

# УПРАВЛЕНИЕ ПРОСТРАНСТВЕННО РАСПРЕДЕЛЕННЫМИ БИОРЕСУРСАМИ

Игумнова Е.М., Солодова С.М.,  
Тимченко И.Е., Жуков А.Н.  
Морской гидрофизический институт  
НАН Украины  
г. Севастополь, ул. Капитанская, 2

## Введение.

Устойчивое развитие природно-хозяйственных комплексов (ПХК) предполагает рациональное использование природных, экономических и других видов ресурсов. Для того, чтобы управлять устойчивым развитием, необходимо следить за динамикой этих ресурсов и контролировать их пространственное распределение. Это возможно при использовании динамических моделей ПХК, построенных, например, экспертно-аналитическими методами [ 1 ]. В работе [ 2 ] предложена общая структура информационной технологии слежения за пространственно-временными параметрами эколого-экономических систем, находящихся под влиянием динамики окружающей среды. Суть технологии заключается в совместном использовании одномерной модели эколого-экономической системы и трехмерной модели природной среды: одномерная модель преобразует пространственно-временную изменчивость параметров окружающей среды (например, поля ветра, температуры и солености моря) в поля экологических и экономических параметров состояния системы. Располагая картами подобных полей, можно решать разнообразные задачи управления развитием ПХК.

В настоящей работе в качестве объекта управления выбран объем потребления биоресурса в акватории Азовского моря. Считалось, что концентрация биоресурса, находящаяся

под воздействием как природных факторов (перенос и диффузия водных масс), так и экономических факторов (потребление биоресурса за счет промысла) критически зависит от уровня загрязнения морской среды. Промысел биоресурса и производство морепродукта увеличивают уровень загрязнения. Поэтому в отличие от работы [ 2 ] кроме экологических штрафов за загрязнение акватории было предусмотрено применение прямых санкций к производственным мощностям ПХК: промысел биоресурса ограничивался там, где его концентрация опускалась ниже допустимого предела.

## ЭКОЛОГО-ЭКОНОМИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ.

Вектор состояния эколого-экономической системы «море-суша» содержал 8 параметров:  $X_1$  - концентрация биоресурса,  $X_2$  - качество морской среды (условия существования биоресурса),  $X_3$  - стоимость единицы объема добывшего биоресурса (или стоимость изготовленного морепродукта),  $X_4$  - концентрация загрязнений в морской среде,  $X_5$  - объем выпуска морепродукта,  $X_6$  - экологический штраф за загрязнение акватории,  $X_7$  - себестоимость производства морепродукта,  $X_8$  - спрос на морепродукт.

Концептуальная модель системы изображена на рис.1. Модель отражает динамический баланс между потреблением биоресурса пропорциональным выпуску морепродукта  $X_5$ , и воспроизводством биоресурса, которое зависит от уровня загрязнения и от качества морской среды.

Концептуальная модель эколого-экономической системы состоит из 9 связанных между собой блоков. На рис.1 стрелками показаны направления влияния одних компонент вектора состояния системы на другие. Выпуск продукции стимулируется нормой прибыли  $Y = X_3 - X_7 - X_6$ . Экологические

