

УДК 550.348.

Мамыров Э., Абдрахматов К.Е., Берёзина А.В.  
Институт сейсмологии НАН КР,  
г.Бишкек, Кыргызстан

## КОРРЕЛЯЦИОННЫЕ ЗАВИСИМОСТИ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО КЛАССА ОТ МАГНИТУДЫ ПО ОБЪЁМНЫМ ВОЛНАМ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ ТЯНЬ-ШАНЯ

**Аннотация:** В статье рассмотрены статистические связи энергетического класса землетрясений Тянь-Шаня по данным сейсмологических служб Кыргызстана и Казахстана с магнитудой по объёмным волнам, определённых сейсмологическими службами Китая (BJI), Международного сейсмологического центра (ISC) и России (MOS). Установлены корреляционные соотношения, позволяющие перейти от шкалы энергетического класса к общемировой магнитудной шкале классификации землетрясений Тянь-Шаня.

**Ключевые слова:** энергетический класс, магнитуда, корреляция, землетрясение.

## ТЯНЬ-ШАНЬ ТООЛОРУНУН ЖЕР ТИТИРӨӨҮҮЛӨРҮНҮН ЭНЕРГЕТИКАЛЫК КЛАССТАР МЕНЕН КӨЛӨМДҮК ТОЛКУНДОР МАГНИТУДАСЫ МЕНЕН БАЙЛАНЫШЫ

**Кыскача мазмуну:** Макалада Кыргызстан жана Казахстан сейсмологиялык кызматтарынын Тянь-Шань тоолорунун жер титирөөлөрүнүн энергетикалык класстары менен көлөмдүк толкундар магнитудасынын Китайдын (BJI), Россиянын (MOS) жана Эл аралык сейсмологиялык борборунун (ISC) статистикалык байланыштары каралган. Изилдөөнүн негизинде корреляциялык формуларар аныкталган жана алар Тянь-Шань жер титирөөлөрүнүн энергетикалык класстан эл аралык магнитуда классификациясына өтүүгө жол ачат.

**Түйүндүү сөздөр:** энергетикалык класс, магнитуда, корреляция, жер титирөө.

## CORRELATION OF ENERGY CLASS WITH A MAGNITUDE OF BODY WAVES FOR THE TIEN SHAN EARTHQUAKES

**Abstract:** The statistical relationships of energy class of the Tien Shan earthquakes according to Seismological Services of Kyrgyzstan and Kazakhstan with a magnitude of body-waves identified by the China Seismological Service (BJI), the International Seismological Center (ISC) and Russian Geophysical Service (MOS) are considered in the paper. Correlation ratios of energy class to the global magnitude scale for the Tien Shan earthquakes are determined.

**Keywords:** energy class, magnitude, correlation, earthquake.

В практике определения количественных масштабов землетрясений Тянь-Шаня используются различные абсолютные и относительные шкалы. В настоящее время наибольшее распространение при определении величины землетрясений Центральной Азии на региональных расстояниях получила шкала энергетических классов  $K_R$  ( $K_R = \lg E_R$ ,  $E_R$  – энергия сейсмических волн, Дж), введенная Т.Г. Раутиан [1], а также магнитуды по объёмным волнам  $m_b$  [2-3]. При этом в массовом порядке величины  $K_R$  землетрясений определяются только сейсмологическими службами Казахстана и Кыргызстана, а значения  $m_b$  измеряются (кроме вышеназванных стран с 2002 г.) сейсмологическими службами Китая (BJI), России (MOS), Европейского Союза (IDC), Гарвардского университета США (HRV), Геологической

службы США (NEIC) и Международного сейсмологического центра (ISC), которые публикуются в бюллетенях ISC через Интернет в реальном масштабе времени.

