

## ЛАБОРАТОРИЯ МАТЕМАТИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ДИНАМИКИ РЕГИОНАЛЬНЫХ СИСТЕМ

О.Л. Ревуцкая, Г.П. Неверова, С.Н. Мищук

Институт комплексного анализа региональных проблем ДВО РАН, г. Биробиджан

*В статье дана информация о структуре, основных результатах и перспективах развития лаборатории математического моделирования динамики региональных систем ИКАРП ДВО РАН.*

Создание Лаборатории математического моделирования динамики региональных систем как структурного подразделения Института комплексного анализа региональных проблем (ИКАРП) ДВО РАН было предопределено избранием в 2002 г. на должность директора Института д.б.н., профессора Ефима Яковлевича Фрисмана, научные интересы которого связаны, в основном, с математическим моделированием динамики популяционных и экологических систем, процессов взаимодействия в региональных природных и производственных системах.

Первоначально коллектив Лаборатории сформировался из сотрудников Института, занимающихся вопросами экономической географии и экономики, и сотрудников из Института автоматизации процессов управления (ИАПУ ДВО РАН), работающих по совместительству, с которыми Е.Я. Фрисман выполнял совместные научные исследования.

С 2004 г. коллектив Лаборатории активно начал пополняться новыми молодыми сотрудниками, способными создавать и поддерживать разветвленные базы данных, грамотно выполнять статистическую обработку собранных данных, активно участвовать в создании комплексных математических моделей динамики региональных систем. В настоящее время более 60 % состава лаборатории – молодые ученые в возрасте до 35 лет.

Фактически, с самого начала существования Лаборатории, ее сотрудники работали в двух направлениях научной деятельности – математическое моделирование динамики региональных процессов и социально-экономические исследования. Официально эти две группы сформировались в 2007 г. и получили названия – группа математического моделирования (руководитель – д.б.н., проф. Е.Я. Фрисман) и группа социально-экономических процессов (руководитель – к.г.н., доцент Т.М. Комарова).

### Основные научные направления и темы исследований лаборатории

Ориентация на построение моделей динамики различных природных и экономико-социальных региональных систем и наличие двух групп позволили лаборатории участвовать в большинстве комплексных тем и исследований, проводимых в Институте.

Следует выделить два крупных научных направления, по развитию которых были сосредоточена исследовательская деятельность лаборатории. Первое «естественнона-

учное» направление можно определить как «Модельно-математическая поддержка биогеоэкологических исследований, анализа биологического разнообразия и разработок, направленных на рациональное использование биоресурсов». Второе «общественно-географическое» направление можно озаглавить «Комплексный анализ и моделирование сценариев развития территориальной организации хозяйства и населения».

По первому направлению научные исследования проводились в рамках комплексных тем «Экологические основы взаимодействия природы и общества, пути сохранения природных систем и здоровья человека в Еврейской автономной области (ЕАО)» (2003–2005 гг.) и «Биогеоэкологические исследования, пути сохранения биоразнообразия и рационального использования биоресурсов (на примере Среднего Приамурья)» (2006–2008 гг.). В этих исследованиях основное внимание уделялось построению и анализу моделей динамики популяционных, экологических и геоэкологических систем, развивающихся в условиях регулярных и стохастических внешних воздействий, определению оптимального режима эксплуатации растительных и промысловых ресурсов на территории ЕАО. Подробно исследовались механизмы и сценарии возникновения временных флуктуаций и пространственных неоднородностей в популяциях и сообществах растений и животных. Полученные теоретические результаты иллюстрировались примерами динамики конкретных популяций и сообществ, обитающих на Среднем Приамурье.

В 2009 г. была сформулирована тема НИР «Биологическое разнообразие и биоресурсы Среднего Приамурья: пространственное распределение, динамика, оптимальное использование и сохранение», естественным образом продолжающая предыдущие исследования.

