

УДК 911.9(477.63)+502.5(477.63)

**ГИС – ТЕХНОЛОГИИ В ПОСТРОЕНИИ ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ КРЫМА:
ПРОЕКТ BISCRIM**

Пышкин В.Б., Тарасов Ю.Э., Громенко В.М., Естафьев А.И., Рыбка Т.С.

БиоИнформационная Система Крыма (*BisCrim*) представляет собой банк данных, сложная структура которого является информационным отражением состава, состояния, взаимообусловленности и взаимосвязи, как всех компонентов экосистем Крыма, так и потоков вещества, энергии и информации между этими экосистемами. *BisCrim* – это реализованная на основе гетерогенного программно-технологического обеспечения, система функционально- и пространственно-распределенных подсистемных баз данных: четвертичных отложений, почв, климата, рельефа, растительности, животных, деятельности человека и т. д., представляющая собой динамическую и иерархическую биогеоинформационную модель Крымского полуострова.

Программное обеспечение. Активное развитие геоинформационных систем как технологической базы интеграции пространственно-координатной информации позволяет обеспечить все виды операций по созданию, хранению и аналитической обработке цифровых отображений экосистем, выделять их границы, состав и структуру в картографические базы и банки данных объединенных общей системой классификации и кодирования. Для таких исследований наиболее удобной ГИС является ArcView3.x, которая представляет собой настольную геоинформационную систему и позволяет быстро отображать различные комбинации данных, проводить универсальный растровый пространственный анализ. С выходом на рынок нового поколения программных продуктов фирмы ESRI – модулей для ArcView, появляется возможность проведения экологического анализа с целью выделения приоритетных территорий биоразнообразия, строительства сети микрозаповедников и экокоридоров, связывающих их, поиска путей сохранения редких и исчезающих видов животных, растений, почв, ландшафтов и т.д.

Основой создания моделей экосистем являются картографический, космический и экологический блоки систем баз данных. Первый состоит из серии электронных карт, которые выполняют одновременно несколько функций: выступают как основа пространственной модели экосистемы и как средство оперативной передачи пространственно-временной информации.

Второй, блок дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ): из серии космических снимков со средним и высоким пространственно-временным разрешением и отображением поверхности полуострова в спектральных диапазонах разных излучений. Детальность этих снимков и информация, полученная по спектральным

каналам, позволяет выделить границы экосистем, а генерализация установить их иерархическую структуру.

Экологическая информация представлена в виде «базовой карты» - карты элементарных экосистем полуострова, которая содержит наиболее характерные сведения о территории. Она логически организована как набор электронных слоев однородных объектов, т. е. серии компонентных электронных тематических карт - геологического строения, четвертичных отложений, рельефа, почв, климата, флоры, фауны и др.

Одним из важных этапов картирования ареалов видов растений, насекомых, млекопитающих, птиц является создание системы баз данных, в которых хранится информация о видовом составе экосистем различного иерархического уровня; систематика и таксономия, биология, морфология, экология, хорология этих видов представленная в виде карт, таблиц, снимков, схем, текста. Основной и уникальной единицей этой системы является определенный коллекционный экземпляр (или их серия) с систематической и географической этикеткой и известным местом их хранения. Примером создания базы данных может быть, реализуемая нами в настоящее время, программа *CrimInsecta* – информационная система, предназначенная для сбора, хранения и объединения авторских разработок по видовому составу, экологии и хорологии насекомых Крыма. Ее основная задача состоит, прежде всего, в создании единой системы баз данных содержащих:

- таксономическую классификацию насекомых Крыма и списки видов отдельных его регионов (Южный берег, Тарханкутский п-ов, Керченский п-ов, Присивашье и др.);
- базу данных по коллекционным экземплярам со всеми их этикетками и указанием места их хранения;
- базы данных ареалов насекомых и их комплексов на полуострове.

Решение этих задач предусматривает:

- создание системы кодирования баз данных;
- разработка единой системы классификаторов;
- проектирование структуры баз данных;
- привязка мест отлова насекомых к электронной карте Крыма;
- проведение инвентаризации и ревизии видового состава насекомых полуострова.