## 1D CONCEPT MODEL OF ECOLOGICAL-ECONOMIC SYSTEM

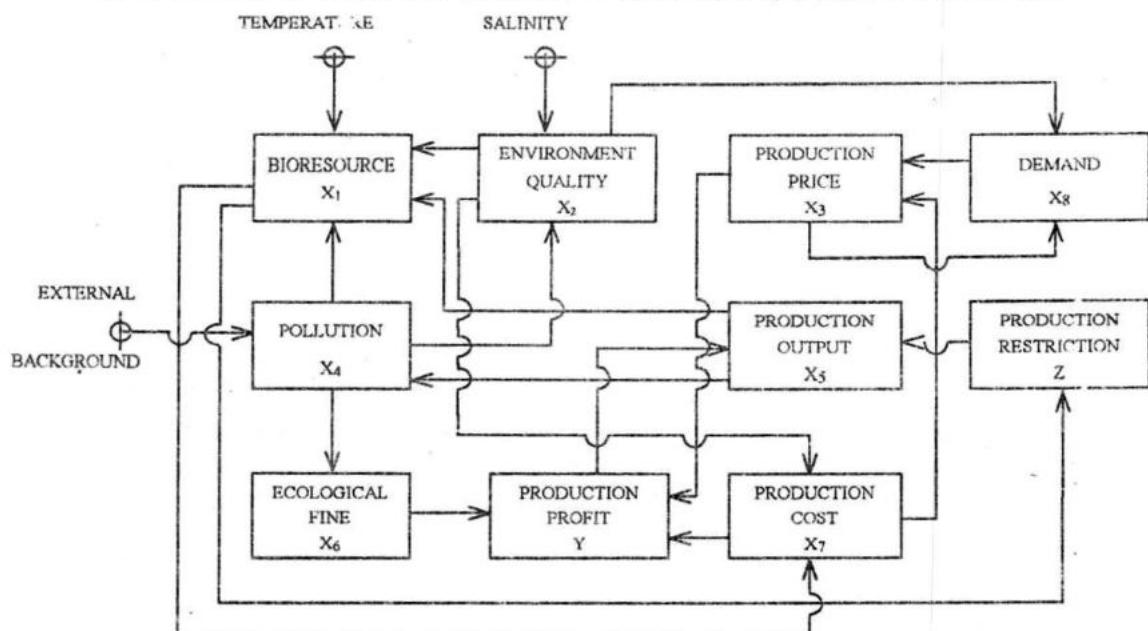


Рис. 1

штрафы  $X_6$  снижают норму прибыли в тех районах моря, где концентрация загрязнений оказывается высокой. Качество среды в этих районах низкое, что ведет к понижению спроса на морепродукт и как следствие, к падению цены на него. Это - так же снижает норму прибыли.

Второй экономический рычаг управления промыслом представляет цепь:  $X_1 - Z - X_5$ . Функция  $Z$  ограничивает потребление морепродукта в тех районах, где концентрация биоресурса оказывается ниже допустимой нормы  $X^*$ . В модели было применено логическое условие:

$$Z = \text{IF} (X_1 \geq X_1^*; A; 10A),$$

где  $A$  - параметр, ограничивающий выпуск продукции.

В данном исследовании была использована трехмерная модель динамики Азовского моря, подробно изложенная в работах [2, 3]. С помощью этой модели отслеживалась фоновая динамика распределения загрязняющих веществ по акватории моря. Предпола-

галось, что промысел биоресурса увеличивает концентрацию загрязняющих веществ пропорционально объему потребления биоресурса. Поэтому уровень загрязнения морской среды является сложной функцией динамики водных масс и промысла биоресурса.

В качестве внешнего влияния на эколого-экономическую систему учитывалась также инсоляция (через поверхностную температуру моря) и распределение за счет стока рек. Пространственные распределения температуры и солености поступали на входы  $X_1$  и  $X_2$  эколого-экономической модели (см. рис. 1). Уравнения модели были построены методом системной динамики [3] и имели следующий вид:

$$\begin{aligned} X_{1K} &= X_{1J} + \tau [F_{11}F_{21}F_{41}F_{51}X_{1J} - X_{1J}]; \\ X_{2K} &= X_{2J} + \tau [F_{22}F_{42}X_{2J} - X_{2J}]; \\ X_{3K} &= X_{3J} + \tau [F_{33}F_{73}F_{83}X_{3J} - X_{3J}]; \\ X_{4K} &= X_{4J} + \tau [F_{44}F_{54}X_{4J} - X_{4J}]; \\ X_{5K} &= X_{5J} + \tau [F_{55}YZX_{5J} - X_{5J}]; \\ X_{6K} &= X_{6J} + \tau [F_{66}F_{46}X_{6J} - X_{6J}]; \\ X_{7K} &= X_{7J} + \tau [F_{77}F_{17}F_{27}X_{7J} - X_{7J}]; \\ X_{8K} &= X_{8J} + \tau [F_{88}F_{28}F_{38}X_{8J} - X_{8J}]. \end{aligned}$$