По второму «общественно-географическому» направлению на период с 2005 по 2007 гг. была сформулирована трехлетняя тема исследований «Комплексный анализ и прогнозирование процессов развития территориальной организации общества на основе оценки региональных структурных изменений (на примере ЕАО)». В течение первого года был проведен анализ процессов динамики хозяйственных субъектов различных организационно-правовых форм по отдельным отраслям промышленности ЕАО. Изучена пространственная структура размещения производства на территории региона.

Проанализировано развитие производственной инфраструктуры (транспорт, связь) ЕАО. В 2006 г. основное внимание было сосредоточено на теоретическом анализе механизмов и математическом моделировании динамики основных компонентов территориальных природохозяйственных комплексов региона. На завершающем этапе выполнения темы в 2007 г. внимание было сконцентрировано на верификации математической модели динамики хозяйственного комплекса региона по статистическим данным для Еврейской автономной области; расчете и анализе модельных прогнозных сценариев развития области. Проводилось обоснование приоритетов промышленной политики ЕАО; изучалось современное экономическое состояние рынка труда в ЕАО и адаптивных возможностей населения области в условиях повышенного напряжения на рынке труда.

С 2008 г. эти исследования естественно продолжают в рамках темы «Комплексный анализ и моделирование сценариев развития территориальной организации хозяйства и населения в проблемных регионах при реализации крупных региональных проектов (на примере ЕАО)». Продолжено построение и исследование базовой модели территориального развития региона. Анализировались факторы, механизмы и концепции региональной промышленной политики проблемных регионов (на примере ЕАО). Выявлялись приоритетные виды внешнеэкономических связей региона для российских и зарубежных партнеров. Проводились анализ и математическое моделирование динамики численности населения региона. Исследовались основные тенденции и особенности миграционных процессов на территории ЕАО и их роли в демографическом развитии области. Изучалось влияние социально-экономических и природно-экологических факторов на заболеваемость и смертность в ЕАО. В 2009 г. уделялось внимание развитию основных блоков комплексной модели региональной динамики, проведен анализ модельных сценариев регионального развития (на примере ЕАО). Также были выявлены и оценены экономические «отклики» реализации инвестиционных проектов на развитие промышленного комплекса ЕАО.

В настоящее время в рамках социально-экономических исследований проанализировано качество социальной среды жизни населения ЕАО и Дальнего Востока России. Даны типологии регионов ДФО по уровню социально-демографической безопасности. Подробно изучены специфика миграционных процессов в области, собран и систематизирован материал о динамике международной трудовой миграции в ЕАО. Уделяется большое внимание исследованиям состояния здоровья населения регионов Дальневосточного федерального округа, а именно: выявлена зависимость между значениями уровня индексов здоровья населения и индексами социально-экономического положения субъектов ДФО, составлена картосхема «Индекс здоровья населения Дальнего Востока в 2006 г.». Кроме того, определены территориальные различия в материальном благосостоянии населения Еврейской автономной области.

Для ЕАО актуальным направлением исследования является изучение сельских населенных пунктов. Ведет-

ся работа по выявлению причин и последствий трансформации сельских населенных пунктов и их функций в Приамурье.

Все это позволит в итоге предложить подходы к разработке научно обоснованного варианта стратегии развития области на основе выделения «точек роста» и анализа последствий этого роста на весь природно-хозяйственный комплекс региона.

#### **Основные научные результаты, полученные в лаборатории за 2003–2010 гг.**

За годы существования Лаборатории ее сотрудниками был получен ряд интересных содержательных результатов. По первому направлению исследований основные результаты получены в области математической популяционной экологии. В рамках исследований популяционной динамики была предложена обобщенная математическая модель динамики численности популяций промысловых животных, ориентированная на описание и исследование результатов промысла. Изучены нелинейные эффекты в популяционной динамике, связанные с возрастной структурой и влиянием промысла. Верификация модели по данным учета численности и промысловой статистики выявила нелинейную зависимость интенсивности промысла от численности популяции. Показано, что хаотические флуктуации реальной динамики ряда дальневосточных промысловых видов (белка, лососи, сельдь, краб и др.) в значительной мере связаны именно с многолетним промыслом [7, 13, 18].