Разнородность используемой аппаратуры и методов расчётов рассматриваемых параметров во многих случаях затрудняют анализ сейсмического режима региона. Особые трудности возникают при использовании материалов за разные периоды времени, составленных разными службами и центрами обработки [3], а также при переходе от шкалы энергетического класса к магнитудной шкале. В связи с вышесказанным в данной работе сделана первая попытка установления статистических связей  $K_R$  землетрясений Тянь-Шаня по данным сейсмологических служб Кыргызстана (KRNET) и Казахстана (NNC, Национальный ядерный центр), взаимосвязи  $K_R$  со значениями  $m_b$  по ISC, ВЛ и MOS, а также физического обоснования полученных эмпирических соотношений.

В основу исходных данных по  $K_R$  (KRNET) положен банк сейсмологических данных Института сейсмологии НАН КР за 2000-2013 гг. по землетрясениям Тянь-Шаня ( $N = 977$ ,  $N$ -число событий) в пределах координат  $\varphi = 39.0^\circ - 43.5^\circ$   $\lambda = 69^\circ - 81^\circ$  в интервале  $K_R = 7-16$ . Для расширения интервала  $K_R$  использованы также величины  $K_R$  по сильным землетрясениям 1997 г. ( $N = 46$ ), а также параметры разрушительного Суусамырского землетрясения 19 августа 1992 г.

По [1, 3-6] значения  $K_R$  землетрясений определяются по сумме максимальных амплитуд (AP) P и S (AS) – волн по потоку сейсмической энергии через референц-сферу стандартного радиуса ( $rR = 10$  км) с помощью номограмм с точностью  $\pm 0.3$ . В настоящее время расчет  $K_R$  производится по формуле [7]:

$$K_R = 1.8 \lg (AP + AS) + \sigma_2(\Delta), \quad (1)$$

где AP – амплитуда P – волн на канале прибора СКМ, в 10-6 м;

AS – максимальная амплитуда S – волн на канале прибора СКМ, в 10-6 м;  $\sigma_2(\Delta)$  – калибровочная функция, зависящая от эпицентрального расстояния  $\Delta$  (км). Исследованиями Института сейсмологии НАН КР было доказано, что между величиной  $K_R$  и  $\lg E_{GR} = K_{GR}$  ( $E_{GR}$  – энергия сейсмических волн по Гутенбергу – Рихтеру, в Дж) существует следующая эмпирическая зависимость [8]:

$$K_R = K_{GR} + 0.66. \quad (2)$$

Магнитуда  $m_b$  по объёмным волнам является важной шкалой оценки масштабов коровых землетрясений и основана на изменениях амплитуды телесейсмических объёмных волн. Она определяется формулой [9]:

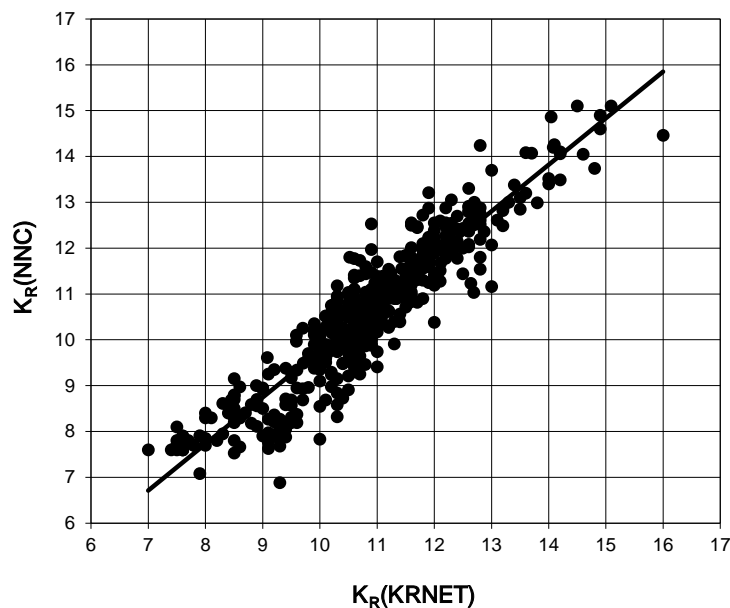
$$m_b = \lg(A/T) + Q, \quad (3)$$

где Q- функция эпицентрального расстояния и глубины очага, эмпирическиопределенная Гутенбергом и Рихтером для исключения влияния пути на наблюдаемую амплитуду;  $A/T$  – это максимум в одной из волновых групп P, PP или SH; A – амплитуда в  $10^{-6}$  м; T – период, в с.

