

АКАДЕМИЯ НАУК СССР  
ДАЛЬНЕВОСТОЧНОЕ ОТДЕЛЕНИЕ  
Институт Космофизических исследований и распространения  
Радиоволн

С.Г.Можаровский  
АТЛАС ПРОФИЛЕЙ СТОКСА ЛИНИИ Fe I  $\lambda$  6302 Å ДЛЯ РАЗЛИЧНЫХ  
ФОТОСФЕРНЫХ МОДЕЛЕЙ

Препринт

Владивосток  
1991

УДК 523.98

Можаровский С.Г. Атлас профилей Стокса линии Fe I  $\lambda$  6302 Å для различных фотосферных моделей: Препринт / ИКИР ДВО АН СССР, Владивосток, 1991. 13 с.

Приведён атлас расчётных профилей магнитоактивной линии Fe I  $\lambda$  6302 Å пригодный для анализа наблюдений светлых мостов солнечных пятен. Названы алгоритмы расчётов. Формулируются выводы о влиянии эффективной температуры фотосферных моделей на результирующие профили Стокса.

Печатается по решению Учёного Совета ИКИР ДВО АН СССР

Ответственный редактор к.ф.-м.н. Г.И.Корниенко

© ДВО АН СССР, 1991

## I. Введение

Для анализа спектральных наблюдений солнечных образований с магнитным полем, таких как тень, полутеня, светлые мосты пяты, факельные точки были предприняты расчёты профилей Стокса известной линии Fe I  $\lambda 6302 \text{ \AA}$  для набора значений магнитного поля, угла наклона силовых линий к лучу зрения, для ряда моделей возмущённой и невозмущённой солнечной фотосферы.

Оказалось, что в моделях полути и светлого моста профили заметно отличаются от профилей невозмущённой фотосферы и тени пятна и не могут быть получены интерполяцией последних. Подробный анализ особенностей зависимости параметров Стокса  $I, Q$  и  $U$  в различных линиях от температуры моделей сделан автором в работах /5/ и /6/. Сам по себе атлас расчитанных профилей может быть интересен наблюдателям, поэтому он и пригодится в данной работе.

## 2. Материалы и методы

### Использованные программы

Программа для расчётов профилей Стокса магнитоактивных линий написана автором на основе формул Беккерса /8/, в значительной степени скорректированных с учётом целого ряда более поздних работ. Наиболее близко она повторяет программу MALIP Ланди Дель'Инноченти /1/.

Расчёт моделей фотосферы по известному распределению температур с оптической глубиной запрограммирован, в основном, в соответствии с формулами SPANSAT Гадуна и Шеминовой /2/, которые, в свою очередь, повторяют основные формулы LINEAR /7/.

Эти две наиболее сложные программы (расчёта профилей и расчёта моделей фотосферы) в совокупности с программами сохранения результатов счёта в архиве, распечатки профилей Стокса и рядом других, а также в совокупности с таблицами атомных параметров, списками линий, моделями фотосферы, составляют единый комплекс "SUNWORLD", реализованный пока на СМ-3 (=PDP11/04). Проводится работа по переводу его на IBM PC.

### Особенности расчётов

В расчётах моделей атмосферы взяты обилия элементов в системе Гуртовенко-Костыка /4/. Использованы коэффициенты непрерывного поглощения отрицательным ионом водорода из спектратора

Аллена /1/. Параметр затухания вычислялся по формулам, указанным Грэем /3/ (формулы II.35 и II.36), учитывающим только Вандер Ваальсовское уширение. Далее вводился постоянный поправочный множитель, равный 2 для линии Fe I  $\lambda$  6302 Å. Использованы лабораторные факторы Ланда из таблиц Мур /13/ ( $\epsilon_{6302} = 2.487$ ).

Для проверки программы SUNWORLD были воспроизведены расчёты эквивалентных ширин и центральных глубин ряда умеренных линий Fe I из книги Гуртовенко и Костыка /4/ с приведёнными там значениями сил осцилляторов и всех прочих параметров. Результаты счёта SUNWORLD для модели NOLMU /9/ превосходно совпадают с данными /4/, где для расчётов использовался пакет SPANSAT /2/. Это доказывает отсутствие ошибок в программах, а также то, что при расчётах профилем линий в невозмущённой фотосфере можно не учитывать иные источники непрерывного поглощения, кроме отрицательного иона водорода.

