

ОДЕССКИЙ ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ.

на правах рукописи

Чжан Юннин

УДК 551.510.522:551.501.24

КОЛИЧЕСТВЕННОЕ ОПИСАНИЕ СТРУКТУРЫ ПОГРАНИЧНОГО СЛОЯ
АТМОСФЕРЫ НАД СЛОЖНЫМ РЕЛЬЕФОМ ЦЕНТРАЛЬНОГО КИТАЯ

И.00.09 – метеорология, климатология, агрометеорология

АВТОРЕЗЮМЕ

диссертации на соискание ученой степени
кандидата географических наук

178-

Одесса-1992

Работа выполнена в Одесском гидрометеорологическом институте

Научный руководитель: доктор физико-математических наук,
профессор Шнайдман В. А.

Официальные оппоненты: зав. кафедрой общей метеорологии ОГМИ,
доктор физико-математических наук,
профессор Едимов В. А.
ст. научный сотрудник института радио-
экологии Украинской академии аграрных
наук, кандидат географических наук:
Лев Т. Л.

Ведущая организация: Украинский Научный Центр Экологии Моря

Защита диссертации состоится 17 декабря 1992 г. в 14 часов
на заседании специализированного совета К-066.04.01 в Одесском
гидрометеорологическом институте в зале заседаний по адресу:
270016, Одесса-16, ул. Львовская, 15.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Одесского
гидрометеорологического института.

Автореферат разослан " 16 " ноября 1992 г.

Ученый секретарь
специализированного совета *Лобода* Н. С. Лобода



ЛНБ України ім. В. Стефаніка



00816436 (S)

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы. В настоящее время количественная оценка степени загрязнения воздушного бассейна требует детальных сведений о циркуляционном режиме и турбулентном обмене в пограничном слое атмосферы. При этом необходимы количественные оценки распределения ветра и коэффициента турбулентности в пограничных слоях над различными типами подстилающей поверхности в том числе в горных районах. Для территории Китая эта задача особенно важна из-за разнообразия подстилающей поверхности. В связи с этим не вызывает сомнения актуальность диссертационной работы, в которой решены задачи количественной оценки характеристик циркуляционного режима и турбулентного обмена в условиях сложного рельефа.

Цель и задачи исследования. Цель настоящего исследования — разработка метода и количественное описание закономерностей циркуляционного и термического режимов, турбулентного обмена на основе экспериментальных данных и моделирования внутренней структуры атмосферного пограничного слоя (АПС) в условиях горного рельефа.

Реализация этой цели была осуществлена путем решения следующих задач:

1. Разработка метода расчета характеристик АПС с учетом городской застройки и локальных особенностей сложного рельефа.

2. Количественное описание ветрового и температурного режимов в пределах городской застройки и пригородной зоны в условиях сложного рельефа.

3. Оценка пространственно-временного распределения характеристик пограничного слоя для типовых синоптических ситуаций по данным объективного анализа геопотенциала и ветра на основных изобарических поверхностях.

4. Расчет характеристик динамического и термического воздействия городской застройки на структуру АПС в условиях сложного рельефа.

5. Количественная оценка вертикальных профилей ветра, температуры и параметров турбулентности для задачи рассеяния промышленных примесей.

Использованные материалы и методика исследований. Работа построена на основе данных экспериментальных исследований, проведенных по программе Ланьчжоуского университета "Экспериментальное исследование и моделирование атмосферного пограничного слоя и атмосферной диффузии над сложной поверхностью", объективного анализа и результатов математического моделирования пограничного слоя. Использовался количественный метод, построенный на основе синтеза данных измерений и расчетов по модели АПС.

Использовались данные измерений за период с 1 по 15 декабря 1989 года, полученные с помощью привязных зондов в трех пунктах.

Пункты наблюдений расположены в долине Ланьчжоу. Два из них в пределах города и один в окрестной сельской местности.

Результаты объективного анализа были использованы для того же периода для центрального Китая.