Организационной основой для создания системы баз данных *CrimInsecta* служит фондовая коллекция насекомых кафедры экологии и рационального природопользования биологического факультета ТНУ насчитывающая более 500 000 экземпляров собранных в основном на полуострове за сто двадцатилетний период. В базу данных также вошли материалы, любезно предоставленные специалистами, длительное время работавшими на полуострове; данные по крымским экземплярам насекомых, хранящимся в фондовых коллекциях Московского, Харьковского университетов, ЗИН АН России и Украины, во многих частных коллекциях. Используются материалы публикаций, касающиеся нахождения тех или иных видов на полуострове.

Географическое положение объекта моделирования. Крым расположен на стыке умеренных и субтропических широт и имеет широкий спектр природных зон: от полупустынь в степной части до широколиственных лесов в горной и

Значительная часть этих данных хранится на бумажных носителях (только этикеток - сотни тысяч), что весьма затрудняет оперативную обработку имеющейся информации. Имеющиеся базы данных разрознены, методически не объединены между собой. Создание информационной системы *CrimInsecta* реализует перевод на электронные носители всего накопленного почти за полтора века массива информации, что позволит повысить качество и уровень обработки этих данных, получать воспроизводимые результаты и сопоставимые данные, а главное сделает информацию конвертируемой. Предполагается создание таких же баз данных по млекопитающим, птицам, растениям, почвам и т.д. субтропической растительности на Южном берегу. Сложное геологическое строение и развитие полуострова, рельефа, климата, почвенного и растительного покрова, его биоразнообразие – послужило основой для образования здесь большой мозаичности наземных и водных экосистем.

Цель создания информационной модели Крыма. Биогеоинформационная (экологическая) модель позволит изучать, наряду с традиционными характеристиками экосистем (взаимная связь «система-среда», целостность, стационарность, равновесность, устойчивость), новые, являющиеся базовыми понятиями современного системного анализа (разупорядоченность, неустойчивость, неравновесность, нелинейность, потенциальность, критичность и др.).

Это позволит перейти от изучения компонентов экосистемы и факторов их формирования как явления (почва, растительность, животные, рельеф, климат и т.д.), к изучению сущности экосистемы, от изучения вещественно-энергетических - к изучению информационных потоков внутри и между экосистемами различных уровней организации. Установить не только видовой состав и разнообразие фауны, флоры, почв отдельных экосистем, но и разнообразие самих экосистем, установить структуру актуальных экосистем, потенциальная структура организации которых содержит все возможные варианты их стационарных состояний. Изучить механизм актуализации потенциальных экосистем в зависимости от различных воздействий на информационные потоки в актуальных экосистемах.

Пространственные границы модели. Крым можно рассматривать как остров с четкими пространственно-временными границами. Вертикальные границы модели определяются нижней и верхней границами биосферы, в пределах которой сосредоточена основная масса живых организмов и происходит наиболее активное взаимодействие элементов экосистем.

Географическое положение модели и её геоморфологическая организация являются матрицей, которая во многом определяет актуализацию биосистем полуострова. В свою очередь, взаимодействие этих систем определяет структуру и функции экосистем, формирующихся на полуострове.

Временные границы модели. Систематическое накопление информации о флоре и фауне, почвенном покрове и четвертичных отложениях, геологическом строении, рельефе и климата, было начато с конца 19 века, с тех пор объём и,

интенсивность накопления информации о природе полуострова возрастают. Объем данных, собранных на кафедрах экологии и рационального природопользования, зоологии, ботаники биологического факультета, на многих кафедрах географического факультета ТНУ позволяет проследить динамику изменений компонентов биогеосистем и изменения в иерархической их структуре за более чем столетний период.

Внутренняя неоднородность модели. Крымский полуостров можно рассматривать как сложную, иерархическую экосистему, состоящую из экоморфологических элементов (ЭМЭ), которые сформированы взаимодействием геосистем, эдафосистем и биосистем. Поскольку предполагаемая модель является сложной структурной системой, она всегда имеет какую-то степень неоднородности.

