

РОССИЙСКАЯ АКАДЕМИЯ НАУК

ЭКСТРЕМАЛЬНЫЕ ПРИРОДНЫЕ ЯВЛЕНИЯ И КАТАСТРОФЫ

Том II

**ГЕОЛОГИЯ УРАНА,
ГЕОЭКОЛОГИЯ, ГЛЯЦИОЛОГИЯ**

Москва
2011

УДК 504.0
ББК 26.2
Г35

Экстремальные природные явления и катастрофы : в 2 т. / Отв. ред. А.О. Глико;
ИФЗ РАН. – М. : ИФЗ РАН, 2010; 2011.

ISBN 978-5-91682-012-6

Г35 Т. 2 : Геология урана, геоэкология, гляциология / Отв. ред. В.М. Котляков, ИГ РАН;
отв. сост. А.Л. Собисевич, ИФЗ РАН; – М. : ИФЗ РАН, 2011.

ISBN 978-5-91682-014-0

Во втором томе коллективной монографии изложены результаты теоретических и экспериментальных исследований, связанных с изучением актуальных проблем современной геологии урановых месторождений, геоэкологии и гляциологии, имеющих целью обеспечение безопасности населения и важных промышленных объектов на территории Российской Федерации. Анализируются основные промышленно-генетические типы урановых месторождений; рассмотрены новые прогрессивные технологии добычи радиоактивных материалов; изучено поведение актинидов в условиях долгосрочного хранения и захоронения отработанного ядерного топлива. Полученные научные результаты отражают современные проблемы безопасности атомной энергетики.

Приведены новые научные данные, связанные с изучением эволюции Антарктического и арктических ледниковых покровов, от состояния которых зависит уровень Мирового океана. Достаточно внимания уделено геоэкологическим проблемам Северного Кавказа. Анализируются уникальные данные, полученные при проведении глубокого кернового бурения ледника на Западном плато вулканической постройки Эльбруса.

Изучены наиболее опасные геоэкологические процессы на территории РФ, которые могут привести к гибели людей, ранению и потере здоровья, а также к значительным материальным ущербам; разработан специальный ГИС-проект, который является готовым к использованию продуктом со всеми элементами, присущими автоматизированной информационной системе специального назначения, содержащей развернутые базы данных.

Полученные новые научные результаты и разработанные технологии уже востребованы на практике.

Для специалистов в области наук о Земле, строительства и чрезвычайных ситуаций.

УДК 504.0
ББК 26.2

The Volume II of the collective monograph presents the results of both theoretical and experimental studies of actual problems of modern geology of uranium deposits, geoecology and glaciology in order to mitigate issues on public safety and potentially hazardous industrial facilities and consequent risks on the territory of Russian Federation. Primary types of industrial uranium ore deposits are analysed, new progressive technologies of prospecting of radioactive materials are considered, the behaviour of actinides in long-time storages and nuclear waste burial sites are studied. The results obtained represent modern safety problems of nuclear power engineering.

New scientific data related to evolution of glaciers in Arctic and Antarctica governing the global level of world ocean are presented. Specific attention is paid to geoecological problems in Northern Caucasus. Genuine data gathered in the course of deep core drilling on the Western plateau of the Elbrus volcano.

Most significant hazardous geoecological processes on the territory of Russian Federation, threatening populated areas in terms of human health and injury, substantial property damage are studied. The specialized geographical information system (GIS) is the database driven product with high level of automation and it has been developed in frames of the actual research initiative.

The new fundamental scientific results obtained and the new technologies developed are of particular interest for practical applications.

The book will satisfy the needs of specialists in Earth sciences, industrial construction applications and hazard assessment.

ISBN 978-5-91682-014-0
ISBN 978-5-91682-012-6

© Российская академия наук, 2011
© Коллектив авторов, 2011

ЧУВСТВИТЕЛЬНОСТЬ ГИДРОЛОГИЧЕСКОГО ЦИКЛА К ИЗМЕНЕНИЮ ОРБИТАЛЬНЫХ ПАРАМЕТРОВ И КОНЦЕНТРАЦИИ АНТРОПОГЕННЫХ ПАРНИКОВЫХ ГАЗОВ

Учреждение Российской академии наук Институт физики атмосферы им. А.М. Обухова РАН

ВВЕДЕНИЕ

Палеоклиматические реконструкции последних 130 тыс. лет выявили значительные вариации гидрологического цикла (см. [Rossignol-Strick, 1983; Fleitmann *et al.*, 2003]) в эпоху последнего микулинского межледникового (130–115 тыс. лет назад) и современного межледникового (голоцен: последние 10 тыс. лет). Согласно реконструкциям и модельным расчетам, выявленные гидрологические изменения связаны с изменением крупномасштабной атмосферной циркуляции, в том числе с усилением глобальной муссонной циркуляции (например, [Braconnot *et al.*, 2008]).

В последние десятилетия все более значимую роль в гидрологических изменениях играет глобальное потепление [Climate Change, 2007]. Согласно климатическим моделям, в XXI в. ожидается экспоненциальный рост влажности атмосферы (в соответствии с соотношением Клаузиуса–Клапейрона) при увеличении приповерхностной температуры (см., например, [Boer, 1993; Allen, Ingram, 2002; Trenberth *et al.*, 2003; Held, Soden, 2006]). Согласно модельным расчетам, чувствительность глобальных осадков к глобальному потеплению составляет около 2 %/К [Climate Change, 2007]. При этом рост общего содержания водяного пара в атмосфере оценивается климатическими моделями примерно в 7 %/К (например, [Allen, Ingram, 2002; Held, Soden, 2006]), что находится в хорошем соответствии с законом Клаузиуса–Клапейрона.