Научная новизна исследования состоит в комплексном подходе к количественному описанию циркуляционного и термического режимов, турбулентного обмена с учетом городской зас-

тройки в условиях сложного рельефа путем объединения данных наблюдений и математического моделирования. Последовательно реализован метод учета локальных факторов путем их описания через внешние параметры модели стратифицированного АПС.

Основные результаты работы, выносимые на защиту:

1. Разработанный метод комплексного анализа ветрового режима и турбулентного обмена на основе данных измерений и модели пограничного слоя атмосферы.

2. Пространственно-временное распределение параметров АПС по данным объективного анализа геопотенциала и температуры для территории центрального Китая.

3. Количественная оценка закономерностей вертикального распределения ветра и температуры по данным экспериментальных наблюдений в пределах городской застройки и пригородной зоны в условиях сложного рельефа.

4. Результаты математического моделирования внутренней структуры АПС над сложной поверхностью.

5. Количественная оценка динамического и термического воздействия городской застройки на циркуляционный режим и турбулентный обмен в пограничном слое.

Полученные результаты расчетов согласуются с данными измерений и отражают основные экспериментально наблюдаемые закономерности. Это подтверждает их достоверность и обоснованность.

Практическая значимость исследования определяется использованием полученных результатов в экологическом мониторинге и охране окружающей среды.

Апробация работы. Результаты работы докладывались на научной конференции Ланьчжоуского университета (1990 г.), на-

учных семинарах ОГМИ. Опубликована одна статья.

Структура и объем работы. Диссертация состоит из введения, 4 главы, заключения и приложения. Общий объем работы составляет 168 страниц, в том числе 101 страница текста, 28 рисунков, 29 таблиц. Список литературы включает 107 источников.

Основное содержание работы

Во введении обоснована актуальность темы работы, сформулирована цель и задачи исследования. Рассмотрены научная новизна и практическая ценность работы, кратко изложено содержание каждой главы.

В первой главе произведен анализ методов определения характеристик атмосферного пограничного слоя (АПС). Подробно изложена модель стратифицированного бароклинного АПС, примененная для решения поставленной задачи слияния циркуляционного режима и турбулентного обмена в АПС. Подчеркнуты основные физические механизмы, учтенные в модели. Показана возможность использования модели для широкого набора физико-географических условий путем оценки входных параметров по измерениям, произведенным на исследуемой территории.

В настоящее время физически обоснованным и хорошо развитым теоретическим подходом к параметризации эффектов АПС является метод, согласно которому вертикальные профили метеорологических величин в приземном подслое рассчитаны с помощью универсальных функций Бюзингера и в соответствии с предположением о постоянстве турбулентных потоков импульса и тепла оцениваются коэффициент и интенсивность турбулентности. Использована замкнутая система уравнений движения, баланса кинетической энергии турбулентности, скорости дис-

сипации и соотношений для коэффициента турбулентности и турбулентного потока тепла, путем решения которой рассчитываются характеристики внутренней структуры свободного пограничного слоя.

Разработанная модель стратифицированного бароклинного пограничного слоя атмосферы учитывает основные физические факторы, формирующие структуру пограничного слоя, к которым относятся термическое и динамическое взаимодействие натекающего потока и подстилающей поверхности, характер термической стратификации и адвекции, распределение горизонтального градиента давления. С помощью модели можно воспроизвести вертикальные профили метеорологических величин в пограничном слое атмосферы с точностью субъективного анализа полей ветра и температуры.

Расчет по модели АПС осуществляется по двум видам исходной информации: данные радизондирования (программа "зонд") и данные объективного анализа (программа "вертикаль"). С помощью указанных программ выполнены расчеты для различных наборов информации.