Величины микро- и макротурбулентных скоростей в разных элементах фотосферы, повидимому, очень сильно отличаются. Для макротурбулентной скорости было выбрано промежуточное значение 1 км/с, постоянное по всей глубине моделей. Макротурбулентная же скорость может быть учтена уже после расчёта профиля путём его свёртки с гауссианой соответствующей полуширины.

Отметим, что ряд сочетаний параметров поля, температурных моделей и турбулентных скоростей, конечно, физически нереален и для анализа конкретного наблюдательного материала требуется конкретный подбор физических параметров излучающей среды.

### 3. Содержание атласа

Атлас содержит расчётные профили для набора значений напряжённости поля, угла наклона силовых линий магнитного поля к лучу зрения и для семи моделей атмосферы.

Значения напряжённостей (Гаусс) :

1800, 2200, 2600, 3000.

Значения углов (в градусах) :

15, 45, 75.

Модели фотосферы :

NOLMU - невозмущённая фотосфера Holweger, Muller /9/

MOEML - полутень Moe, Maltby /12/

SOEBE - светлый мост Sobotka /14/

ZWAAN - тень Zwaan /16/

- SW - тень Stellmacher, Wiehr /15/  
M4 - модификация SW - модель Kollatschny et al. /10/  
HM+0.2 - светлый мост - модель, полученная перерасчётом из  
HOLMU в предположении гидростатического равновесия после уве-  
личения  $\theta=5040/T$  на 0.2 на каждой оптической глубине.

В таблице приведены соответствующие моделям интенсивности  
континуума в отношении к невозмущённой фотосфере на длине волн  
 $\lambda = 6302 \text{ \AA}$  и значения величины  $\theta_{\text{эфф}} = 5040/T_{\text{эфф}}$ .

Модель	SW	ZWAAN	M4	HM+0.2	ЗЕВР2	МОЕМА	HOLMU
$I_c$	0.118	0.138	0.147	0.405	0.467	0.743	1.000
$\theta_{\text{эфф}}$	1.29	1.25	1.24	1.02	0.98	0.88	0.82

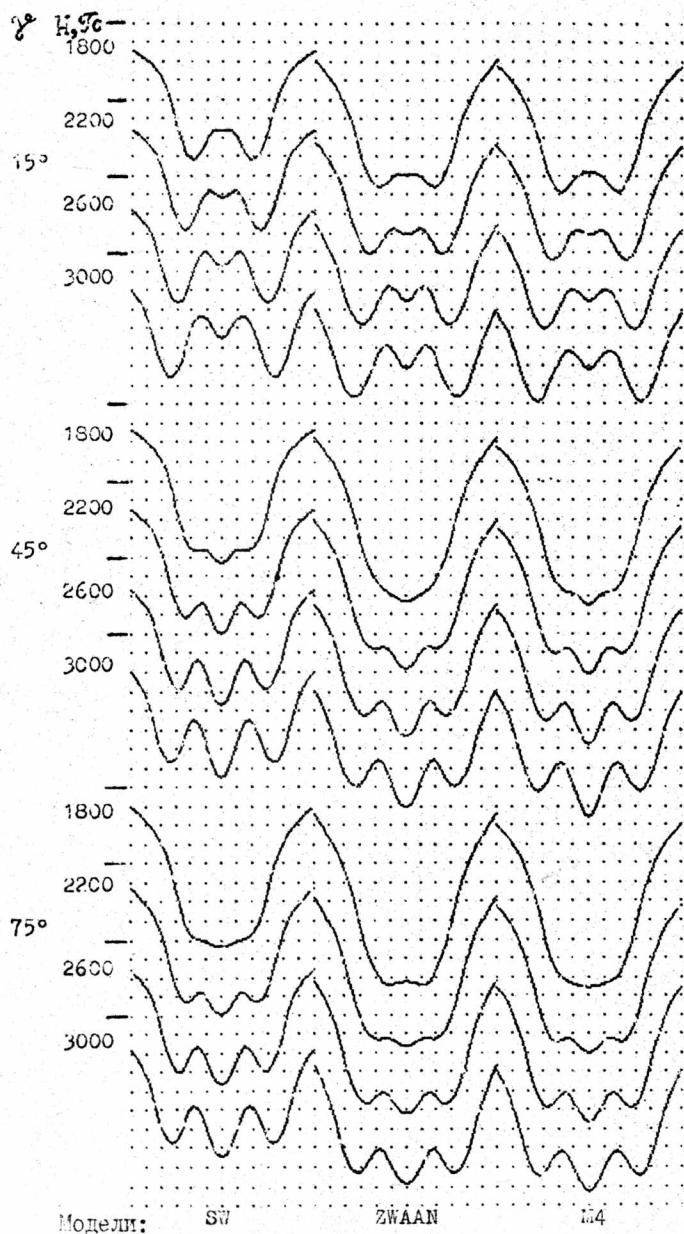
Для облегчения измерений на рисунках атласа нанесена коор-  
динатная сетка. Её шаг составляет  $40\text{\AA}$  по горизонтали и 5% по  
вертикали, что соответствует масштабу  $20\text{\AA}/\text{мм}$  по горизонтали и  
2%/мм по вертикали.