Существенные изменения гидрологического цикла были выявлены в разных регионах Евразии, в том числе и в России. Помимо изменений средних характеристик гидрологического цикла можно ожидать значительных изменений вероятности и интенсивности экстремальных явлений в XXI в. (например, [Semenov, Bengtsson, 2002; Khon *et al.*, 2007]).

Соотношение между общим содержанием водяного пара в атмосфере и скоростью выпадения осадков дает среднее время существования водяного пара в атмосфере и составляет примерно 9 дней для современного климата (см., например, [Peixoto, Oort, 1994; Trenberth, 1998]). Согласно модельным расчетам, среднее глобальное время существования водяного пара в атмосфере может вырасти [Bosilovich *et al.*, 2005; O'Gorman, Schneider, 2008; Khon *et al.*, 2010; Schneider *et al.*, 2010], что приведет к большей инерции гидрологического цикла в более теплом климате.

В данной работе оценена чувствительность гидрологических характеристик (в том числе суммарных осадков, вертикально-осредненной удельной и относительной влажности атмосферы, времени существования водяного пара в атмосфере) к изменениям приповерхностной температуры, вызванным вариациями орбитальных параметров (соответствующих эпохе голоцена и микулинского межледникового) и увеличением концентрации парниковых газов (в соответствии со сценарием SRES-A1B).

МОДЕЛЬНЫЕ ЭКСПЕРИМЕНТЫ И ДАННЫЕ РЕКОНСТРУКЦИЙ

Для анализа использовались результаты расчетов с глобальной климатической моделью KCM (Kiel Climate Model) [Park *et al.*, 2009] – совместной моделью общей циркуляции атмосферы [ECHAM5; Roeckner *et al.*, 2003], океана и морского льда [NEMO; Madec, 2006]. Следует также отметить, что в модели KCM не используется коррекция тепловых потоков.

Анализировались результаты шести модельных экспериментов [Khon *et al.*, 2010] с использовани-

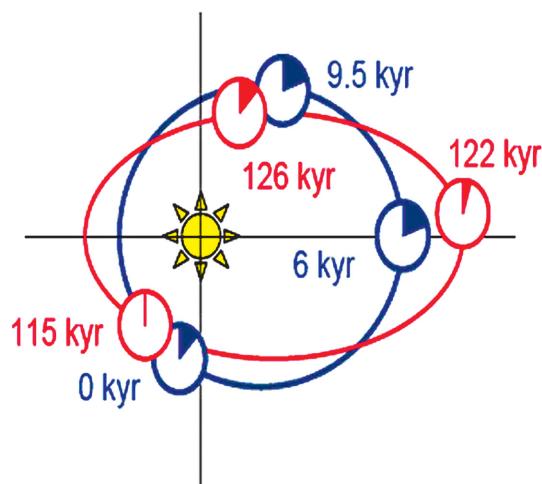


Рис. 1. Схематическое изображение положения Земли в момент весеннего равноденствия для шести численных экспериментов

ем различных фиксированных параметров земной орбиты (угол наклона эклиптики, долгота перигелия и эксцентриситет орбиты), соответствующих трем периодам эпохи голоцена (0, 6 и 9,5 тыс. лет назад) и трем периодам микулинского межледникова (115, 122 и 126 тыс. лет назад) (табл. 1). Схематическое изображение положения Земли (в момент весеннего равноденствия) для описанных периодов показано на рис. 1. Концентрация парниковых газов в этих экспериментах зафиксирована на доиндустриальном уровне.

Дополнительно анализировались результаты модельных расчетов при сценарии глобального потепления антропогенного происхождения. Для этого был выполнен численный эксперимент с увеличением концентрации парниковых газов для периода 1850–2100 гг. согласно сценарию SRES-1AB.

В качестве индикатора поверхностного водного баланса материков использовалась глобальная база данных реконструкции уровня озер для эпохи 6, 9

и 12 тыс. лет назад [Vial, Gajewski, 2001]. Подобные реконструкции могут также быть полезными для оценки способности модели воспроизводить глобальный поверхностный водный баланс над сушей для палеоклимата голоцена.

РЕКОНСТРУКЦИИ И МОДЕЛИРОВАНИЕ ВОДНОГО БАЛАНСА СУШИ ДЛЯ ОПТИМАУМА ГОЛОЦЕНА (6 ТЫС. ЛЕТ НАЗАД)

На рис. 2 приведены данные реконструкций уровня озер (а) для оптимума голоцена в сравнении с модельными расчетами (осадки минус испарение; б) (приведены изменения для оптимума голоцена по сравнению с прединдустриальным периодом). Желтым (голубым) цветом изображены более засушливые (влажные) области в период оптимума голоцена соответственно. На рис. 3 изображены изменения летних осадков для оптимумов голоцена (а) и микулинского межледникова (б) по модельным расчетам (в сравнении с прединдустриальным периодом). Как видно из рис. 3, наибольшие изменения характерны для летних (а также осенних) осадков над муссонными областями.

Модель качественно воспроизводит более влажные условия для северной части Африки и Индии, связанные с интенсификацией афро-азиатского муссона в период оптимума голоцена (см. рис. 2). Модель также адекватно воспроизводит более засушливые условия над северной частью Северной Америки (по сравнению с прединдустриальным периодом), которые, по всей видимости, связаны с увеличением инсоляции и смещением к северу траекторий штормтреков [Harrison, 1989]. Однако существуют противоречия в тенденциях изменения водного баланса, выявленных по данным реконструкции и по модельным