Расчет интегральных характеристик (динамическая скорость V_* , приземный турбулентный поток тепла Q_0 , высота пограничного слоя атмосферы H) производится с помощью методики параметризации, которая сводится к использованию простых аппроксимационных формул, связывающих интегральные характеристики АПС с внешними параметрами (скоростью геострофического ветра V_g , перепадом геопотенциальной температуры $\partial\theta$, параметрами шероховатости Z_0 и Корнелиса f). На основе модельных расчетов были получены зависимости внутренних безразмерных характеристик (геострофического коэффициента

трения $\chi = V_* / (\alpha l \bar{V}_{g=1})$, угла отклонения приземного ветра от геострофического α , параметра стратификации $\mu = -\alpha^2 (g/\theta) \bar{g} / (C_p \rho_l V_*^2)$ от внешних безразмерных параметров (числа Рундси $Ro = l \bar{V}_{g=1} / (f Z_0)$, параметров стратификации $S = (g/\theta) \delta \theta / (f l \bar{V}_{g=1})$, $\nu = \alpha^2 (g/\bar{v}) (d\theta/dz)_n / f^2$, характеристик бароклинности $\lambda_x = (\alpha^2/f) (d u_g/dz)$, $\lambda_y = -(\alpha^2/f) (d v_g/dz)$).

Во второй главе рассмотрено пространственное распределение характеристик АПС, рассчитанных по данным объективного анализа с учетом основных физико-географических особенностей и синоптических ситуаций центрального Китая. Расчет и анализ интегральных характеристик АПС был произведен для территории, расположенной между 90° в.д. и 120° в.д., 24° с.ш. и 48° с.ш. за экспериментальный период. Основная идея применения модели АПС заключалась в том, что внешние воздействия учитываются с помощью соответствующей методики расчета внешних определяющих параметров. Были применены следующие алгоритмы определения геострофического ветра вблизи подстилающей поверхности и на верхней границе АПС, а также и перепада температур в пограничном слое и в свободной атмосфере вблизи верхней границы АПС.

$$V_{gH} = \begin{cases} \bar{V}_{91000} & H_c \leq 500 \text{ м} \\ \bar{V}_{9850} & 500 \text{ м} < H_c \leq 2000 \text{ м} \\ \bar{V}_{9700} & H_c > 2000 \text{ м} \end{cases}$$

$$V_{gH} = \begin{cases} \bar{V}_{9450} & H_c \leq 500 \text{ м} \\ \bar{V}_{9700} & 500 \text{ м} < H_c \leq 2000 \text{ м} \\ \bar{V}_{9500} & H_c > 2000 \text{ м} \end{cases}$$

$$\epsilon_{\text{АПС}}^{\text{У}} = \begin{cases} T_{850} - T_{1000} & H_c \leq 500 \text{ м} \\ T_{700} - T_{850} & 500 \text{ м} < H_c \leq 2000 \text{ м} \\ T_{500} - T_{700} & H_c > 2000 \text{ м} \end{cases}$$

$$\delta T_{\text{АПС}} = \begin{cases} T_{700} - T_{850} & H_c \leq 1500 \text{ м} \\ T_{500} - T_{700} & H_c > 1500 \text{ м} \end{cases}$$

Выявлены основные закономерности пространственной структуры интегральных характеристик АПС. Поле приземного турбулентного потока тепла зимой характеризуется следующими особенностями. Максимальные по модулю отрицательные потоки тепла превышают почти в 4 раза максимальные положительные. В области нагорья отмечаются наибольшие положительные Q_0 (5-8 Вт/м²). В этой области положительные Q_0 в 20 часов превосходят аналогичные значения в 08 часов.

Характерные значения динамической скорости составляют в зимний период 0.2-0.4 м/с; максимальное значение составило 0.85 м/с. Зоны больших значений V_* локализуются, в основном, над нагорьем и в районах с большими значениями скорости геострофического ветра.

Важным фактором, влияющим на распределение угла отклонения приземного ветра от геострофического является поле параметра шероховатости. Характерными для нагорья являются значения $\alpha = 35^\circ - 39^\circ$. Над равнинной местностью значения α колеблются в пределах $26^\circ - 32^\circ$. Смена характера адвекции, термической стратификации и скорости ветра в течение рассматриваемого периода приводят к изменению α на $5^\circ - 10^\circ$.