На рисунке 1 представлена корреляционная зависимость энергетического класса  $K_R$  по NNC от  $K_R$  по KRNET для одних и тех же землетрясений Тянь-Шаня, которая выражается следующей эмпирической формулой ( $r$  – коэффициент корреляции):

$$K_R(NNC) = 1.01 (\pm 0.03) K_R(KRNET) - 0.39 (\pm 0.05). \quad (4)$$

Судя по высокому значению коэффициента корреляции  $r = 0.93$  между энергетическим классом одних и тех событий по данным сейсмологических служб Кыргызстана и Казахстана, можно сделать вывод о том, что между этими данными существует тесная зависимость. Такое заключение позволяет от  $K_R$  по данным KRNET перейти к  $K_R$  по NNC. При этом для одних и тех же землетрясений величины  $K_R$  по NNC ниже, чем  $K_R$  по KRNET на 0.2-0.3 единицы энергетического класса (рисунок 1), а для первичной оценки масштабов событий можно принять:  $K_R(KRNET) \approx K_R(NNC)$  в соответствии с возможной точностью определения величины  $K_R$  по [3].



**Рисунок 1.** Зависимость  $K_R$  (NNC) от  $K_R$  (KRNET) для землетрясений Тянь-Шаня:  
 $K_R$  (NNC) = 1.01(±0.03)  $K_R$  (KRNET) - 0.39(±0.05), N = 571, r = 0.93.

Корреляционные зависимости магнитуды по объёмным волнам  $m_b$  по ISC, ВЛ и MOS от  $K_R$  для землетрясений Тянь-Шаня по данным Института сейсмологии НАН КР (KRNET) показаны на рисунок 2, на котором приведены параметры эмпирических зависимостей  $m_b$  по ISC, ВЛ и MOS от  $K_R$  (рисунок 2). На этих же графиках пунктирной линией показана теоретическая зависимость модернизированной магнитуды по объёмным волнам  $m_{bm}$  от  $K_R$  для землетрясений Тянь-Шаня [8]:

$$m_{bm} = 0.42 K_R - 0.39, \quad (5)$$

которая находится в хорошем согласии с эмпирическим соотношением [4-5]:

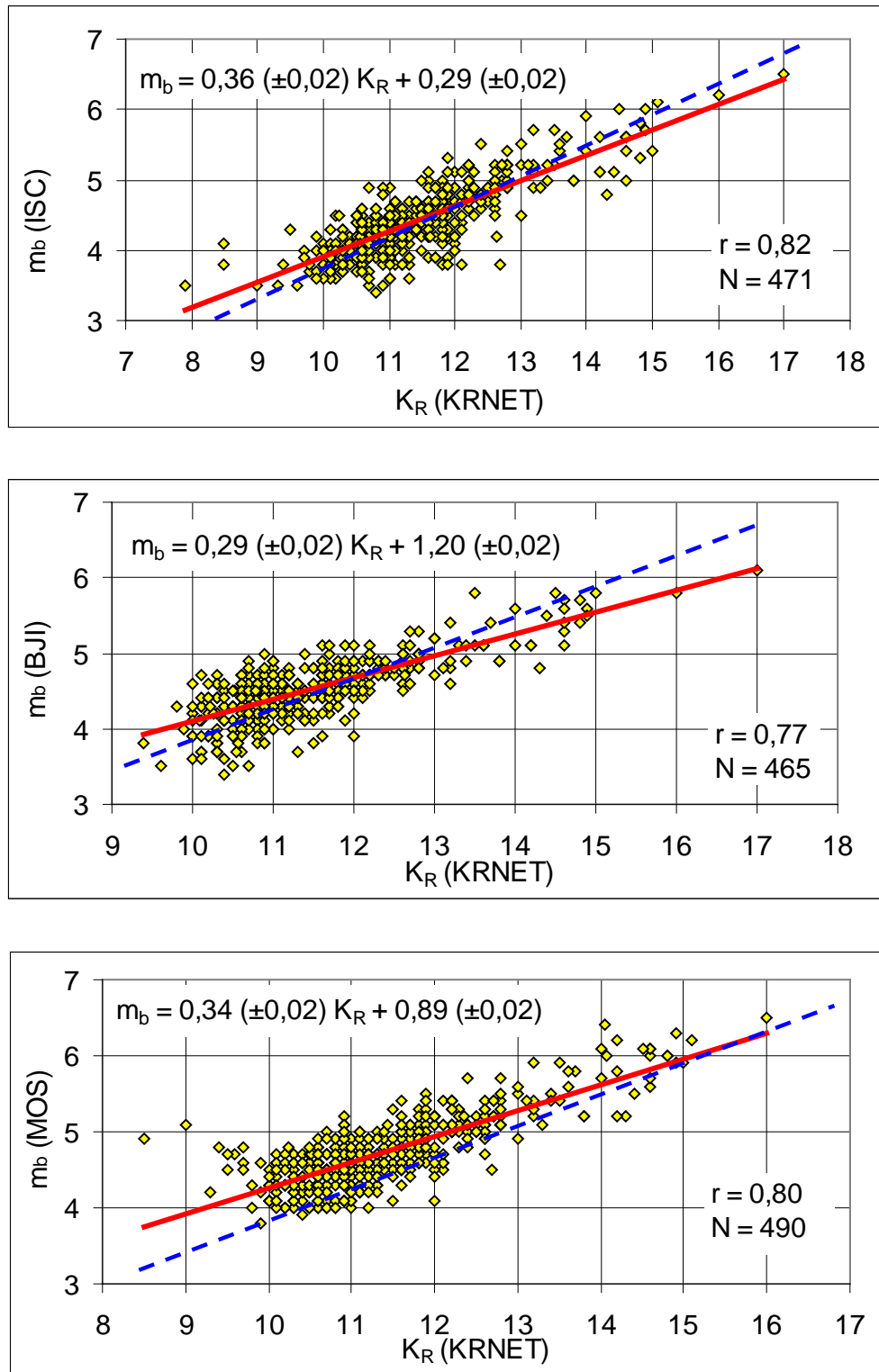
$$m_b = 0.45 K_R - 0.76, \quad (6)$$

характерного для землетрясений Центральной Азии в интервале  $K_R = 9.0 - 15.0$ .