Таблица 1. Описание численных экспериментов с климатической моделью КСМ

Экperi- мент	Годы, тыс. лет назад	Геологическое название	Параметры земной орбиты			Концентрация CO ₂ , ppm
			Эксцентриситет, °	Наклон оси, °	Прецессия, ω-180°	
H26	126	Микулинское межледниково	0,0397	23,9	291	286,2
H22	122		0,0407	23,2	356	286,2
H15	115		0,0414	22,4	111	286,2
H9K	9	Голоцен	0,0194	24,2	303	286,2
H6K	6		0,0187	24,1	1	286,2
H0K	0		0,0167	23,4	102	286,2
A1B	1850–2100	XIX–XXI вв.	0,0167	23,4	102	SRES-A1B

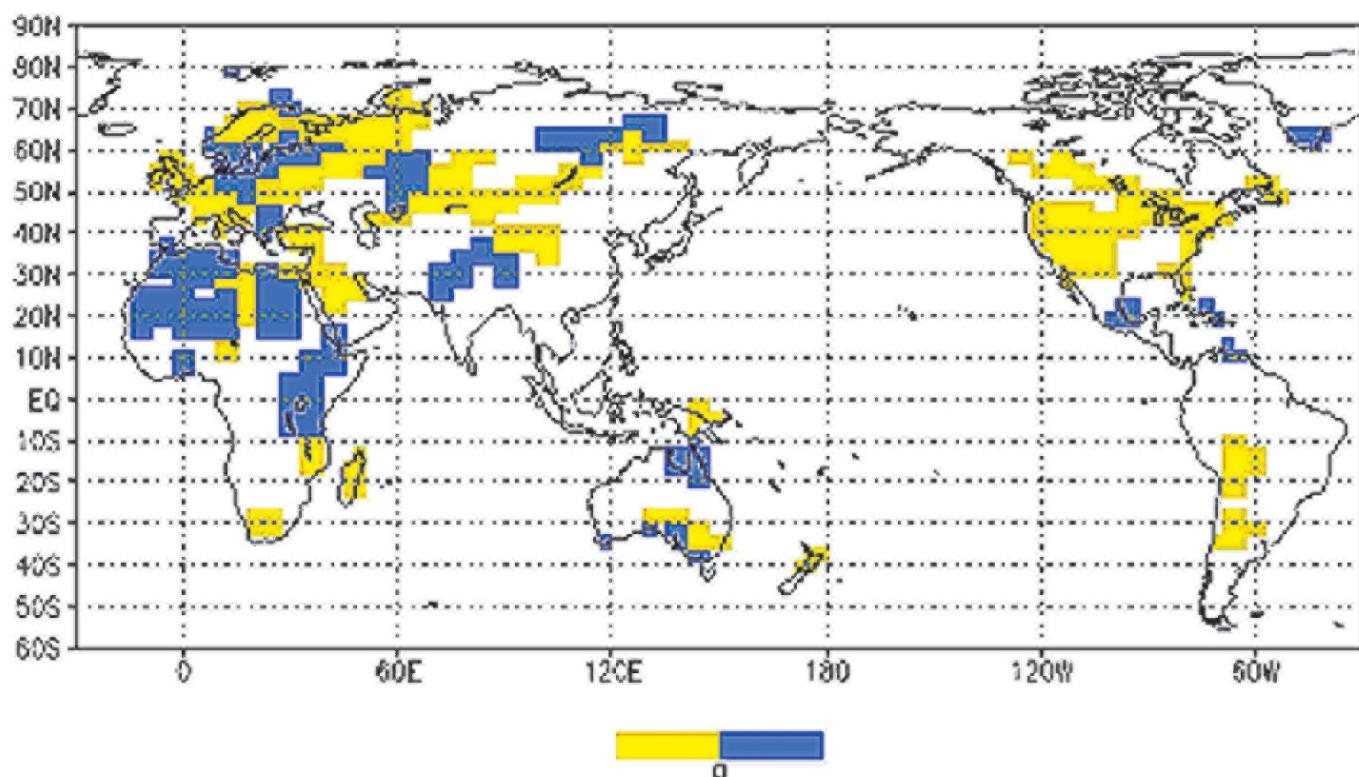
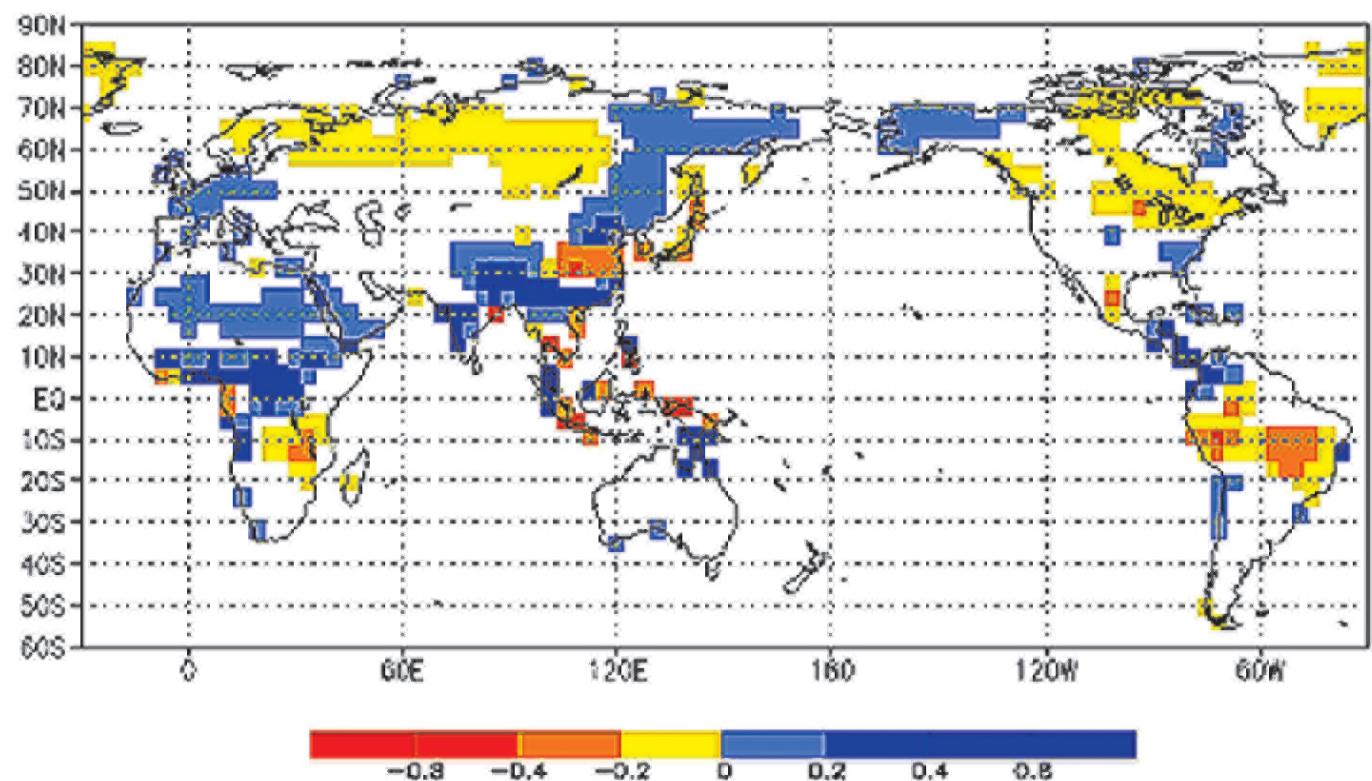
a*б*