Поле модельной высоты пограничного слоя H подвержено большой временной и пространственной изменчивости ($100 \text{ м} \leq H$

(≤ 1500 м, в районах нагорья $H > 1000$ м).

Получены значения интегральных характеристик для типовых синоптических ситуаций. Для восточно-азиатской ложбины характерными являются отрицательные значения Q_0 порядка -20 -- -40 Вт/м² и положительные значения порядка 8 - 12 Вт/м², динамической скорости 0.5 -- 0.85 м/с, высоты АПС 150 - 1200 м. Для центральной части области высокого давления характерными являются отрицательные значения Q_0 порядка -10 - -15 Вт/м² и положительные значения Q_0 порядка 3 - 5 Вт/м², динамической скорости 0.3 - 0.6 м/с. Для деформационного поля низкого давления характерными являются отрицательные значения Q_0 порядка -6 - -12 Вт/м² и положительные значения Q_0 порядка 2 - 3 Вт/м², динамические скорости 0.2 - 0.4 м/с.

Наряду с интегральными характеристиками АПС по данным объективного анализа была восстановлена трехмерная структура полей температуры, ветра и параметров турбулентности в нижнем 1.5 км слое. Количественные оценки, приведенные для долины Ланьчжоу, показали, что различия между рассчитанными и измеренными скоростями ветра не превышают 2 м/с, при этом рассчитанные профили являются сглаженными, по сравнению с измеренными, что согласуется с ограничениями модели. Расчетные вертикальные профили модулей скорости ветра существенно зависят от распределения горизонтального градиента давления и различаются для указанных барических ситуаций. Влияние барической ситуации сочеталось с воздействием термической стратификации и адвекции. Дана количественная оценка совместного влияния указанных факторов на вертикальное распределение вектора ветра и коэффициента турбулентности.

Произведен тщательный анализ вертикальных профилей коэффициента турбулентности. Показано, что пространственная изменчивость коэффициента турбулентности велика (0.2-25.0 м²/с), а в долине Ланьчжоу эти значения составляют 0.4-5.3 м²/с. Наибольшие коэффициенты турбулентности получены при восточно-азиатской ложбине, а минимальные значения коэффициента турбулентности отмечены в центральной части высокого давления.

В третьей главе дано подробное описание эксперимента, проведенного в Ланьчжоуской долине. На основе детального анализа наблюдаемых вертикальных профилей ветра и температуры, их суточного хода в пределах городской застройки и в пригородной зоне, сформулированы основные закономерности циркуляционного и термического режимов в исследуемом регионе.

Анализ вертикальных профилей температуры и скорости ветра для трех пунктов наблюдений с помощью привязных зондов позволил выявить ряд закономерностей в пространственно-временном распределении этих метеовеличин.

1. В долине Ланьчжоу в пределах городской застройки отмечается эффект острова тепла, особенно зимой в ночное время. Приземная температура в городе выше на 3-5° чем в окрестной сельской местности.

2. Типичной стратификацией в городской части долины является безразличная и изотермическая стратификация. Инверсия в регионе города заметно слабее, чем в окрестной сельской местности. Значения перепада температур по вертикали вблизи подстилающей поверхности достигают 5°/100 м в городе 9.5°/100 м в окрестной сельской местности.

3. Существенное влияние на суточный ход температуры

оказывает дымовой слой на высоте 400-600 м. За счет поглощения и излучения радиации наличие этого слоя приводит к суточному ходу температуры на высотах его расположения, в то время, как в сельской местности этот ход уже практически отсутствует. Дымовой слой влияет также на стратификацию пограничного слоя чаще всего за счет изменения температуры подстилающей поверхности и вблизи верхней границы АПС.