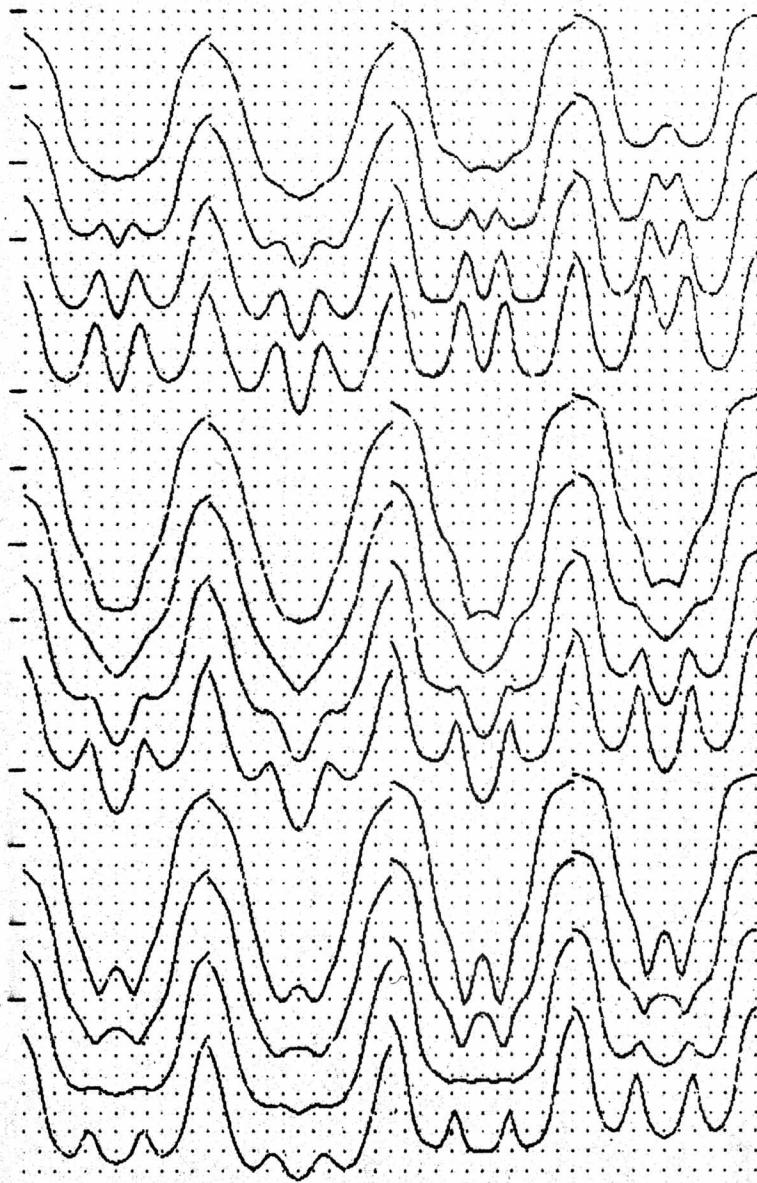
#### 4. Выводы

Подробный анализ атласа, проделанный в /5/ и /6/ приводит  
к следующим выводам:

1. Профили интенсивности линии Fe I  $\lambda = 6302 \text{ \AA}$  максимально уси-  
лены при промежуточных между тенью и невозмущённой фотосферой  
температурах.
2. У профилей Стокса интенсивности I, круговой V и линейной Q  
поляризации различная температурная чувствительность.
3. На линии поглощения заметное влияние оказывают как эффектив-  
ная температура, так и градиент температуры в модели фотосфера.