Рис. 2. Реконструкции уровня озер для оптимума голоцена (6 тыс. лет назад) (а) в сопоставлении со среднегодовыми значениями осадков минус испарение ($P-E$) по расчетам с климатической моделью KCM (б). Желтым (голубым) цветом обозначены области с более засушливым (влажным) климатом в оптимуме голоцена (по сравнению с доиндустриальным уровнем). Модельные оценки значимы на уровне 10 %

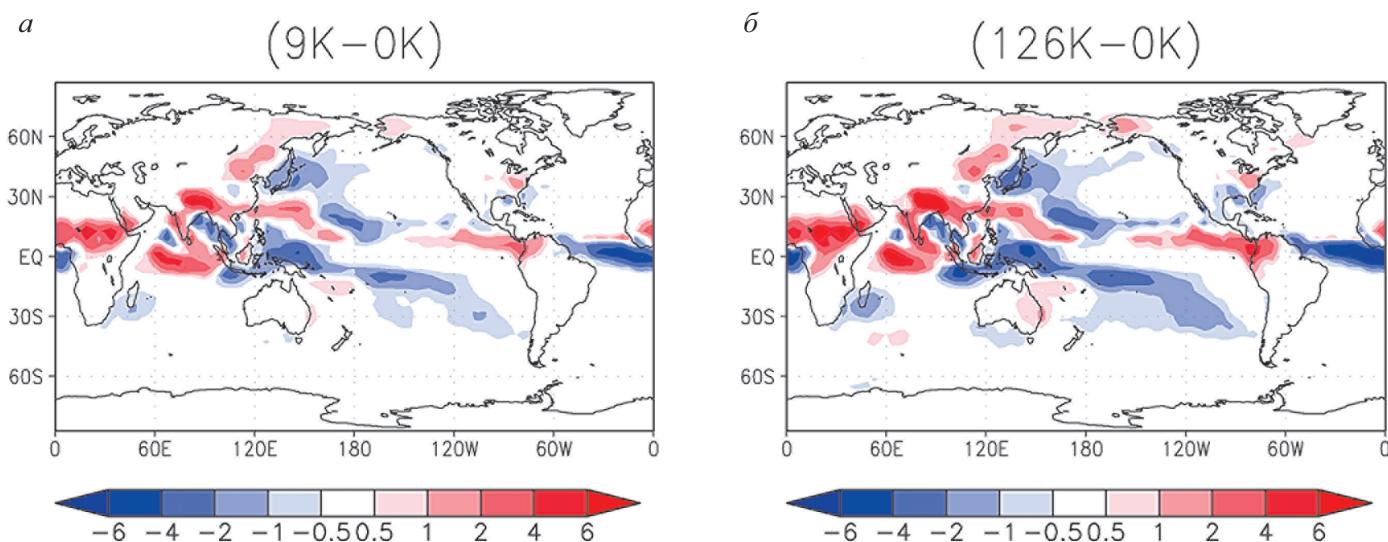


Рис. 3. Изменения (в сравнении с прединдустриальным периодом) летних осадков для оптимумов голоцена (а) и микулинского межледникового (б) по расчетам с климатической моделью KCM

расчетам для регионов Европы и юго-западной части Северной Америки.

ВЛИЯНИЕ ОРБИТАЛЬНОГО ФОРСИНГА НА СОДЕРЖАНИЕ ВОДЯНОГО ПАРА В АТМОСФЕРЕ

Данные наблюдений за последние десятилетия показывают, что скорость изменения суммарной (вертикально-интегрированной) влажности атмосферы (количество осажденной воды) соответствует темпам изменения влажности насыщенного пара у поверхности [Trenberth *et al.*, 2005]. Это свидетельствует о слабой температурной зависимости вертикально-интегрированной относительной влажности U , определяемой как отношение между количеством осажденной воды W и вертикально-осредненной влажности насыщенного водяного пара W^* . Таким образом, вертикально-осредненная влажность насыщенного водяного пара W^* зависит только от изменений приповерхностной температуры воздуха T в соответствии с уравнением Клаузиуса–Клапейрона:

$$\frac{d \ln W^*}{dT} = \frac{dW}{WdT} - \frac{dU}{UdT} = \frac{L}{R_v T^2}, \quad (1)$$

где R_v – удельная газовая постоянная для воздуха.