С нарастанием неоднородности степень единства в ограниченной части пространства повышается настолько, что возникающая экоморфа, обособляясь от окружающих, выделяется из них. Отсюда первоочередной задачей является определение границ экоморф и поиск тех пределов экоморфологической неоднородности которые, позволяют говорить о самостоятельном природном теле, отличном от окружающих тел.

Под экоморфой понимаются любые комплексы биоты, косных и биокосных тел природы, а так же сочетания самих ЭМЭ образующих более высокий уровень организации экосистем (экоморф) с четкими или диффузными границами, отличающиеся от соседних по своим экоморфологическим признакам (ЭМП).

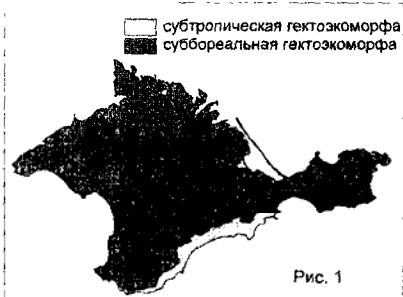
Элементарный ЭМЭ - это минимальный объём пространства, размеры которого достаточно большие, чтобы иметь полный спектр варибельности соотношений анализируемых экоморфологических признаков. Элементарные ЭМЭ и их сочетания являются устойчивыми (инвариантными) образованиями, выделяющиеся в структурной организации геоинформационного пространства создаваемой модели. Они представляют собой пространственно-временные ячейки, в пределах которых явления и события в их взаимосвязи и взаимообусловленности находятся под контролем самореализации более высокого иерархического уровня модели.

В зависимости от уровня организации ЭМЭ и внутреннего строения, размеры его могут колебаться от нескольких метров до сотен километров. При построении экологической модели Крыма необходимо различать иерархическую серию последовательных уровней её организации, каждый из которых требует специфических методов и подходов исследования, контроля и управления. Организация здесь рассматривается и как структура, и как процесс, ведущий к созданию этой структуры. В понятии «организация» фиксируется два аспекта: структурная упорядоченность экоморфологических элементов (взаимосогласованность взаимодействия, более менее дифференцированных и автономных ЭМЭ, как частей одного уровня, обусловленная его строением) и эволюционная направленность (совокупность процессов ведущих к возникновению взаимосвязей между уровнями системы).

Процесс саморазвития взаимодействий в геoinформационном пространстве приводит к тому, что здесь одновременно существует множество целостных систем: от самых мелких, неустойчивых, сиюминутных, возникающих и почти сразу исчезающих - биогеоценоконсорций, на самом «нижнем» уровне создаваемой модели – пикоэкоморфе, до квазистабильной, открытой, сложноорганизованной системы – полуострова, уровень килоэкоморфы. В изучаемой модели мы выделяем десять уровней её организации (приставки кило- гекто- дека- и др. обозначают только относительную размерность экосистем, морфе-форма):

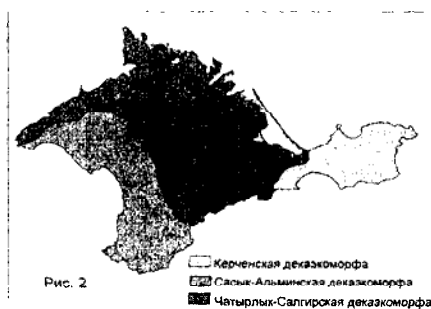
I. Уровень организации – килоэкоморфа. Полуостров в целом мы рассматриваем, как высший уровень интеграции экосистем, в пределах выбранной модели, - килоэкоморфу. Сбалансированность взаимодействий в такой системе осуществляется силами процессов становления и развития взаимодействий «внутри» системы и в таком случае формирование структуры экологического пространства происходит путём саморазвития и самоорганизации. Здесь структура - это локализованный в определенных участках географического пространства процесс, имеющий определенную геометрическую форму и способный развиваться и трансформироваться в среде. В тоже время на структуру оказывают влияние и экзогенные процессы. Поэтому этот уровень организации полуострова во многом проявляется в его географическом положении, рельефе и геологическом строении.