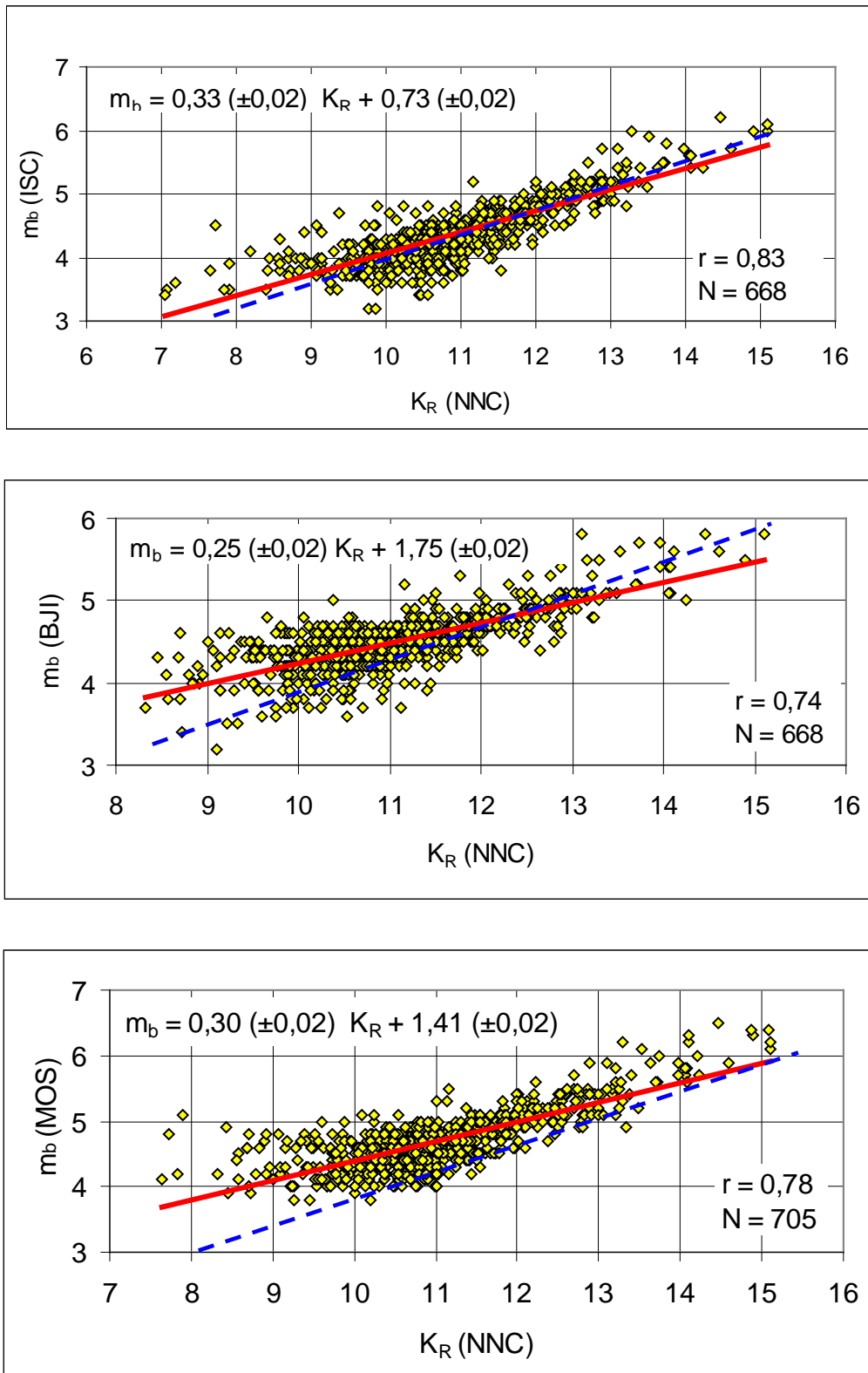
Из представленных данных следует, что, несмотря на некоторые различия в линейных соотношениях  $m_b$  (ISC, ВЛ, MOS) и  $K_R$ , между этими параметрами отмечаются тесные статистические зависимости и теоретическое выражение (4) удовлетворительно описывает изменения  $m_b$  с ростом  $K_R$  (рисунок 2); при этом наилучшая сходимость между статистической и расчетной  $m_b$  при увеличении  $K_R$  характерно для данных  $m_b$  по (ISC) с коэффициентом корреляции  $r = 0.82$ , а по данным сейсмической службы Китая (ВЛ) при  $K_R > 14.0$  наблюдается заниженные значения  $m_b$ , чем расчётные и данные по ISC и MOS (рисунок 2).

Вышеуказанные статистические зависимости  $m_b$  (ISC, ВЛ, MOS) от  $K_R$  характерны и по данным сейсмологической службы Казахстана (NNC), которые приведены на рисунке 3.

Таким образом, результаты наших исследований, выполненных впервые для землетрясений Тянь-Шаня за 2000-2013 гг., подтверждают функциональную зависимость магнитуды по объёмным волнам,  $m_b$  от энергетического класса  $K_R$  и позволяют перейти от магнитудной шкалы к шкале  $K_R$ .