Изменения логарифма удельной (W) и относительной (U) влажности атмосферы в зависимости от изменений приповерхностной температуры воздуха показаны на рис. 4 для Северного полушария. Для летних

условий модельные расчеты демонстрируют сильную экспоненциальную зависимость между содержанием водяного пара и приповерхностной температурой со скоростью прироста около 9 %/К, которая на 2 %/К превышает аналогичный рост вследствие глобального потепления (рис. 4, а). Противоположная тенденция (с меньшей значимостью) выявлена для зимних условий (рис. 4, б). В соответствии с соотношением Клаузиуса–Клапейрона (1), такое значительное отклонение от типичных (для нижней тропосферы) значений (6,5–7 %/К) может быть объяснено соответствующими изменениями (вертикально-интегрированной) относительной влажности.

При сценарии глобального потепления вертикально-интегрированная относительная влажность практически постоянна с небольшой тенденцией к уменьшению в зависимости от приповерхностной температуры воздуха (от -0,2 %/К летом до -0,5 %/К зимой), в то время как потепление, вызванное орбитальным форсингом, приводит к увеличению относительной влажности воздуха (со скоростью около 1,7 %/К) для летних условий (рис. 4, в).

СРЕДНЕЕ ГЛОБАЛЬНОЕ ВРЕМЯ СУЩЕСТВОВАНИЯ ВОДЯНОГО ПАРА В АТМОСФЕРЕ

Среднее глобальное время существования водяного пара в атмосфере можно оценить отношением между общим содержанием водяного пара в атмосфере и скоростью выпадения осадков (см. например, [Trenberth, 1998, а, б; Schneider *et al.*, 2010].

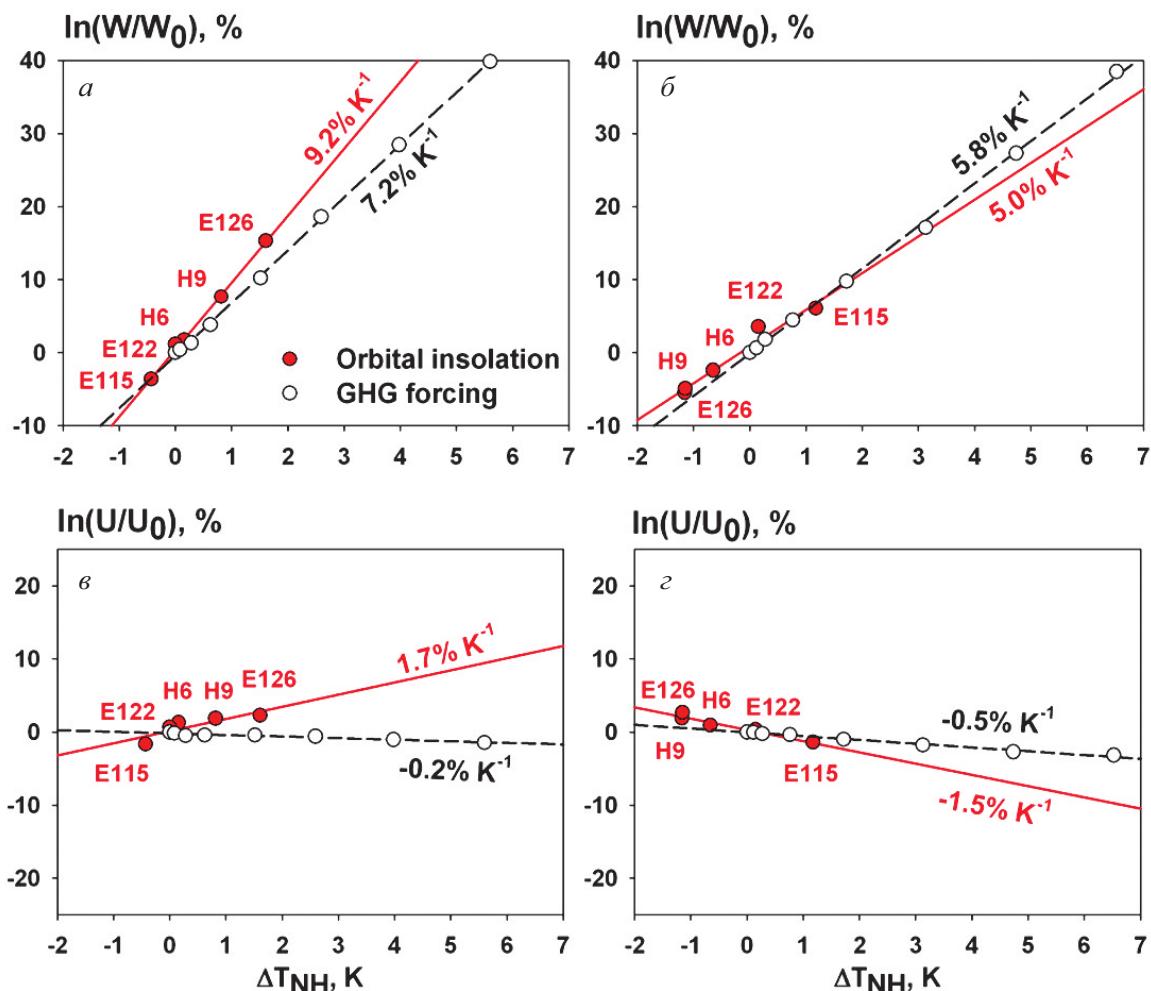


Рис. 4. Изменения натурального логарифма содержания водяного пара в атмосфере Северного полушария (а, б) и вертикально-осредненная относительная влажность (в, г) в зависимости от изменений приповерхностной температуры Северного полушария летом (а, в) и зимой (б, г) по расчетам с моделью KCM при изменении орбитальных параметров и при глобальном потеплении