II. Уровень организации - гектоэкоморфа. Крымские горы делят



полуостров на две, не равные по величине части: суббореальную гектоэкоморфу с Северо-Крымской низменностью, Тарханкутской возвышенной равниной, Центрально-крымской и Керченской холмисто-грядовой равниной, Предгорной лесостепью, Главной горно-лугово-лесной грядой и субтропическую гектоэкоморфу с Крымским южнобережным субсредиземноморьем. Горы изменяют структуру метеорологических полей и в результате происходит пространственная

дифференциация термического и гидрологического режима. Гектоэкоморфы отражают зональность экосистем, их структур и характер их макрокомбинаций в суббореальном и субсредиземноморском климате (рисунок 1).



III. Уровень организации - декаэкоморфа. На основе анализа геоморфологического строения и направленности латерального стока вещества, (играющего значительную роль в миграции химических элементов): суббореальную гектоэкоморфу можно разделить: на Сасык-Альминскую, Чатырлык-Салгирскую и Керченскую декаэкоморфы (рисунок 2).

Граница между ними проходит по водоразделам и делит гектоэкоморфу на три функционально целостных экосистемы

четвёртого уровня.

IV. Уровень организации – экоморфа. В экоморфах происходит



интеграция и объединение поверхностных и подземных стоков. Поверхностный водосбор экоморф представляет собой систему различно ориентированных склонов (рисунок 3), с которых вода стекает в направлении естественных уклонов, образуя гидрографические сети.

Подземный водосбор – это части почвы и подстилающих пород, которая дренируется гидрографической сетью и с которой вода

поступает в сеть подземным путем.

Подземный и поверхностный водосборы, каждой экоморфы, представляют собой единые интегральные не замкнутые физико-химически активные системы. Их можно рассматривать, как мощные транспортные геохимические системы, обеспечивающие перемещение вещества, информации и энергии в пространстве экоморф. Последние в пределах полуострова представляют собой системы бассейнов объединенных общим водоразделом и ориентацией стока.

V. Уровень организации – дециэкоморфа. Анализируя гидрологические



сети в пределах дециэкоморф, выделяют дециэкоморфы – бассейны отдельных рек, которые тоже представляют собой сложную динамическую экосистему (рисунок 4).

Под ней понимается целостное, иерархически устроенное, обособленное множество более простых элементов, выполняющих определенные функции и взаимодействующих друг с другом, состояние которых меняется во времени и пространстве.

Склоновая дифференциация речных долин способствует неравномерному поступлению солнечной радиации из-за разной крутизны и экспозиции, её экранированию горными хребтами, а также перераспределению выпавших на поверхность атмосферных осадков [6]. В результате формируются хорошо обособленные экосистемы следующего уровня.

VI. Уровень организации – сантэкоморфа. Этот уровень организации

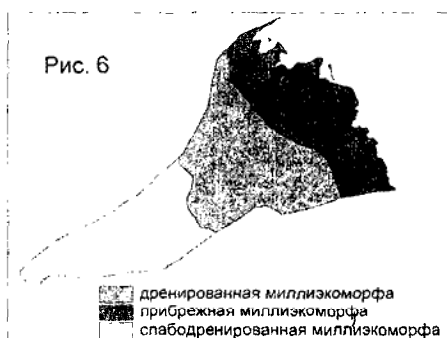


модели, представлен бассейном одной реки или притока (рисунок 5).

При построении биогеоинформационной модели, именно водосборный бассейн отдельной реки использовался нами, как основная пространственная единица, вследствие высокой определенности её границ и относительно замкнутыми вещественным, энергетическим и информационным потоками. Как геосистема

бассейн имеет упорядоченную структуру, которая выражается в преобладающей направленности «стоков» выше названных потоков. Кроме того, системность внутри бассейна дополняется закономерной сменой экосистем от внешней водораздельной границы бассейна к его наиболее активной зоне. В таком бассейне можно выделить горную, низкогорную, предгорную и равнинную части, которые отвечают соответствующим классам биогеоценозов.

