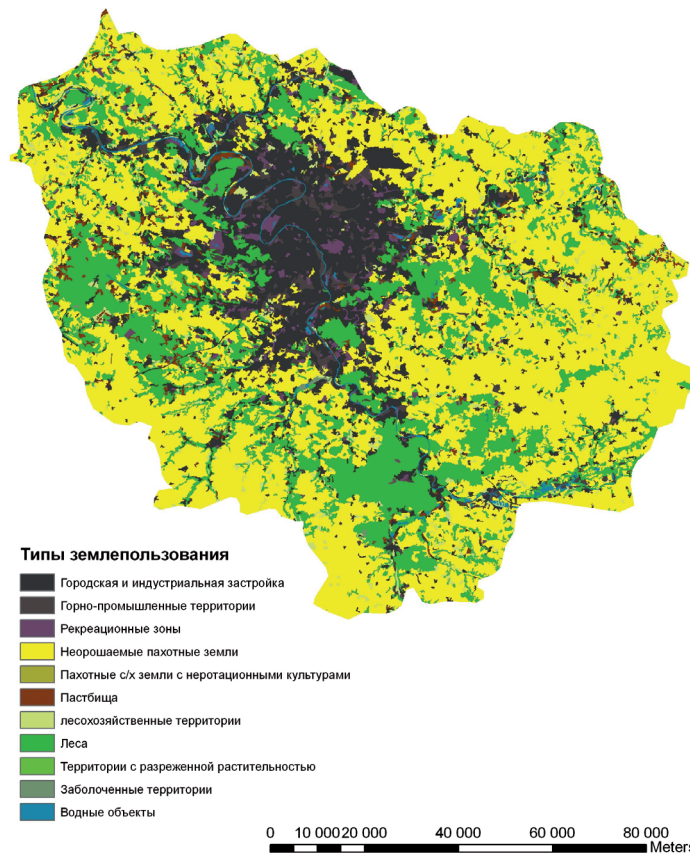


Рис. 3. Типы землепользования на территории Иль-де-Франс за 2006 г.

площадь рекреационной зоны (включающей парки, спортплощадки и т.д.). Если в 1990 году зона отдыха составляла 1,74% от площади всего региона, то в 2006 году уже 2,25%. Также был рассчитан размер стандартного отклонения (Patch size standard deviation). Размер стандартного отклонения является абсолютной мерой вариации, это функция от среднего размера участка и разницы в размере между участками. Стоит отметить, что, хотя размер стандартного отклонения и передает информацию об изменчивости участка, это трудно интерпретируемый параметр. Так, два ландшафта могут иметь один и тот же размер стандартного отклонения, равный 100 га; но один ландшафт может иметь отклонение равное 100 га, в то время как другие могут иметь отклонение в 1000 га. В этом случае, при расчете, ландшафтная структура будет очень различаться. Первый ландшафт будет характеризоваться значительной пестротой рисунка, но обладать меньшим размером полигонов, в то время как другой будет иметь более однородную структуру и более крупный размер полигонов. По этой причине коэффициент вариации (patch size coefficient of variation) как мера относительной изменчивости среднего (изменчивость в процентах от среднего), а не абсолютной изменчивости, более репрезентативен для сравнения изменчивости ландшафтов во времени и пространстве. Этот показатель максимален для городской и индустриальной застройки (148,7%) и минимален для горнопромышленных территорий. Если говорить о форме этих выделов, то видно, что наиболее приближенная к стандартной (в нашем случае – к квадратной) является форма рекреационных зон (индекс формы равен (4,98 в 1990 году и 5,53 в 2006)). Наиболее усложненная форма у класса городская и индустриальная застройка – 21,37 в 1990 году, 21,54 – в 2000 году и 21,97 – в 2006 году. О таких же тенденциях нам говорит и индекс сложности формы, который служит показателем комплексности и сложности формы участка по сравнению со стандартной формой (квадратной или почти квадратной формой) того же размера, учитывающий еще и количество выделов в ландшафте. Данный показатель наиболее репрезентативен для нашего масштаба исследования и наиболее четко отражает особенности региона. Для городской и индустриальной застройки этот показатель равен 1,84, а для рекреационных зон – 1,63. Но вот показатель извилистости границ наиболее приближен к максимуму у рекреационных зон (1,56, максимальное значение – 2), что объясняет аттрактивность данного типа ландшафтов: при такой конфигурации посетитель равномерно отдален от источников загрязнения, шумового воздействия, транспортных магистралей и т.д., а точки обзора, находящиеся в таких районах, обеспечивают максимальные

разнообразию и эстетическую привлекательность наблюдаемых с них пейзажей.