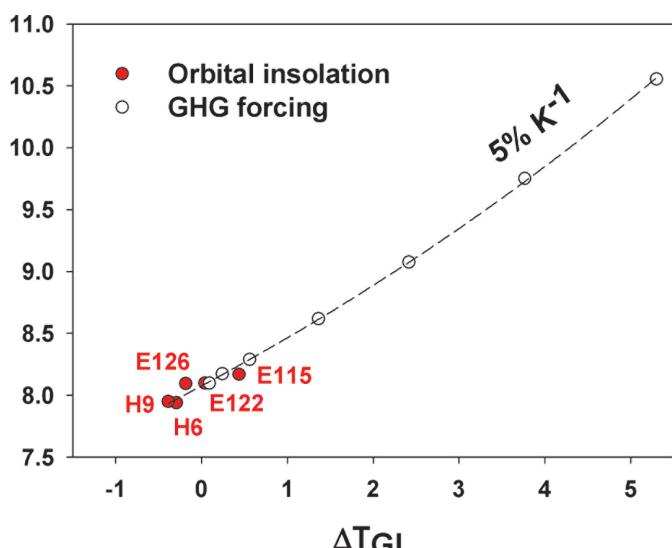


Рис. 5. Среднее глобальное время существования водяного пара в атмосфере в зависимости от изменений приповерхностной температуры по расчетам с моделью KCM при изменении орбитальных параметров и при глобальном потеплении

Для современного климата модель реалистично воспроизводит среднее глобальное время существования водяного пара в атмосфере (не показано). Сравнение тенденций изменений содержания водяного пара W и осадков P позволяют оценить чувствительность среднего времени пребывания водяного пара в атмосфере на изменение приповерхностной температуры T в 1 К:

$$\frac{d(W/P)}{(W/P)dT} = \frac{d \ln(W/P)}{dT} = \frac{dW}{WdT} - \frac{dP}{PdT}.$$

Согласно модельным расчетам, скорость прироста среднегодового глобального содержания водяного пара и осадков оценивается в 7 и 2 %/К, соответственно. Это предполагает 5%-е увеличение полного цикла обновления атмосферной влаги на 1 К приповерхностного потепления. При данных темпах прироста, к концу XXI в. время обновления водяного пара в атмосфере может увеличиться с 9 до 11 дней (рис. 5).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В статье проведен анализ чувствительности характеристик гидрологического цикла к изменению приповерхностного температурного режима, обусловленного орбитальным форсингом (циклами Миланковича), а также антропогенным увеличением концентрации парниковых газов в атмосфере. Акцент сделан на сравнении теплых палеоклиматов (голоцен и микулинского межледниковья) и ожидаемого потепления антропогенного происхождения.

Анализ глобальной базы данных по палеореконструкциям уровней озер свидетельствует о хорошем соответствии модельных расчетов и палеоданных. При этом модельные расчеты реалистично воспроизводят основные гидрологические особенности двух последних теплых палеоклиматов, таких как интенсификация афро-азиатского муссона в оптимуме голоцена и микулинского межледниковья.

Согласно модельным расчетам, потепление в оптимуме голоцена и микулинского межледниковья должно приводить к увеличению сезонности обмена водяного пара между Северным и Южным полушариями, с наибольшим увеличением притока водяного пара в летнее Северное полушарие. В результате скорость роста водяного пара в Северном полушарии оценивается выше летом ($9\% K^{-1}$) и ниже зимой ($5\% K^{-1}$) при изменении параметров земной орбиты, соответствующих эпохе голоцена и микулинского межледниковья (по сравнению со сценарием глобального потепления).

Модельные расчеты с изменением концентрации антропогенных парниковых газов показывают увеличение среднего глобального времени существования водяного пара в атмосфере (с 9 дней до 11 дней к концу ХХI в.).

Данная работа выполнена при поддержке Программы Президиума РАН № 4 (проект 3.12).

ЛИТЕРАТУРА

- Allen M., Ingram W. Constraints on future changes in climate and the hydrologic cycle // Nature. 2002. V. 419. P. 224–232.
- Boer G. Climate change and the regulation of the surface moisture and energy budgets // Climate Dynamics. 1993. V. 8. P. 225–239.
- Bosilovich M., Schubert S., Walker G. Global changes of the water cycle intensity // Journ. of Climate. 2005. V. 18. P. 1591–1608.
- Braconnot P., Marzin C., Gregoire L., Mosquet E., Marti O. Monsoon response to changes in Earth's orbital parameters: comparisons between simulations of the Eemian and of the Holocene // Climate of the Past. 2008. N 4. P. 281–294.
- Chen T.-C., Yan M., Pfaendtner J., Sud Y. Annual variation of the global precipitable water and its maintenance: Observation and climate-simulation // Tellus. 1996. V. 48A. N 1. P. 1–16.

Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change / Eds: S. Solomon et al. Cambridge: Cambridge Univ. Press, 2007. 996 p.

Fleitmann D., Burns S., Neff U., Mangini A., Matter A. Changing moisture sources over the last 330.000 years in Northern Oman from fluid-inclusion evidence in speleothems // Quaternary Research. 2003. V. 60. P. 223–232.

Harrison S.P. Lake levels and climatic change in eastern North America // Climate Dynamics. 1989. N 3. P. 157–167.

Held I., Soden B. Robust response of the hydrological cycle to global warming // Journ. of Climate. 2006. V. 19. P. 5686–5699.

Khon V., Mokhov I., Roeckner E., Semenov V. Regional changes of precipitation characteristics in Northern Eurasia from simulations with global climate model // Global and Planetary Change. 2007. V. 57. P. 118–123.