VII. Уровень организации – миллиэкоморфа.



Формируется под воздействием и при участии, как высоты над уровнем моря, так и экспозиционно-циркуляционной дифференциации, меридиальной секторности, позиции по отношению к осевой линии гор и берега моря (рис. 6).

В образовании равнинной миллиэкоморфы Салгира ведущая роль принадлежит глубине залегания грунтовых вод. У береговой линии Сиваша грунтовые воды располагаются в нескольких сантиметрах от поверхности. Здесь преобладают солончаковые и луговые микроэкоморфы. С понижением уровня грунтовых вод преобладают пустынно-степные микроэкоморфы в комплексе с солончаковыми. Выше их, с дальнейшим понижением грунтовых вод, формируются степные микроэкоморфы.

VIII. Уровень организации – микроэкоморфа или биогеоценологический



уровень. На этом уровне организации модели, климатические и геоморфологические различия в дифференциации микроэкоморф выражены слабее чем на предыдущих, а классификация БГЦ должна быть типологической, а не пространственной и строится на степени сходства процесса превращения вещества и энергии.

Потоки вещества в БГЦ, как

хорологическом объекте, в значительной мере замыкаются, поэтому его протяженность во

многом зависит от рельефа.

Контурсы БГЦ могут проходить по водоразделам, по границам геоморфологических структур, иногда разного уровня организации. Но могут задаваться и другими факторами. Например, в равнинной части реки Салгир ведущим фактором являются: глубина залегания грунтовых вод, степень и форма их засоления (рисунок 7).

В прибрежной более молодой пониженной недренированной миллиэкоморфе, с отметками менее 5-10 м н.у.м., грунтовые воды с сульфат-хлоридным засолением расположены на глубине 0,2-0,5 м [6]. Здесь формируются в основном солончаковые и луговые микроэкоморфы. С увеличением высоты

поверхности над уровнем моря и понижением уровня грунтовых вод с хлорид-сульфатным засолением до 2,5-3 м в слабодренированных миллиэкоморф преобладают пустынно-степные микроэкоморфы в комплексе с солончаковыми микроэкоморфами.

В поясе относительно дренированных равнин с уровнем грунтовых вод ниже 3-8 м от поверхности с сульфатным засолением формируются степные миллиэкоморфы. На уровне микроэкоморф можно выделить солончаковые, луговые, пустынные, степные БГЦ. Их целостность определяется круговоротом вещества, в накоплении информации и энергии. В этом их функция, которая определяется экзогенными, для них, факторами и прежде всего потоком солнечной энергии, степенью засоленности и уровнем грунтовых вод.

IX. Уровень организации – наноэкоморфа или парцеллярный уровень. Практически во всех БГЦ Крыма ярко выражена структурная мозаичность проявляющаяся, как в сложении растительного покрова, так и в сложении животных сообществ, которые во многом определяют климатоп и эдафотоп наноэкоморф. Это промежуточные по степени целостности биогеоценологические парцеллы (БГЦП) с относительно замкнутым круговоротом вещества, своими особенностями циркуляции энергии и информации, различные по времени жизни, по размеру, видовому составу и т.д.

Так, солончаковые БГЦ на современных морских отложениях Присивашья, образует два типа основных парцелл: эугалофитный на типичных солончаках и криногалофитный на луговых солончаках. В первой доминируют однолетние суккуленты: солерос европейский (*Salicornia europaea* L.), сведа стелющаяся и высокая (*Suaeda prostrata* Pall. and *S. altissima* Pall.), солянка содоносная (*Salsola soda* L.), петросимония толстолистная и трёхтычинковая (*Petrosimonia crassifolia* Bge. and *P. triandra* Sim.) и полукустарник сарсазан шишковатый (*Halocnemum strobilaceum* M.B.). Во второй доминируют многолетние кермеки Гмелина, Мейера, каспийский (*Limonium gmelinii* Kuntze, *L. meyeri* Kuntze, *L. caspium* Gams.), прибрежница солончаковая (*Aeluropus littoralis* Pall.); полукустарники: галимоне бородавчатая (*Halimione verrucifera* Acll.), франкения промежуточная и жестковолосая (*Frankenia intermedia* D.C. and *F. hispida* D.C.). Парцеллы ещё не приобретают целостности биогеоценоза уровня микроэкоморф, но утрачивают функциональную определённость связей между элементами, имеющуюся внутри биогеоценозов их образующих.