Здесь: J и K - два последовательных момента времени, разделенных интервалом времени  $\tau$ ,  $X_{1J}$  - значение концентрации биоресурса в момент времени J,  $F_{14}$  - функция влияния  $X_1$  на  $X_4$ . Остальные функции влияния (см. рис.1) обозначены таким же образом.

Если задать произвольные начальные значения всех уровней X, уравнения модели позволяют рассчитать установившиеся (равновесные) значения компонент вектора состояния эколого-экономической системы.

### ИЗМЕНЧИВОСТЬ ПАРАМЕТРОВ ЭКОЛОГО-ЭКОНОМИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ.

Для проведения вычислительных экспериментов с моделью были выбраны монотонно растущие или монотонно падающие функции влияния. Путем масштабирования все уровни X были приведены к одному диапазону изменчивости: 0 - 10. Степени влияния одних уровней на другие подбирались экспериментально. Временная изменчивость параметров системы характеризуется кривыми, показанными на рис. 2 а,б. Как следует из этих рисунков, переходные процессы в системе, вызываемые несогласованными между собой начальными условиями, затухают уже на первых 5 - 7 итерациях. Начальные значения кривых на рис.2а соответствуют номерам уровней: кривая, начинающаяся в точке 1, -  $X_1$ , в точке 2 -  $X_2$  и т.д. На рис. 2б начальная ордината 1 соответствует  $X_5$ , ордината 2 -  $X_6$ , ордината 3 -  $X_7$ , ордината 4 -  $X_8$ . Кривая с начальной ординатой - 2 показывает динамику нормы прибыли.

Норма прибыли стимулирует потребление биоресурса и рост выпуска продукции  $X_5$ . Однако с ростом производства концентрация биоресурса уменьшается и включается ограничение на потребление биоресурса Z. Поэтому выпуск продукции испытывает

колебания вокруг некоторого значения, соответствующего состоянию динамического баланса в системе. Дальнейшие эксперименты с моделью проводились при значениях функций влияния, обеспечивающих это состояние.

Целью экспериментов были карты осредненных по глубине пространственных распределений биоресурса в акватории Азовского моря и других параметров вектора состояния эколого-экономической системы. Для построения карт была использована прямоугольная сеточная область, покрывающая акваторию моря и содержащая 36 x 50 узлов. В качестве полей, отображающих влияние природной среды на эколого-экономическую систему были использованы распределения концентраций загрязняющих веществ (рис.3а) и солености (рис. 3б). Эти фоновые распределения соответствовали расчетам, проведенным по численной модели Азовского моря при равномерном западном ветре. Был учтен так же пресноводный сток рек Дон и Кубань и поступление соленых вод из Черного моря через Керченский пролив [ 4 ].

Уравнения эколого-экономической модели были решены для каждого узла сеточной области в акватории моря. В результате расчетов были построены карты распределений всех 8 компонент вектора состояния. На рис. 4а показано распределение параметра  $X_2$ , характеризующего ресурсное качество морской среды. Эта карта демонстрирует результат влияния на показатель качества фоновых концентраций загрязнений и солености, а так же потребления биоресурса.

Пространственное распределение биоресурса представлено на рис. 4б. Оно отражает общую тенденцию ухудшения экологической ситуации при движении от западной к восточной границе моря. Отрицательный эффект повышения концентрации загрязнений

у восточного побережья, обусловленный действием западного ветра, оказался более сильным, чем положительный эффект распреснения вод в этом районе. Поэтому концентрация биоресурса в основном зависит от концентрации загрязнений.