Что касается пахотных земель, на которых в регионе выращивают в основном так называемую «королевскую» пшеницу (CERVIA – региональный центр по контролю сельскохозяйственной продукции): на фермерских землях выращиваются различные бобовые (в основном фасоль), овощи и фрукты, то площадь, занятая этим типом земель сократилась примерно на 700 га. Но, несмотря на это, производство сельскохозяйственной продукции на конец 2010-х годов обеспечивает 1 млрд евро торгового оборота региона и является основой экспорта (CERVIA). Почти в 4 раза сократились земли под плантациями ягод и виноградников в 2006 (по сравнению и с 1990 и 2000 годами). Основным департаментом, в котором наблюдаются максимальные площади под виноградниками, является Сьен-е-Марн (Seine-et-Marne), там же в 2000 году была создана «Ассоциация виноградарей», основная цель которой обеспечить благоприятные условия для развития виноградарства и сохранения традиций, практически полностью утраченных в период II мировой войны [10]. В этом же департаменте и на западе департамента Валь-де-Марн (Val-de-Marne) достаточно много пастбищ, они составляют около 0,37% этих территорий и площадь под ними практически не изменилась за исследуемый промежуток времени.

Лесохозяйственные территории, в регионе представленные в основном таким типом ландшафтов, как «бокаж» (бокаж представляет собой чередование небольших по площади сельскохозяйственных полей и лугов с лесными и кустарниковыми полосами, «живыми изгородями», остатками лесных рощ, фруктовых садов), занимают около 2%, но площади под этим типом землепользования имеют тенденцию увеличиваться. Так, в 1990 году они занимали 26 260 га, а в 2006 – уже 29 770 га. Этот тип землепользования и территории, представленные плантациями ягод и виноградниками, естественно имеют минимальные значения индекса формы (т.е. их форма приближена к квадратной). Коэффициент вариации (patch size coefficient of variation) максимален для неорошаемых пашенных земель (77,6%), а наименьший коэффициент – у пастбищных земель (88%). Показатели, характеризующие «ядра типичности» природно-территориальных комплексов, ограниченные экотонными (переходными) зонами (метрики Core Area), с учетом специфики района исследования являются наиболее репрезентативными при оценке связности существующей экологической сети, фрагментации природных местообитаний и рассматривались нами только для квазиприродных ландшафтных выделов.

Согласно данным Национального Агентства по контролю за состоянием окружающей среды (Agence du Contrôle de l'Environnement de la France [13], регион Иль-де-Франс занимает лидирующие позиции в области сохранения биоразнообразия, обгоняя по темпам северные регионы Франции, но несколько отставая от южных. Здесь насчитывается 228 видов птиц (из 375 представленных во всей Франции), 18 000 видов насекомых, 60 видов млекопитающих и более 1500 видов растений.

27 февраля 2002 года во Франции были приняты поправки к закону, касающиеся сохранения окружающей среды. Согласно новому постановлению во Франции выделяются следующие охраняемые территории:

- Национальные природные заповедники (Réserves naturelles nationales) [11] до принятия закона назывались: природные заповедники (réserves naturelles), которых насчитывается 164.
- Региональные природные заповедники (Réserves naturelles régionales – RNR) до принятия закона назывались: свободные природные заповедники (Réserves naturelles volontaires), которых сейчас насчитывается 185.
- Корсиканские природные заповедники (Réserves naturelles de Corse) [12], которые включают в себя 6 заповедников на о. Корсика и являются одними из самых старых охраняемых

территорий во Франции (Агентство по охраняемым территориям Франции).