X. Уровень организации – пикоэкоморфа или консорсионный уровень. БГЦП слагаются из биогеоценоконсорций (БГЦК) – реальных относительно целостных, элементарных единиц БГЦ, с чёткими функциональными связями между компонентами, существующими больше времени, чем составляющие их особи (геоценоконсорции Зубкова).

Пикоэкоморфа включает в себя ячейку геопространства с продуцентами, консументами и редуцентами, которая обладает некоторой замкнутостью биоценологических процессов позволяющих осуществлять минимальный биогеохимический круговорот веществ в ней. Её основой может служить группа непосредственно взаимодействующих растений-продуцентов образующих

начальный экосистемный континуум, усиливаемый перекрытием соседних или даже отдалённых БГЦК подвижными гетеротрофами.

Выделяемые нами уровни организации экопространства моделируемой системы являются «твёрдым каркасом», матрицей для распределения элементов создаваемых баз данных по четвертичным отложениям, климату, почвам, растениям, насекомым, птицам, млекопитающим, для тех взаимосвязей и взаимодействий, возникающих между ними в этом пространстве.

И естественно, что эти уровни относятся только к создаваемой модели. Учитывая её большую сложность, на первых этапах её создания используется редуccionизм, как методологический подход и синэкологическая методология. Поэтому многие понятия и термины концептуальны, выделенные с целью удобства изучения такой сложной системы.

Поскольку геометрическая поверхность модели является сплошной, все выделенные элементы переходят один в другой обычно постепенно без резко выраженных границ раздела, то последние становятся диффузными и трудно выделяются в натуре. Однако это не означает, что границ нет: диффузная граница это тоже граница, но имеющая некоторые пределы неоднородности.

В заключении, авторы выражают искреннюю благодарность сотрудникам НИЦ «Технологии устойчивого развития», за помощь в работе над моделью, предоставленные космоснимки и электронные карты и, обращаются ко всему научному сообществу: ботаникам, зоологам, почвоведом, географам, экологам, ГИС-аналитикам, всем кто любит и изучает природу нашего полуострова - поддержать эту работу, сообщать о себе, разрабатываемых направлениях, присоединяться к созданию и использованию соответствующих баз данных, которые планируется разместить на сервере нашего университета.

Литература

1. Булавко А.Г. Водный баланс речных водосборов. – Л.: Гидрометеиздат, 1971. – 304 с.
2. Ротанова И.Н., Михайлов С.А. Михайлов, Шибких А.А. Бассейново-ландшафтный подход при геоинформационном картировании и гидрологическом моделировании. // ИнтерКарто 9: ГИС для устойчивого развития территорий. Материалы Международной конференции, Новороссийск, Севастополь, 25-29 июня 2003 г. – С.124-127.
3. Зубков А.Ф. Биогеоценотические объект-элементы и подходы к их изучению. // Экология, 1996, №2. – С.89–95
4. Сукачёв В.Н. Основные современные проблемы биоценологии // Журн. общ. биол. 1965. Т.26. №3. – С.249-260.
5. Тимофеев-Ресовский Н.В. О некоторых принципах классификации биохорологических единиц: вопросы классификации растительности // Труды Ин-та биологии УФАН СССР. 1961. Вып.27. – С.23-28
6. Вопросы развития Крыма: Научно-практический дискуссионно-аналитический сборник. Вып.11: Биологическое и ландшафтное разнообразие Крыма: проблемы и перспективы. – Симферополь: СОНАТ, 1999. – 180с.

Статья поступила в редакцию 6 мая 2004г.