Проведен подробный модельный анализ динамики численности для всех основных промысловых видов, обитающих на территории Еврейской автономной области. Подробно изучены соотношения между размерами естественного воспроизводства «местных» популяций и величинами пополнения их за счет внешней миграции. Показано, что сохранение численности многих промысловых видов определяется миграционной активностью. Наличие заповедных территорий способствует поддержанию и даже некоторому росту численности, но этого оказывается явно недостаточным [15].

Кроме того, в рамках популяционных моделей получен ряд важных теоретических результатов. Исследована модель динамики численности двухвозрастной популяции с сезонным характером размножения. Параметры модели (коэффициенты рождаемости и выживаемости) представлены экспоненциальными функциями численностей обеих возрастных групп, и, тем самым, осуществляется плотностно-зависимая регуляция роста популяции. Проведено аналитическое и численное исследование модели. Показано, что плотностно-зависимые факторы регуляции роста популяции могут привести к возникновению колебаний численности и к хаотическому поведению популяции [14].

Исследована трехкомпонентная модель динамики численности популяции с сезонным характером размножения. В модели учитываются половая и возрастная структура популяции и плотностно-зависимые эффекты, действующие на выживаемость младшего возрастного класса. Рассмотрены частные случаи модели в зависимости от различных соотношений популяционных

параметров. Изучены сценарии перехода от устойчивого состояния к циклическим и нерегулярным режимам динамики численности. Показано, что увеличение средней индивидуальной приспособленности особей в экологически лимитированных популяциях может приводить к потере устойчивости и возникновению хаотических аттракторов, структура и размерность которых меняются при изменении параметров модели [16].

Интересные результаты получены в ходе имитационного моделирования лесных древесных сообществ. Показано, что в процессе формирования структуры древостоя, даже при однородных внешних условиях, происходят явления хаотической самоорганизации, приводящие к образованию сложно структурированных неоднородных (пятнистых) пространственных распределений древесных сообществ. Возникновение такой неоднородности можно объяснить причинами внутренней пространственной конкуренции за ресурсы жизнедеятельности. Результаты верификации построенной модели показали достаточно высокую точность модельной аппроксимации натуральных данных, собранных на постоянных пробных площадях заповедника «Бастак» [4].

Дальнейшее развитие получили теоретические эколого-генетические модели. Детально изучены динамические последствия естественного отбора в менделеевской популяции при наличии плотностно-зависимых факторов, лимитирующих рост ее численности. Построение и исследование коэволюционных моделей показало, что селективное изменение частот аллелей, сопровождающееся ростом средней приспособленности, приводит к циклическим и хаотическим режимам динамики численности. При этом на фоне колебаний численности создаются условия для возникновения сложной временной организации генетического разнообразия, весьма чувствительной к внешнему воздействию [3].

Путем математического моделирования проведен подробный теоретический анализ возможных эволюционно-генетических последствий промысла. Показано, что если в свободной от промысла популяции происходит оптимизация ее генетического состава по ресурсному параметру, и преимущество имеют генотипы, обеспечивающие большие равновесные численности в условиях ограниченности жизненных ресурсов, то в эксплуатируемой популяции оптимизируется скорость ее прироста, и наиболее приспособленными оказываются генотипы, обладающие большим репродуктивным потенциалом. Таким образом, промысел изменяет условия естественного отбора и не только приводит к изменению характера динамики численности эксплуатируемой популяции, но меняет направление генетической эволюции [2].

Предложена модель предбиологической эволюционирующей системы. Показано, что наличие процессов полимеризации – деполимеризации приводит к хаотической самоорганизации и появлению сложно структурированных неоднородных (пятнистых) пространственных структур, которые соответствуют начальным этапам возникновения дискретных биологических доменов [19].

В рамках второго научного направления, развиваемого в лаборатории, по аналогии с моделью мировой

динамики Дж. Форрестера сформирована основа экономического блока региональной модели. Предложены базовые уравнения динамики факторов производства: капитала (основных фондов) и численности занятых по отраслям экономики. Коэффициенты модели оценены на основе статистических данных для Еврейской автономной области. Проведен анализ текущего состояния, определены возможные траектории и дан сценарный прогноз динамики факторов производства в отраслевом разрезе [17].