На рис 4в приведены рассчитанные по модели возможные объемы потребления биоресурса (выпуска морепродукта). В качестве допустимой концентрации биоресурса была принята величина равная 2.8 безразмерным единицам. Как отмечалось выше,  $X_5$  - выпуск морепродукта стимулируется нормой прибыли, но ограничивается экологическим состоянием морской среды. Из рис. 4в следует, что наилучшие условия для соблюдения эколого-экономического баланса в системе существуют в западной части моря.

Приведенные результаты имитационных экспериментов показывают широкие возможности исследования операций управления ПХК «море - суши». Задавая различные варианты входных условий и меняя параметры эколого-экономической модели, можно построить сценарии развития ситуаций в ПХК и выбрать из них наиболее приемлемый для управления комплексом.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Примененная в настоящей работе информационная технология позволяет наглядно отображать пространственно-временную изменчивость параметров эколого-экономических систем. На ее

основе может быть реализована динамическая геоинформационная система (ГИС) для управления природно-хозяйственным комплексом «море-суши». Использованные при этом идеализации и упрощения не являются принципиальными, поскольку нашей задачей была демонстрация принципов управления пространственными распределениями параметров эколого-экономических систем.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Тимченко И.Е., Игумнова Е.М. Морская среда как эколого-экономическая система. Морской гидрофизический журнал, 1996, - № 6.
2. Тимченко И.Е., Игумнова Е.М. Пространственно-временная изменчивость параметров эколого-экономических систем. Морской гидрофизический журнал, 1999, - № 2.
3. Тимченко И.Е., Игумнова Е.М., Прималенный А.А. Управление эколого-экономическими системами. Изд. «Экоси-гидрофизика», Севастополь, 1999. 180 с.
4. Тимченко И.Е., Ярин В.Д., Васечкина Е.Ф., Игумнова Е.М. Системный анализ морской среды. Изд. МГИ НАНУ, Севастополь, 1996. 225 с.

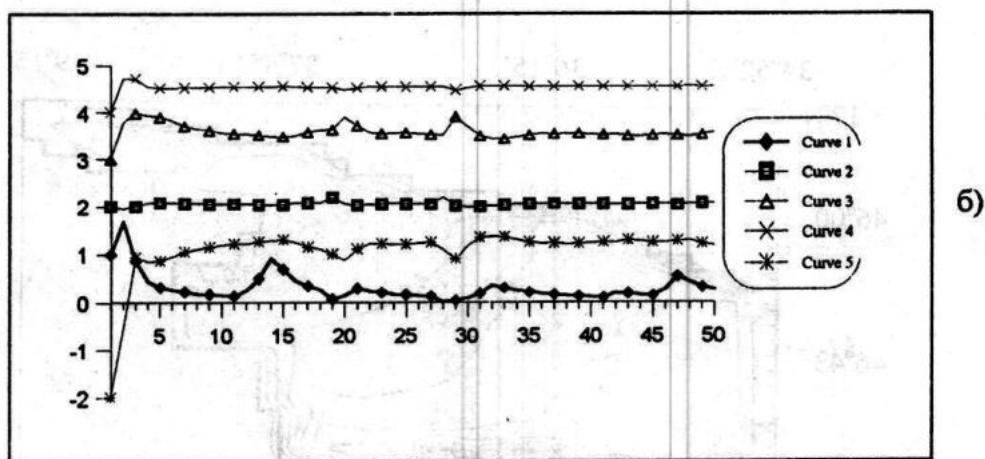
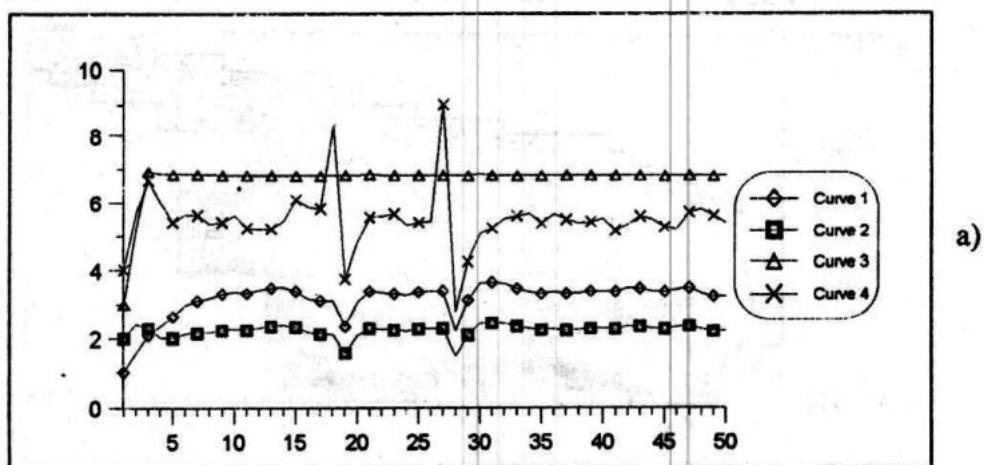