1. Типовой вертикальный профиль скорости ветра: на высоте 50-150 м наблюдается максимальное значение скорости ветра в городской части долины Ланьчжоу, а минимальное значение отмечается на высоте 200-250 м, на которой отмечается обращение направления ветра. В дневные часы после полудня развитие перемешанного слоя нарушает местную циркуляцию. В ночные часы скорость ветра в верхней части АПС больше, чем в дневные часы.

5. При наличии острова тепла в городской части долины Ланьчжоу формируется местная циркуляция, особенно в ночное время, когда существует течение к центру города.

Полученные значения разностей скорости ветра свидетельствуют о том, что в пределах 50-100 м скорость ветра в городе больше, чем в пригороде, а в более высоких слоях отмечается обратный эффект. Численные значения разностей не превышают 1.5 м/с.

Четвертая глава посвящена моделированию вертикальной структуры АПС в долине Ланьчжоу. Приведены параметры внутренней структуры АПС по результатам расчета для двух пунктов наблюдений в пределах городской черты и одного пункта в сельской местности.

Для выявления теплового и динамического воздействия

городской застройки был произведен расчет основных характеристик пограничного слоя атмосферы за четыре срока (08.12, 16.20 часов) для трех пунктов наблюдений привязного зонда с I по 15 декабря 1989 г..

Перепад температуры в нижнем 100 метровом слое является одним из главных факторов формирования структуры пограничного слоя. В утренние часы наблюдается ослабление устойчивой стратификации, в городской части долины перепад температуры составляет $1 \text{ K} / 100 \text{ м}$, а в сельской местности $4 \text{ K} / 100 \text{ м}$. Сильная инверсия, отмечается в вечерние часы, ее интенсивность в городе в три раза меньше, чем в сельской местности. Днем в основном проявляется нейтральная и слабо устойчивая стратификация, причем существенных различий между городом и пригородом не отмечалось.

Безразмерные параметры стратификации ночного и утреннего сроков положительны. Днем отмечается существенное их уменьшение. После полудня в городской части долины наблюдается слабая неустойчивая стратификация.

Наибольший приземный турбулентный поток тепла в городе в дневные часы достигает $58-80 \text{ Вт/м}^2$, а в сельской местности $35-40 \text{ Вт/м}^2$, что свидетельствует о наличии теплового воздействия города. Стрицательный турбулентный поток тепла отмечается в ночные часы и достигает $-0.4 - -2.0 \text{ Вт/м}^2$.

Динамическая скорость в пределах городской черты составляет 0.3 м/с , а в пригородной зоне 0.2 м/с . Высота пограничного слоя в утренние и вечерние часы в городе составляет порядка 150 м , а в сельской местности 50 м . В дневные часы эти высоты не отличаются и достигают $400-600 \text{ м}$.

Следует отметить, что при расчете вертикальных профилей

скорости ветра по разработанной модели АПС были использованы 2 варианта расчета скорости приземного геострофического ветра: 1) путем линейной экстраполяции с верхних уровней; 2) путем задания скорости геострофического ветра по приземному фактическому ветру. Для долины Ланьчжоу второй подход дал лучшие результаты.

Проведенные расчеты вертикальных профилей метеорологических величин позволили получить количественную оценку теплового воздействия и динамического влияния городской застройки. Разность температуры (2.5-4.0 °C) между городом и пригородом в нижнем 150 метровом слое отражает существенное влияние эффекта острова тепла города на термическую структуру городского пограничного слоя атмосферы. Сопоставление расчетных и фактических значений скорости ветра показало, что ошибки восстановления скорости ветра в большинстве случаев не превосходят 2 м/с, исключая штилевые условия. Вертикальные профили метеовеличин получены с достаточной степенью точности, что дает возможность их использования при моделировании рассеяния примесей от промышленных источников. Более того, как показывает опыт количественной оценки фоновых концентраций примесей для исключения измеренных профилей ветра в задачу расчета характеристик диффузии примесей экспериментальный вертикальный профиль подлежит сглаживанию, что достигается при модельных расчетах.