Рис. 1а. Атлас профилей линий Fe I в 6302 Å. Несколько Сторка I.





HM+0.2

SÖBB2

MOEMA

HOLMÜ

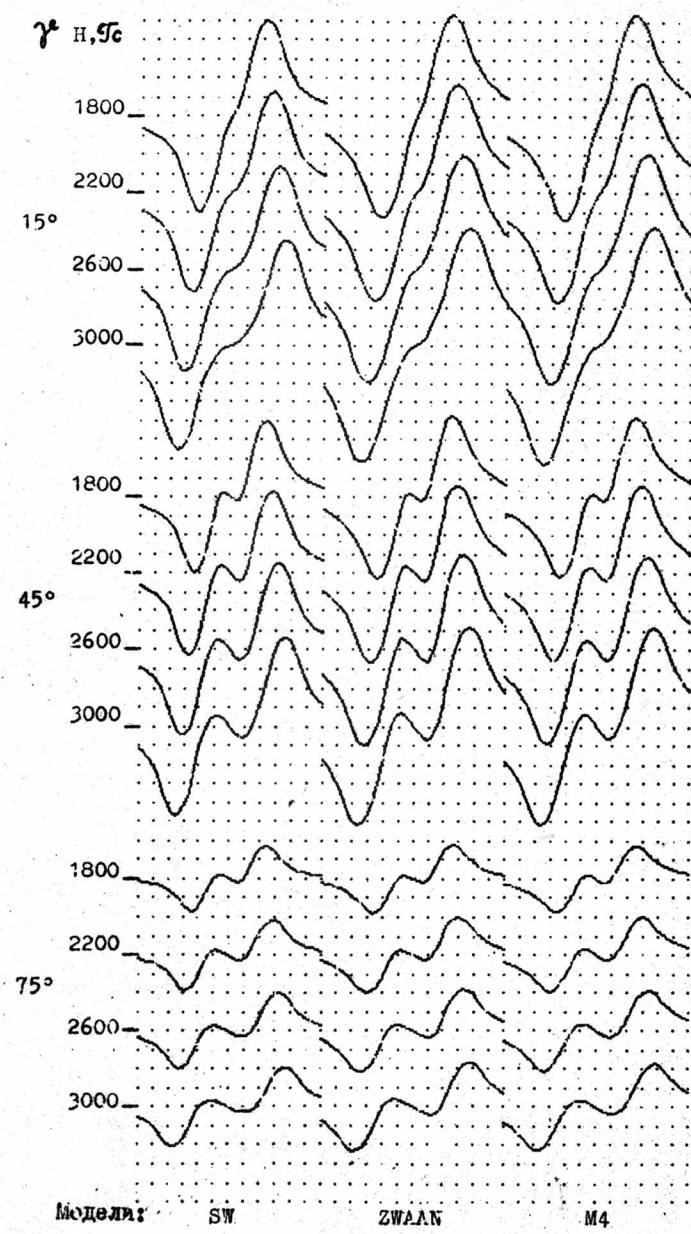
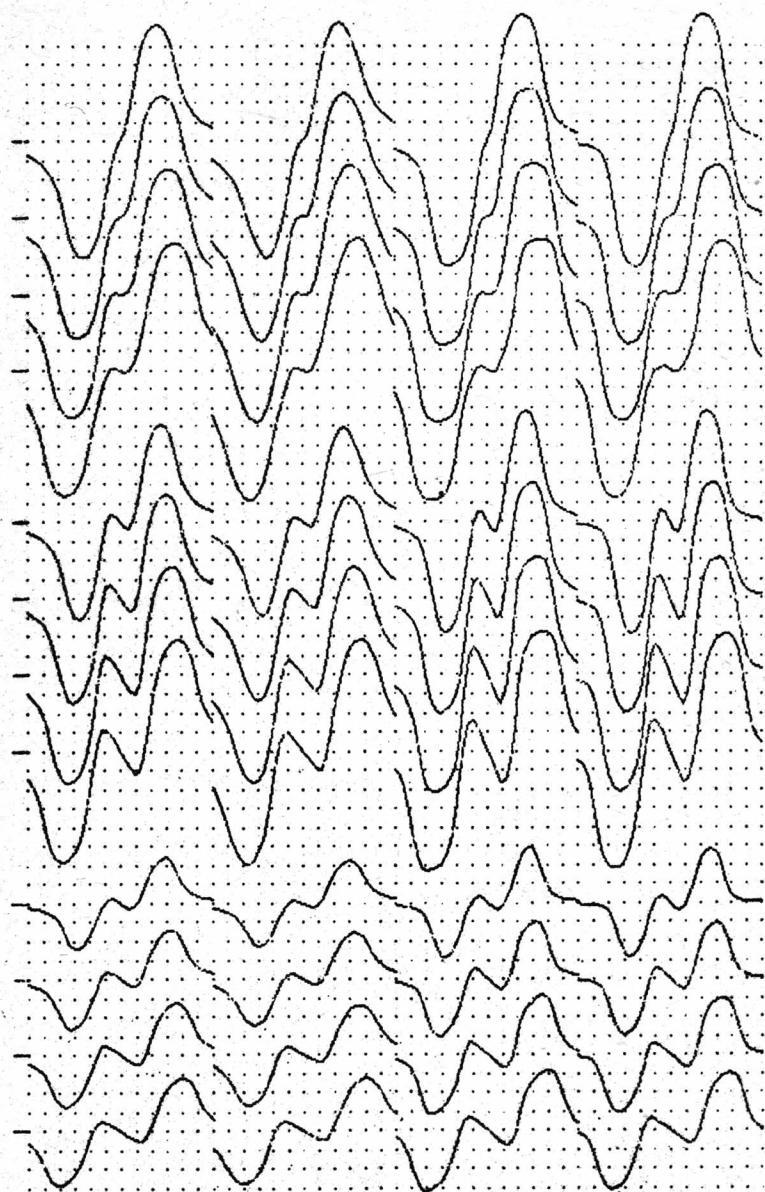