В результате анализа социально-экономических показателей экономики Еврейской автономной области выделены основные барьеры, препятствующие ее развитию, разработаны модель формирования региональной промышленной политики и стратегия развития промышленности на основе выделения «точки роста» – строительства Кимкано-Сутарского ГОКа. Предложен механизм реализации стратегии проблемного региона и управления процессами реструктуризации его экономики [6].

Для территории Среднего Приамурья рассмотрено влияние экономико-географического положения и природных условий на начертание транспортной сети и уровень ее технической оснащенности. Дана характеристика современного состояния транспортной инфраструктуры и ее роль в хозяйстве Еврейской автономной области. В валовом региональном продукте области доля транспорта стабильно растет, прежде всего, за счет транзита грузов. В тоже время отправка грузов с территории ЕАО медленно снижается в связи с сокращением производства в цветной металлургии и промышленности строительных материалов [5].

Проведен сравнительный анализ торговых и миграционных связей Еврейской автономной области на международном и внутрироссийском уровнях. Показано формирование зависимости развития хозяйства области от международных связей за последние 10 лет. Кроме того, отрицательное сальдо межрегионального товарооборота подчеркивает необходимость развития производств, способных реализовывать свою продукцию за пределами региона [8].

Подробно раскрыты особенности международной трудовой миграции в Еврейской автономной области, выражающиеся в максимальной доле китайских рабочих в общей численности привлеченной иностранной рабочей силы среди регионов Дальнего Востока, а также в большей привлекательности для китайских рабочих отдельных отраслей специализации экономики области (сельское хозяйство, строительство) [9].

Исследование сельской местности ЕАО показало, что в структуре современного сельского расселения преобладают монофункциональные сельские населенные пункты (50,5 % сельских пунктов). Полиспециализация характерна для сельских населенных пунктов, имеющих выгодное экономико-географическое положение, являющихся районными центрами, портами и транспортными узлами (18,2 %). Более 30 % сельских поселений не имеют официально зарегистрированной деятельности, население, проживающее в них, занимается, как правило, личным подсобным хозяйством. Таким образом, для

сельских населенных пунктов области в настоящее время характерно преобладание хозяйственной деятельности населения в третичном секторе экономики (около 86,8 % сельских населенных пунктов). Население, занятое в первичном и вторичном секторах экономики, проживает в 10,6 и 2,6 % поселений соответственно.

Установлено, что поведение людей на рынке труда не всегда является экономически целесообразным в силу того, что оно опосредуется представлениями людей, не совпадающими с реальной ситуацией. Основными заблуждениями, влияющими на трудовое поведение в области, являются представления о том, что уровень квалификации работников достаточно высок; текучесть кадров низка и не влияет на ситуацию; уровень безработицы высокий [10].

Результаты работ неоднократно докладывались на отечественных, международных и зарубежных конференциях, посвященных математическим, биологическим, и социально-экономическим проблемам. География этих мероприятий весьма обширна: Благовещенск, Владивосток, Дубна, Иваново, Иркутск, Магадан, Москва, Мышкин, Новосибирск, Пушкино, Рязань, Санкт-Петербург, Саратов, Тихвин, Тольятти, Улан-Удэ, Хабаровск и др. Сотрудники лаборатории участвовали в работе зарубежных конференций в Венгрии, Германии, Греции, Египте, Израиле, Италии, Китае, Швеции, Японии и др.

#### **Научные связи, инновации, успехи и общественный резонанс**

В рамках проводимых исследований коллектив лаборатории активно взаимодействует с учеными из других научных институтов: ТИГ ДВО РАН, БПИ ДВО РАН, ИВЭП ДВО РАН, ИЭИ ДВО РАН, ИАПТУ ДВО РАН, ИЦиГ СО РАН, ИСиЭЖ СО РАН, ИГ СО РАН, ИВЭП СО РАН, ИГ РАН, ИПЭиЭ им А.Н. Северцова РАН, ИБР им. Н.К. Кольцова РАН, МГУ им. М.В. Ломоносова и других.