Коэффициент турбулентности зависит от вертикального градиента скорости ветра, состояния стратификационной устойчивости, уровня над поверхностью Земли и характера подстилающей поверхности. В приземном подслое коэффициент турбулентности увеличивается с ростом высоты. Максимальных зна-

чений коэффициент турбулентности достигает на верхней границе приземного подслоя, а затем наблюдается его уменьшение. В долине Ланьчжоу и окрестной сельской местности ночью зимой наблюдается сильная инверсия. При этих условиях коэффициент турбулентности не превышает $1.0 \text{ м}^2/\text{с}$. Рассмотрим вертикальное распределение коэффициента турбулентности для дневных сроков. Результаты расчета показали, что временная и пространственная изменчивость максимальных значений коэффициента турбулентности значительна ($0.3 - 122.0 \text{ м}^2/\text{с}$). Это доказывает необходимость учета зависимости коэффициента турбулентности от внешних и внутренних факторов. К внешним факторам относятся возрастание или уменьшение геострофического ветра; температурная стратификация; наличие облачности и в связи с этим изменение радиационного режима; изменение направления набегающего потока, которое в связи с неоднородностью подстилающей поверхности приводит к мезомасштабной адвекции; макромасштабная адвекция тепла или холода; особенности рельефа и связанные с ними стоковые ветры.

Проведенный анализ максимальных значений коэффициента турбулентности при различной стратификации показал, что максимумы коэффициента турбулентности отмечаются при неустойчивой стратификации и составляют $8-122 \text{ м}^2/\text{с}$. При устойчивой стратификации максимальные значения коэффициента турбулентности не превышают $6.0 \text{ м}^2/\text{с}$.

Совместный анализ полей концентрации сернистого газа на исследуемой территории с характеристиками АПС показал хорошее согласование количественных оценок интенсивности турбулентного перемешивания со степенью загрязнения город-

ского воздушного бассейна.

В заключении сформулированы основные результаты выполненного исследования.

В результате выполнения диссертации для Ланьчжоуской области получены новые сведения о количественных характеристиках закономерностей циркуляционного и термического режимов и турбулентного обмена на основе экспериментальных данных и моделирования внутренней структуры АПС в условиях горного рельефа. Решена сформулированная в программе Ланьчжоуского эксперимента задача разработки метода расчета характеристик пограничного слоя с учетом воздействия городской застройки и количественной оценки вертикальных профилей метеовеличин и параметров турбулентности, что представляет несомненный научный и практический интерес.

Анализ рассчитанных и экспериментальных характеристик, вертикальных профилей метеовеличин в пограничном слое показал, что разработанный метод восстановления вертикальной структуры АПС может быть применен при решении задач авиационной метеорологии, атм. сферной диффузии, охраны окружающей среды и локального прогноза погоды.

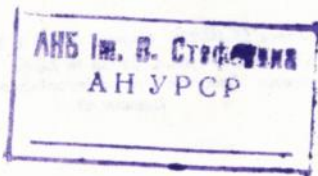
Полученные характеристики АПС пригодны для дальнейшего использования в задаче расчета параметров диффузии промышленных примесей, что является основной целью проведенных экспериментальных исследований.

Разработанная модель позволяет существенно уточнить влияние теплового и динамического воздействия городской застройки на внутреннюю структуру АПС и может быть рекомендована для усовершенствования методов диагноза и прогноза метеовеличин и погодных явлений, разработки методов расчета

загрязнения воздушного бассейна города.

Основные положения диссертации изложены в статье

Чжан Минчэ. Количественные оценки характеристик пограничного слоя атмосферы в Ланьчжоужоу области. -Сб. " Исследование пограничного слоя атмосферы и атмосферной диффузии над сложным рельефом" -П.:метеоиздат 1992.с.12-23.