На 2006 год в регионе насчитывается 285 тыс. га лесов (в 1990 г. площадь лесов составляла 286 900 га), из которых 87 тыс. га включены в состав национальных парков, также в регионе много парков, находящихся в центральной части и протягивающихся с севера на юг. Леса представлены следующими породами: дуб (55%), березовые насаждения (3%), тополь (1,5%), бук (1%), робиния (4%), каштан (6%), ясень (11%), сосна (7%), другие широколиственные (9,5%), хвойные насаждения (2%) (по данным IFN (Inventaire Forestier National) – государственный список лесов). Надо заметить, что регион характеризуется большой долей лесов, находящихся в частном владении (рис. 4): площадь частных лесов составляет 71% от всей лесопокрытой площади, общественных – 4%, государственных – 25%, тогда как в целом по Франции эти значения распределяются следующим образом: 70% площади лесов находится в частном владении, 16% – общественные леса (леса, принадлежащие коммуна), 10% – государственные (IFN, 2008). Но, несмотря на это, изменения в территориальной структуре, степени фрагментации местообитаний были зафиксированы все же в лесах, находящихся в общественном владении.

Анализируя и сопоставляя пространственные данные проекта CORINE и карту особо охраняемых

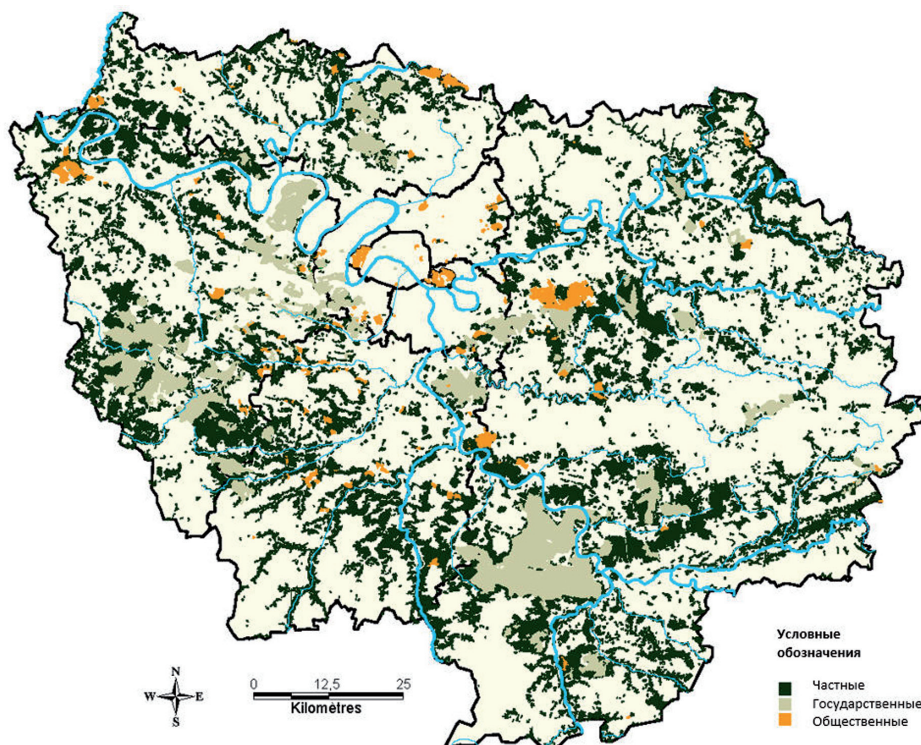


Рис.4. Распределение лесов на территории Иль-де-Франс по типу собственности

территорий, полученную с сайта Всемирной базы данных охраняемых территорий мира [8], можно заметить следующие закономерности. В 2004 году на северо-востоке региона был создан природный парк регионального уровня «Бассейн реки Уаза» (Oise-Pays), целью создания которого было не только сохранение естественного растительного покрова на этом участке, но и поддержание сельского хозяйства и развитие коневодства. Этим объясняется увеличение площади пастбищ и неорошаемых пашен на этом участке, также наблюдается небольшое прибавление в площади рекреационной зоны. Среди показателей ландшафтного разнообразия для анализа динамики был выбран индекс контрастности ландшафтного соседства (Interspersion Juxtaposition Index – IJI). Так, для городской застройки его значения выросли (в 1990 году – 71,21, в 2006 – 73,91), что в целом благоприятно отражается на ландшафте, но также этот индекс возрос и для лесов (в 1990 – 50,52, в 2006 – 54,85), и водных объектов (в 1990 – 63,00, в 2006 – 82,99), свидетельствуя тем самым о снижении устойчивости этих типов ландшафта.