Рис. 2а,б

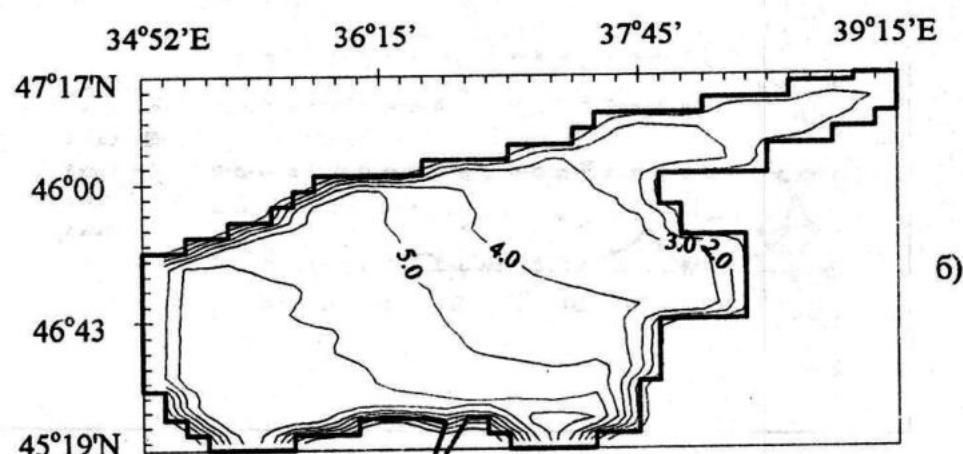
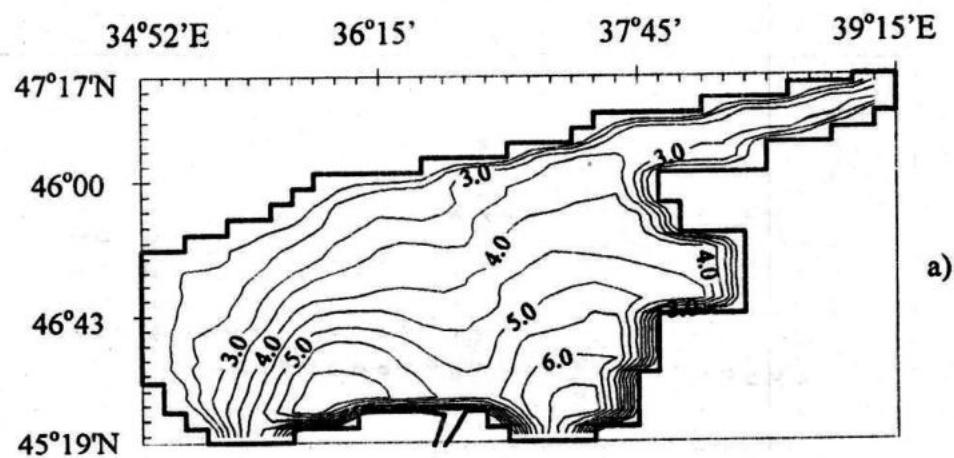