Khon V.C., Park W., Latif M., Mokhov I.I., Schneider B. Response of the hydrological cycle to orbital and greenhouse gas forcing // Geophys. Research Letters. 2010. V. 37. L19705, doi: 10.1029/2010GL044377.

Madec G. NEMO reference manual, ocean dynamics component: NEMO-OPA. Preliminary version. Note Pole Model. 27. Paris: Institute Pierre-Simon Laplace, 2006.

O'Gorman P., Schneider T. The hydrological cycle over a wide range of climates simulated with an idealized GCM // Journ. of Climate. 2008. V. 21. P. 3815–3832.

Park W., Keenlyside N., Latif M., Stroeh A., Redler R., Roeckner E., Madec G. Tropical Pacific climate and its response to global warming in the Kiel Climate Model // Journ. of Climate. 2009. V. 22. P. 71–92.

Peixoto J., Oort A. Physics of Climate. American Institute of Physics, 1992. 520 p.

Peixoto J., Oort A. The climatology of the relative humidity in the atmosphere // Journ. of Climate. 1996. N 9. P. 3443–3463.

Richter I., Xie S.-P. Muted precipitation increase in global warming simulations: A surface evaporation perspective // Journ. of Geophys. Research. 2008. V. 113. D24118, doi:10.1029/2008JD010561.

Roeckner E. et al. The atmospheric general circulation model ECHAM 5. Pt. I: Model description, Rep. 349. Max Planck Institute for Meteorology. Hamburg, Germany, 2003.

Schneider T., O'Gorman P., Levine X. Water vapor and the dynamics of climate changes // Review of Geophysics. 2010. doi:10.1029/2009RG000302.

Semenov V.A., Bengtsson L. Secular trends in daily precipitation characteristics: greenhouse gas simulation with a coupled AOGCM // Climate Dynamics. 2002. V. 19. P. 123–140. doi:10.1007/s00382-001-0218-4.

Trenberth K. Climate diagnostics from global analyses: Conservation of mass in ECMWF analyses // Journ. of Climate. 1991. N 4. P. 707–722.

Trenberth K. Atmospheric moisture recycling: Role of advection and local evaporation // Journ. of Climate. 1998a. N 12. P. 1368–1381.

Trenberth K. Atmospheric moisture residence times and cycling: Implications for rainfall rates and climate change // Climatic Change. 1998b. V. 39. P. 667–694.

- Trenberth K., Dai A., Rasmussen R., Parson D. The changing character of precipitation // Bull. Amer. Meteor. Society. 2003. V. 84. P. 1205–1217.
- Trenberth K., Fasullo J., Smith L. Trends and variability in column-integrated atmospheric water vapor // Climate Dynamics. 2005. V. 24. P. 741–758.
- Viau A., Gajewski K. Holocene variations in the global hydrological cycle quantified by objective gridding of lake level databases // Journ. of Geophys. Research. 2001. V. 106 (D23). P. 31703–31716.
- Wentz F., Schabel M. Precise climate monitoring using complementary satellite data sets // Nature. 2000. V. 403. P. 414–416.

СОДЕРЖАНИЕ

<i>Ю.Г. Гатинский, Д.В. Рундквист, Г.Л. Владова, Т.В. Прохорова</i> СЕЙСМО-ГЕОДИНАМИЧЕСКИЙ МОНИТОРИНГ ГЛАВНЕЙШИХ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ ОБЪЕКТОВ РОССИИ И БЛИЖНЕГО ЗАРУБЕЖЬЯ	13
<i>В.И. Осипов, Н.И. Фролова, С.П. Сущев, В.И. Ларионов</i> ОЦЕНКА СЕЙСМИЧЕСКОГО И ПРИРОДНОГО РИСКА ДЛЯ НАСЕЛЕНИЯ И ТЕРРИТОРИЙ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ	28
<i>В.И. Величкин, Б.П. Власов, М.В. Шумилин</i> ОСНОВНЫЕ ПРОМЫШЛЕННО-ГЕНЕТИЧЕСКИЕ ТИПЫ УРАНОВЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ БЫВШЕГО СССР И РОССИИ	49
<i>С.А. Дмитриев, В.И. Величкин, Б.И. Омельяненко</i> ОБЕСПЕЧЕНИЕ БЕЗОПАСНОЙ ИЗОЛЯЦИИ ЖИДКИХ ОТХОДОВ НИЗКОГО И СРЕДНЕГО УРОВней РАДИОАКТИВНОСТИ	64
<i>В.И. Величкин, В.И. Мальковский, Н.Н. Тарасов, Ю.П. Диков</i> АНАЛИЗ УСЛОВИЙ МИГРАЦИИ РАДИОНУКЛИДОВ В ГЕОЛОГИЧЕСКОЙ СРЕДЕ В РАЙОНЕ ОЗЕРА КАРАЧАЙ (ЧЕЛЯБИНСКАЯ ОБЛАСТЬ)	77
<i>Б.И. Омельяненко, В.И. Величкин, С.В. Юдинцев</i> ПОВЕДЕНИЕ АКТИНИДОВ В УСЛОВИЯХ ДОЛГОСРОЧНОГО ХРАНЕНИЯ И ЗАХОРОНЕНИЯ ОТРАБОТАННОГО ЯДЕРНОГО ТОПЛИВА	86
<i>С.В. Юдинцев, Б.И. Омельяненко</i> ГЕОХИМИЧЕСКИЕ УСЛОВИЯ ИЗОЛЯЦИИ ТЕХНЕЦИЯ	99
<i>И.Н. Солодов, А.К. Лисицын</i> ПОЛИЭЛЕМЕНТНЫЕ ЭКЗОГЕННЫЕ ЭПИГЕНЕТИЧЕСКИЕ МЕСТОРОЖДЕНИЯ УРАНА: ГЕНЕТИЧЕСКИЕ ТИПЫ И МЕТАЛЛЫ, ИЗВЛЕКАЕМЫЕ СЕРНОКИСЛОТНЫМ ПОДЗЕМНЫМ ВЫЩЕЛАЧИВАНИЕМ	109
<i>В.А. Петров, В.В. Полуэктов, Р.М. Насимов, А.А. Бурмистров, С.И. Щукин, Й. Хаммер</i> ИЗУЧЕНИЕ ПРИРОДНЫХ И ТЕХНОГЕННЫХ ПРОЦЕССОВ НА УРАНОВОМ МЕСТОРОЖДЕНИИ В ГРАНИТАХ ДЛЯ ОБОСНОВАНИЯ БЕЗОПАСНОСТИ ДЛИТЕЛЬНОЙ ИЗОЛЯЦИИ ОЯТ	124
<i>В.М. Котляков, Л.Н. Васильев, М.Ю. Москалевский</i> БАЛАНС МАССЫ АНТАРКТИЧЕСКОГО ЛЁДНИКОВОГО ПОКРОВА	139