Рис. 1б. Атлас профилей линии Fe I  $\lambda 6302 \text{ \AA}$ . Параметр Стокса V.



HM+0.2

SO3B2

MOEMA

HOLMU

$\gamma$  Гц

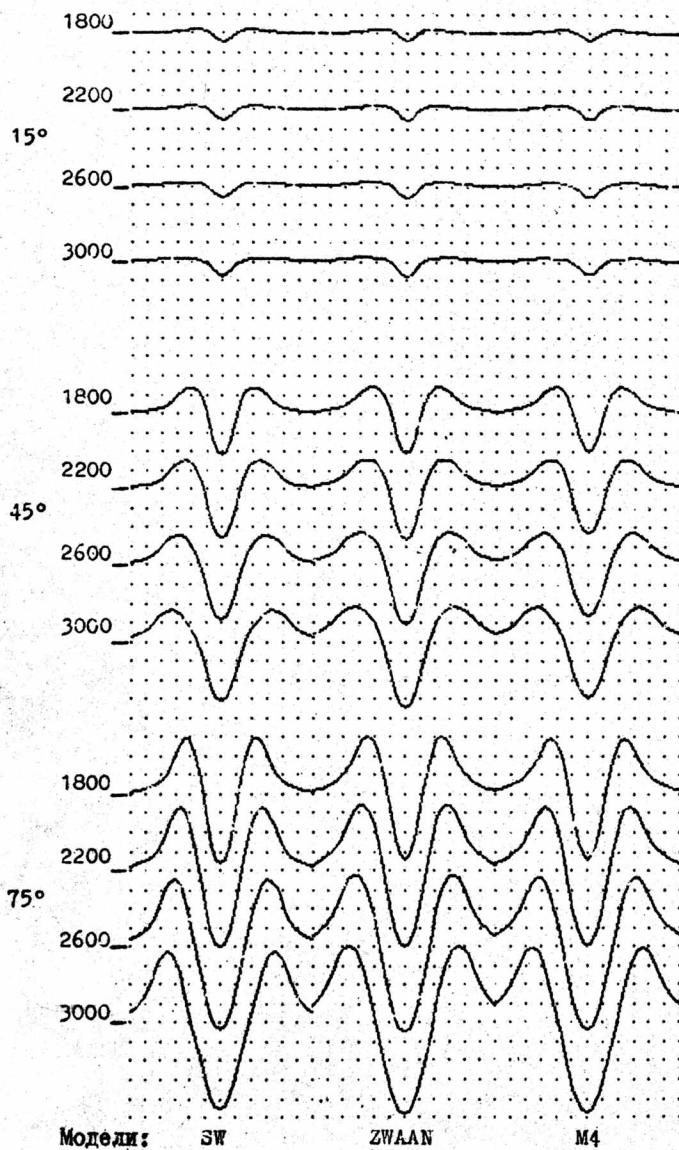


Рис. IV. Атлас профилей линии Te I λ 6302 Å. Параметр Стокса  $Q$ .

- II -



HM+0.2

SOEB2

MOEMA

HOLLY

Литература

1. Аллен К.У. Астрофизические величины. М.: Мир, 1977. 446 с.
2. Гадун А.С., Шеминова В.А. SPANSAT: программа расчёта профилей спектральных линий поглощения в звёздных атмосферах в ЛТР приближении, Препринт № 87Р. Киев: Ин-т теор. физ. АН УССР, 1988. 37 с.
3. Грей Д. Наблюдения и анализ звёздных фотосфер. М.: Мир, 1980. 496 с.
4. Гуртовенко Э.А., Костык Р.И. Фраунгоферов спектр и система солнечных спл осцилляторов. Киев: Наук. думка, 1989. 200 с.
5. Можаровский С.Г. Анализ атласа параметров Стокса линии Fe I  $\lambda$  6302 Å для различных фотосферных моделей // Труды Всесоюзной конференции по физике Солнца, Ашхабад, 2 – 5 октября 1990г. В печати.
6. Можаровский С.Г. Зависимость профилей Стокса от температуры моделей фотосфера // Астрон. журн. 1991. В печати.
7. Auer L.H., Heasley J.N., Milkey R.W. A computational program for the solution of non-LTE transfer problems by the complete linearisation method. Tucson: Kitt Peak Natl. Obs. Contr. No 555, 1972. 183 p.
8. Beckers J.M. The profiles of Fraunhofer lines in the presence of Zeeman splitting // Solar Phys., 1969. V. 9, N 1. P. 372-386.