**Рисунок 2.** Корреляционные зависимости магнитуды  $m_b$  по ISC, BJI и MOS от  $K_R$  по KRNET для землетрясений Тянь-Шаня; пунктирной линией показана теоретическая зависимость  $m_{bm} = 0.42 K_R - 0.39$ ; сплошной линией показаны корреляционные зависимости,  $N$  – число данных,  $r$  – коэффициент корреляции.



**Рисунок 3.** Корреляционные зависимости магнитуды  $m_b$  по ISC, BJI и MOS от  $K_R$  по данным сейсмологической службы Казахстана (NNC) для землетрясений Тянь-Шаня; пунктирной линией показана теоретическая зависимость  $m_b = 0.42 K_R - 0.39$ ; сплошной линией показаны корреляционные зависимости,  $N$  – число данных,  $r$  – коэффициент корреляции.

### Выводы

1. Сравнительный анализ многолетних данных по определению энергетического класса землетрясений Тянь-Шаня, выполняемых сейсмологическими службами Кыргызстана и Казахстана, показал, что величины  $K_R$  для одних и тех же событий совпадают между собой.
2. Магнитуда по объёмным волнам  $m_b$ , измеряемая Международным сейсмологическим центром (ISC), сейсмологическими службами России (MOS) и Китая (BJI) для землетрясений Тянь-Шаня, тесно взаимосвязана с энергетическим классом  $K_R$ .
3. Полученные эмпирические соотношения между параметрами очагов, имеющие физическое обоснование, позволяют переходить от шкалы энергетического класса к общемировой магнитудной шкале оценки масштабов землетрясений Тянь-Шаня.

*Статья написана при поддержке гранта по проекту МНТЦ КР -2011*

### Литература

1. Раутиан Т.Г. Об определении энергии землетрясений на расстояниях до 3000 км. // Тр. ИФЗ АН СССР, 1964, №32 (199), с. 72-98.
2. Gutenberg B., Richter C.F. Earthquake magnitude, intensity, energy and acceleration (second paper). // Bull. Seismol. Soc. Am., 1956, 46, p.45-145.
3. Михайлова Н.Н., Неверова Н.П., Каймыкава Н.А. Энергетические и магнитудные характеристики землетрясений в практике сейсмических наблюдений на Северном Тянь-Шане. // Землетрясения Северной Евразии в 1993 г. Москва: Природа, 1999, с. 60-68.
4. Bormann P., Fujita K., Mackey K.G., Gusev A. The Russian K-class system, its relationships to magnitudes and its potential for future development and application. // July 2012; DOI: 10.2312 / GFZ. NMSOP – 2 IS 3.7 p. 1-26.
5. Rautian I.G., Khalturin V.I., Fujita K., Mackey K.G., Kendall A.D. Origins and methodology of the Russian energy K-class system and relationships to magnitudes scales. // Seismol. Res. Letters, 2007, 78, p. 579-590.
6. Раутиан Т.Г. Проблема определения энергии землетрясений. // Магнитуда и энергетическая классификация землетрясений, т. II. Москва: МСССС, 1974 с. 107-112.
7. Михайлова Н.Н., Власова А.А. Каталог землетрясений Северного Тянь-Шаня и прилегающих территорий т. I-II. Алма-Ата: Наука, 1990, 130 с.
8. Мамыров Э. Физическое обоснование функциональной связи магнитуд с сейсмическим моментом и энергией сейсмического излучения землетрясений Тянь-Шаня. // Геодинамика Талассо-Ферганского разлома Тянь-Шаня и стихийные бедствия на территории Центральной Азии. Бишкек: Арашан, 2009, с.130-154.
9. Аки К., Ричардс П. Количественная сейсмология. Теория и методы, т. I. Москва: Мир, 1983, 520 с.