ВВЕДЕНИЕ

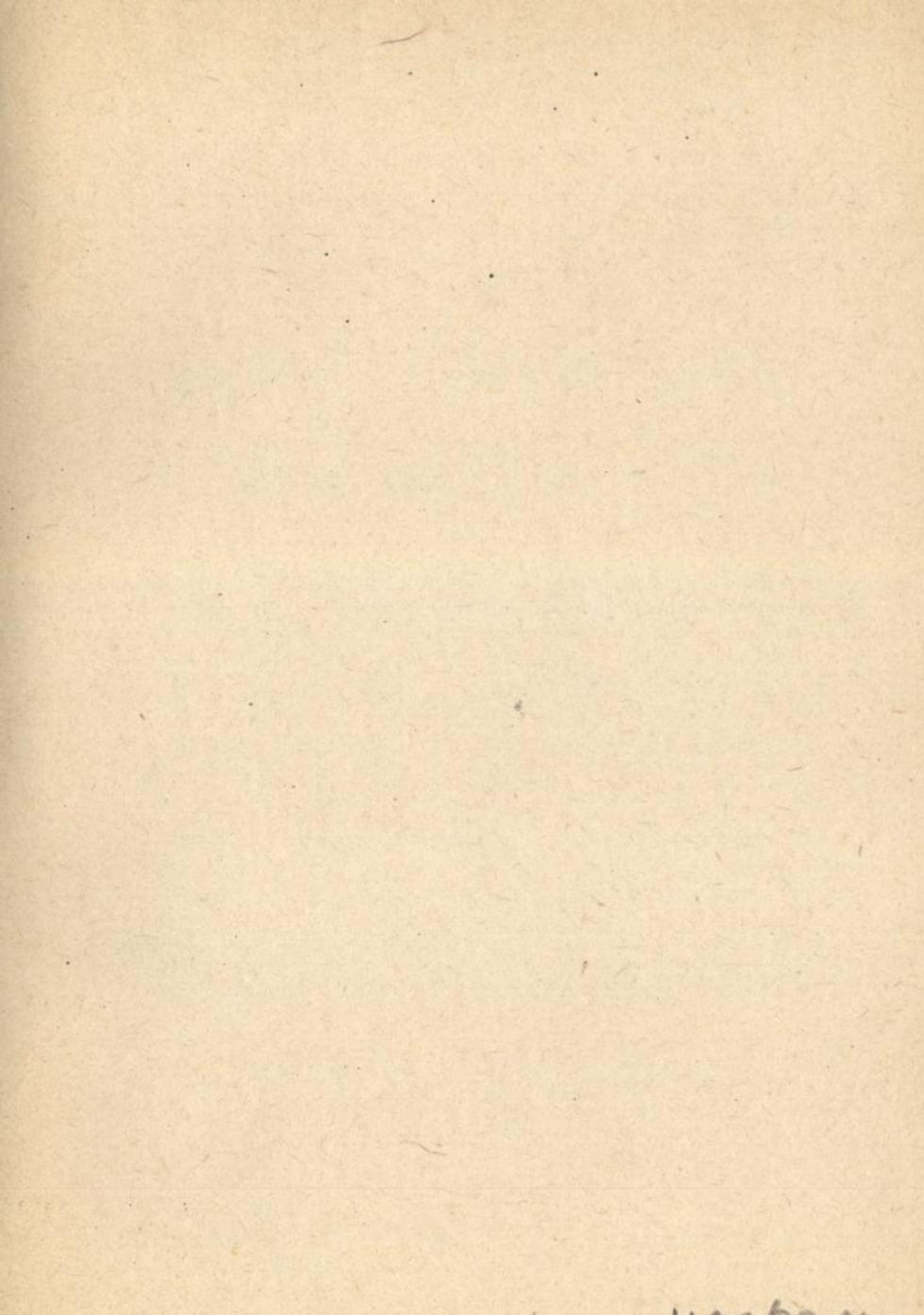
ВВЕДЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ

Подл.к печати 12.10.92г. Формат 60x84 1/16.
Об'ем 0,7уч.изд.л. 1,0л.л. Заказ № 2672 Тираж 100экз.
Горизнографдя Одесского облполиграфиздата,цех№3.
Левина 49.



JB 26.114
AV 26.114