Максимальное количество ключевых изолированных участков наблюдается в лесах, здесь их насчиталось около 2400 (количество остается практически неизменным в исследуемый период), также для лесов характерна и наибольшая плотность территорий, подвергающихся минимальному воздействию. Но все же плотность подобных участков для водных объектов выше, для них показатель равен 2,1 – максимальный показатель среди всех типов землепользования.

Рассчитанный для региона в целом коэффициент ландшафтной упорядоченности, который возрастает по мере увеличения организованности (т.е. чем выше ландшафтная раздробленность района и слабее ландшафтная неоднородность, тем более зарегулирована его структура. Напротив, при сближении величин раздробленности и неоднородности организованность ландшафтной структуры районов будет падать [3]), равен 0,37 (близкий к этому коэффициенту индекс равномерности распределения Симпсона – 0,47), что свидетельствует о удовлетворительной для такого региона величине организованности структуры районов.

Ключевые слова: ландшафтный покров, ГИС, ДЗЗ, ландшафтные метрики.

ЛИТЕРАТУРА

1. Виноградов Б.В. Основы ландшафтной экологии. – М. : ГЕОС, 1998. – 418 с.
2. Баранов Ю.Б., Берлянт А.М., Кошкарев А.В., Серапинас Б.Б., Филиппов Ю.А. Толковый словарь

по геоинформатике [Электронный ресурс] // ГИС-обозрение : приложение. – М. : ГИС-Ассоциация, 1998. – 1 CD-ROM.

3. Николаев В.А. Классификация и мелкомасштабное картографирование ландшафтов. М. : Изд-во Московского ун-та, 1978. – 62 с.

4. Хорошев А.В. Ландшафтная экология / Большая Российская энциклопедия. – Т. 16. – М. : БРЭ, 2010. – С. 216-218.

5. Хорошев А.В., Пузаченко Ю.Г., Дьяконов К.Н. Современное состояние ландшафтной экологии // Известия РАН. Сер. Географ. – 2006. – № 5. – С. 12-21.

6. FRAGSTATS documentation. FRAGSTATS metrics [Electronic resource]. – URL: http://www.umass.edu/landeco/research/FRAGSTATS/documents/FRAGSTATS_documents.html (date of access: 10.11.2009).

7. McGarigal K., Marks B.J. FRAGSTATS: spatial pattern analysis program for quantifying landscape structure. USDA For. Serv. Gen. Tech. Rep., 1995. – PNW-351.

8. Agence du Contrôle l'Environnement Français [Electronic resource]. – URL: <http://www.acef.com> (date of access: 20.03.2010).

9. Centre Regional de Valorisation et d'Innovation Agricole et Alimentaire [Electronic resource]. – URL: <http://www.cervia.fr> (date of access: 20.04.2010).

10. Corine Land Cover 1990 raster data – 100 m. Ver. 13. [Electronic resource]. – URL: <http://www.eea.europa.eu/data-and-maps/data> (date of access: 11.02.2010).

11. Corine Land Cover 2000 raster data – 100 m. Ver. 13 [Electronic resource]. – URL: <http://www.eea.europa.eu/data-and-maps/data> (date of access: 11.02.2010).

12. Corine Land Cover 2006 raster data – 100 m. Ver. 13 [Electronic resource]. – URL: <http://www.eea.europa.eu/data-and-maps/data> (date of access: 11.02.2010).

13. European Environment Agency Europa [Electronic resource]. – URL: <http://www.eea.europa.eu/publications/COR0-landcover> (date of access: 10.04.2010).

14. Giteile de France [Electronic resource]. – URL: <http://www.gite-ile-de-france-vignoble.com> (date of access: 15.03.2010).

15. Parcs Nationaux de France [Electronic resource]. – URL: <http://www.parcsnationaux.fr> (date of access: 20.04.2010).

16. Reserves Naturelles de France [Electronic resource]. URL: www.reserves-naturelles.org/accueil/accueil (date of access: 15.03.2010).

17. Reserves Naturelles Ile de France [Electronic resource]. – URL: <http://www.reserves-naturelles.org/reserves/region.asp?arbo=1.0&id=14> (date of access: 15.03.2010).

18. World database on protected areas. [Electronic resource]. – URL: <http://www.wdpa.org/Download.aspx> (date of access: 10.04.2010).