Научные исследования сотрудников лаборатории получают дополнительную финансовую поддержку в виде грантов Российского фонда фундаментальных исследований, Российского гуманитарного фонда, Дальневосточного отделения Российской академии наук.

В рамках инновационной деятельности сотрудники лаборатории принимали участие в разработке «Историко-географического атласа ЕАО», Учебного пособия для учащихся 8–9 классов общеобразовательных учреждений ЕАО «География Еврейской автономной области». Кроме того, лаборатория принимает активное участие в работе по проектам Института с Правительством ЕАО, например, «Разработка схемы территориального размещения производительных сил Еврейской автономной области», Проект «Стратегия массового строительства жилья для всех категорий граждан Еврейской автономной области на 2008–2015 гг.», «Современная демографическая ситуация в Еврейской автономной области и прогноз ее развития» и др. Кроме того, ведется работа по внебюджетным договорам, например, «Договор на создание научно-технической продукции с сельскохозяйственным потребительским комплексным кооперативом (СПКК) «Кооперация» по разработке бизнес-плана «Строительство животноводческого комплекса на

1500 голов молочного направления в с. Горное Еврейской автономной области», «Договор на создание научно-технической продукции с управлением потребительского рынка, предпринимательства и внешнеэкономических связей правительства Еврейской автономной области по разработке бизнес-плана «Организация переработки недревесных растительных ресурсов».

В процессе выполнения научно-исследовательской деятельности в Лаборатории защищены две кандидатские диссертации. С.Н. Мишук защитила в 2004 г. диссертацию «Тенденции развития и направления регулирования малого предпринимательства на уровне субъекта Федерации», по специальности 08.00.05 – экономика и управление народным хозяйством (предпринимательство). С.А. Соловченков защитил в 2009 г. диссертацию «Формирование современной структуры занятости населения ЕАО, ожидания и результаты: социологический аспект», по специальности 22.00.04 – социальные структуры, социальные институты и процессы.

Молодые сотрудники активно ведут общественную и научную деятельность, участвуют в различных конкурсах, как областных, так и региональных, и занимают призовые места. Ежегодно (начиная с 2004 г.) участвуют в областном смотре-конкурсе научных работ молодых ученых и аспирантов высших учебных заведений и организаций науки ЕАО. В ноябре 2007 г. аспирант Г.П. Неверова получила Премию Президента РФ для поддержки талантливой молодежи в рамках приоритетного национального проекта «Образование». В течение 2007–2008 гг. аспиранты Г.П. Неверова и О.Л. Ревуцкая были стипендиатами Фонда содействия отечественной науке для аспирантов научных учреждений. Старший научный сотрудник, к.э.н. С.Н. Мишук стала победителем конкурса 2009 г. на право получения грантов Президента Российской Федерации для государственной поддержки молодых российских ученых.

#### **Благодарности**

Авторы благодарят всех сотрудников Лаборатории, а также своих коллег, которые в настоящий момент уже не входят в ее состав, за вклад в научную деятельность лаборатории, который способствовал поддержанию высокого уровня научных достижений.

#### **ЛИТЕРАТУРА:**

1. Гаева И.В. Влияние функций сельских населенных пунктов на развитие сельской местности (Еврейская автономная область) // Вестн. Бурятского гос. ун-та. Философия. Социология. Политология. Культурология. 2009. Вып. 14 а. С. 138–142.
2. Жданова О.Л., Колбина Е.А., Фрисман Е.Я. Влияние промысла на генетическое разнообразие и характер динамического поведения менделевской лимитированной популяции // Доклады РАН. 2007. Т. 412, № 4. С. 564–567.
3. Жданова О.Л., Фрисман Е.Я. Динамические режимы в модели однокусного плотнозависимого отбора // Генетика. 2005. Т.41, № 11. С. 1302–1309.
4. Колобов А.Н., Фрисман Е.Я. Моделирование процессов конкурентного взаимодействия в древесных сообществах // Сибирский журнал индустриальной