9. Holweger H., Müller E.A. The photospheric Barium spectrum: Solar abundance and collision broadening of Ba II lines by Hydrogen // Solar Phys., 1974. V. 39, N 1. P. 19-30.
10. Kollatschny W., Stellmacher G., Wishr E., Falipou M.A. The infrared Ca<sup>+</sup> lines in sunspot umbrae // Astron. and Astrophys., 1980. V. 86, N 2. P. 245-247.
11. Landi Degl'Innocenti E. MALIP - a programme to calculate the Stokes parameters profiles of magnetoactive Fraunhofer lines // Astron. and Astrophys. Suppl. Ser., 1976. V. 25, N 2. P. 379-390.
12. Moé O.K., Maltby P. A model for the penumbra of sunspots // Solar Phys., 1969. V. 8, N 1. P. 275-283.

13. Moore C.E. Atomic energy levels, vol. II. Washington:  
Circ. Nat. Bur. Stand. N 3, 1971.
14. Sobotka M. Spectroscopic observations and models of umbral  
light bridges // Solar Phys., 1989. V. 124, N 1. P. 37-52.
15. Stellmacher G., Wiehr E. The deep layers of sunspot umbrae  
// Astron. and Astrophys., 1975. V. 45, N 1. P. 69-76.
16. Zwaan C. A continuum model atmosphere for dark umbral co-  
res // Solar Phys., 1974. V. 37, N 1. P. 99-111.

С.Г.МОЛАРОВСКИЙ

АТЛАС ПРОФИЛЕЙ СТОКСА ЛИНИИ Fe I  $\lambda$  6302 Å  
ДЛЯ РАЗЛИЧНЫХ ФОТОСФЕРНЫХ МОДЕЛЕЙ

Препринт

Подписано к печати 29.01.91 г. Формат 60x84/16.

Печать офсетная. Усл.п.л. 0,70. Уч.-изд.л. 0,95.

Тираж 100 экз. Заказ 34. Бесплатно

---

Отпечатано в офсетно-ротапринтном цехе РИО ДВО АН СССР  
690600, Владивосток, Ленинская, 50