Рис. 3а,б

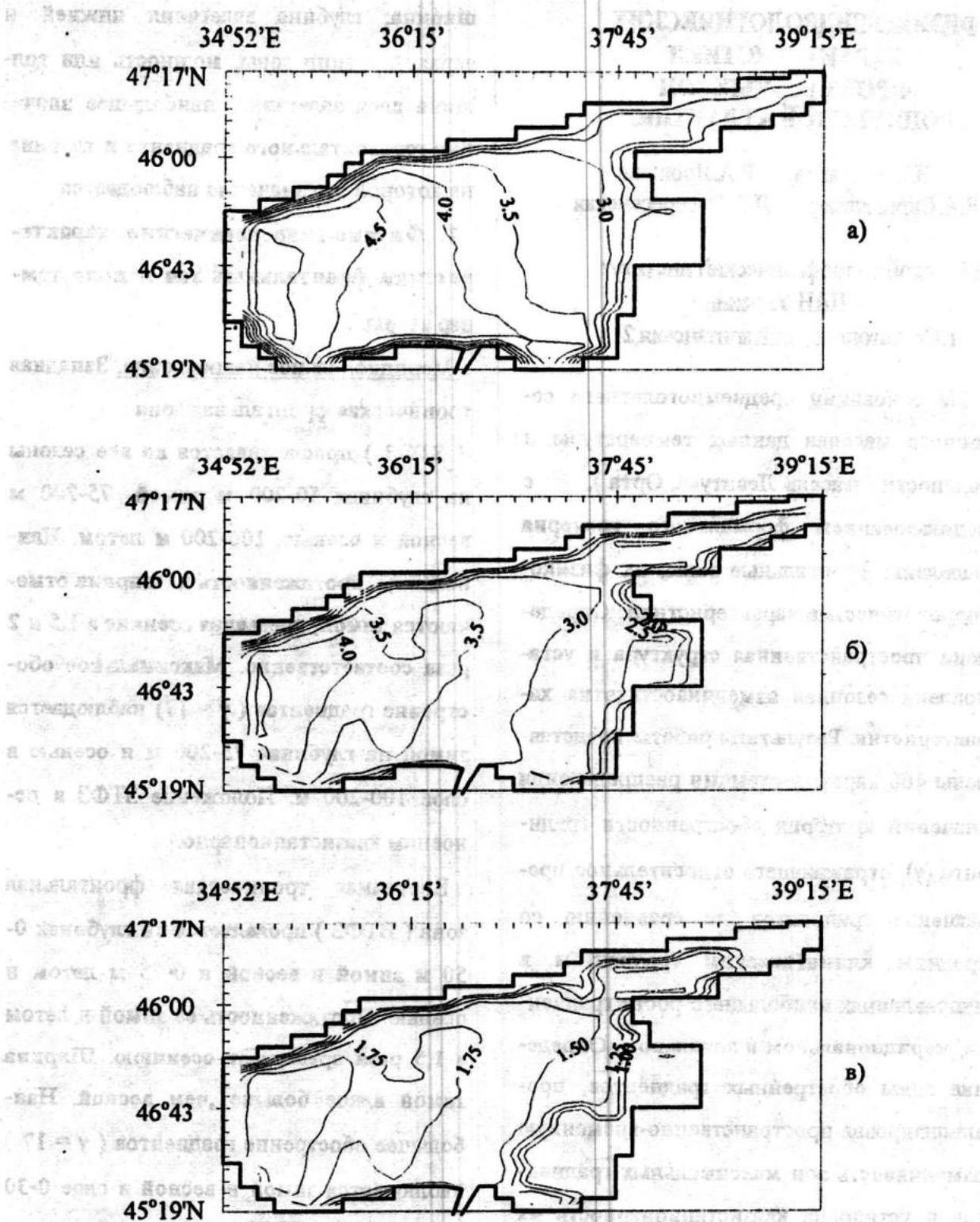


Рис. 4а, б, в