- математики. 2009. Т. 12, № 4 (40). С. 79–91.
5. Комарова Т.М. Экономико-географические аспекты развития транспортной инфраструктуры юга российского Дальнего Востока (на примере ЕАО) // Ползуновский вестник. 2005. № 1. С. 39–44.
  6. Корсунский Б.Л., Аносова С.В. Механизм управления и источники реструктуризации экономики проблемного региона // Власть и управление на Востоке России. 2007. № 3 (40). С. 47–63.
  7. Ласт Е.В., Сычева Э.В., Фрисман Е.Я. Воздействие нелинейного промысла на динамику природных популяций // Изв. вузов. Прикладная нелинейная динамика. 2003. Т. 11, № 4–5. С. 89–105.
  8. Мищук С.Н. Внешние связи Еврейской автономной области: международный и межрегиональный аспекты // Вестн. Томского гос. ун-та. 2009. № 322 (май). С. 163–167.
  9. Мищук С.Н. Роль иностранной рабочей силы в современных миграционных процессах Еврейской автономной области // Региональная экономика: теория и практика. 2009. № 6(99). С. 16–21.
  10. Соловченков С.А. Социально-трудовая сфера Еврейской автономной области: реальность и ее оценка // Вестн. Тихоокеанского гос. ун-та. 2009. № 2 (13). С. 253–257.
  11. Фрисман Е.Я., Жданова О.Л. Режимы динамики генетической структуры и численности в моделях эволюции локальной лимитированной популяции // Изв. вузов. Прикладная нелинейная динамика, 2006. Т. 14, № 1. С. 98–112.
  12. Фрисман Е.Я., Ласт Е.В. Динамическая неустойчивость промысловых популяций с возрастной структурой (на примере лососевых видов рыб) // Доклады Академии наук. 2004. Т. 394, № 4. С. 569–573.
  13. Фрисман Е.Я., Ласт Е.В. Нелинейные эффекты в популяционной динамике, связанные с возрастной структурой и влиянием промысла // Изв. РАН. Сер. биол. 2005. № 5. С. 517–530.
  14. Фрисман Е.Я., Неверова Г.П., Ревуцкая О.Л., Кулаков М.П. Режимы динамики модели двухвозрастной популяции // Изв. вузов «ПНД». 2010. Т. 18, № 2. С. 111–130.
  15. Фрисман Е.Я., Ревуцкая О.Л., Неверова Г.П. Анализ популяционной динамики промысловых млекопитающих Среднего Приамурья России: математическое моделирование и оценка ресурсного потенциала // Биологические ресурсы Дальнего Востока: комплексный региональный проект ДВО РАН. М.: Товарищество научных изданий КМК, 2007. С. 184–202.
  16. Фрисман Е.Я., Ревуцкая О.Л., Неверова Г.П. Сложные режимы динамики численности популяции с возрастной и половой структурой // Доклады Академии наук. 2010. Т. 431, № 6. С. 844–848.
  17. Фрисман Е.Я., Хавинсон М.Ю., Аносова С.В., Фишман Б.Е., Петров Г.И. Системная динамика регионального развития: подходы к моделированию блока экономики (на примере Еврейской автономной области) // Пространственная экономика. №3 (11). 2007. С. 134–146.
  18. Frisman E. Ya., Last E. V., Skaletskaya E. I. Population dynamics of harvested species with complex age structure (for Pacific salmon fish stocks as an example) // Ecological Modelling. 2006. V. 198. P. 463–472.
  19. Zhuravlev Yu. N., Tuzinkevich A. V. and Frisman E. Ya. Modelling the early events of primordial life // Ecological Modelling. 2008. Vol. 212. P. 536–544.

*The article tells the reader about the structure and main achievements of the ICARP FEB RAS laboratory of mathematical modeling of regional systems dynamics, as well as about the prospects of its development.*