<i>Ю.Я. Мачерет, А.Ф. Глазовский, И.И. Лаврентьев</i> ВОДА В ПОЛИТЕРМИЧЕСКИХ И ТЕПЛЫХ ЛЕДНИКАХ	152
<i>В.Н. Михаленко, С.С. Кутузов, О.В. Нагорнов, С.А. Тюфлин, И.И. Лаврентьев, С.А. Марченко, В.И. Окопный</i> СТРАТИГРАФИЧЕСКОЕ СТРОЕНИЕ И ТЕМПЕРАТУРНЫЙ РЕЖИМ ФИРНОВО-ЛЕДЯНОЙ ТОЛЩИ НА ЗАПАДНОМ ПЛАТО ЭЛЬБРУСА	180
<i>Ю.П. Масуренков, А.Л. Собисевич</i> ЭЛЬБРУССКОЕ ОЛЕДЕНЕНИЕ – ИНДИКАТОР ГЕОТЕРМИЧЕСКОГО И ФЛЮИДНОГО СОСТОЯНИЯ ВУЛКАНА	189
<i>А.Н. Хименков, Г.З. Перльштейн, Д.О. Сергеев, А.Н. Власов, В.П. Мерзляков, Ю.В. Халилова</i> ГЕОЭКОЛОГИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ОЦЕНКИ РИСКА ОПАСНЫХ ПРОЦЕССОВ В КРИОЛИТОЗОНЕ	205
<i>Е.В. Коротеева, Е.И. Вейсберг, Н.Б. Куянцева, С.А. Лесина</i> ВЛИЯНИЕ КЛИМАТИЧЕСКИХ ФАКТОРОВ НА ДИНАМИКУ РАСТИТЕЛЬНОГО ПОКРОВА ВОСТОЧНЫХ ПРЕДГОРИЙ ЮЖНОГО УРАЛА	213
<i>А.Ю. Кудеярова</i> ТРАНСФОРМАЦИЯ ПРИРОДНЫХ СОРБЦИОННЫХ БАРЬЕРОВ ПРИ ЗАФОСФАЧИВАНИИ КИСЛЫХ ПОЧВ	223
<i>И.В. Галицкая, И.А. Позднякова, Л.С. Томс</i> МЕТОДОЛОГИЯ И МЕТОДИКА ПРОГНОЗА И УПРАВЛЕНИЯ ТЕХНОПРИРОДНЫМ ГЕОХИМИЧЕСКИМ РИСКОМ НА УРБАНИЗИРОВАННЫХ ТЕРРИТОРИЯХ	239
<i>Л.С. Кучмент, А.Н. Гельфан</i> СОВМЕСТНОЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ВЕРОЯТНОСТНЫХ И ДЕТЕРМИНИСТИЧЕСКИХ МЕТОДОВ ОЦЕНКИ МАШТАБОВ И РИСКА КАТАСТРОФИЧЕСКИХ НАВОДНЕНИЙ НА ОСНОВЕ ФИЗИКО-МАТЕМАТИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ ФОРМИРОВАНИЯ СТОКА	252
<i>В.В. Адушкин, П.П. Фирстов</i> ОСОБЕННОСТИ ЭКСПЛОЗИВНЫХ ПРОЦЕССОВ ВУЛКАНИЧЕСКИХ ИЗВЕРЖЕНИЙ И ИХ ПРОЯВЛЕНИЕ В ВОЛНОВЫХ ВОЗМУЩЕНИЯХ В АТМОСФЕРЕ	264
<i>А.Ю. Озеров</i> МЕХАНИЗМ ПЕРИОДИЧЕСКОГО ФОНТАНИРОВАНИЯ БАЗАЛЬТОВЫХ ВУЛКАНОВ (ПО ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫМ ИССЛЕДОВАНИЯМ И ПРИРОДНЫМ НАБЛЮДЕНИЯМ)	279
<i>О.В. Руденко, А.Л. Собисевич, Л.Е. Собисевич</i> О ФИЗИКЕ АКУСТИЧЕСКИХ НЕЛИНЕЙНОСТЕЙ И МЕДЛЕННЫХ ВОЛНАХ В ГРАНУЛИРОВАННОЙ ФЛЮИДОНАСЫЩЕННОЙ СРЕДЕ	299
<i>В.Н. Николаевский</i> ОЧАГ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЯ – СОБЫТИЯ И ПРЕДВЕСТИКИ УДАРА	316
<i>Б.В. Левин, Г.В. Шевченко, В.М. Кайстренко, Т.Н. Ивельская, Т.К. Пинегина, Н.Г. Разжигаева</i> ПРОБЛЕМА ЦУНАМИ: СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ И ПЕРСПЕКТИВЫ (ДАЛЬНЕВОСТОЧНЫЙ АСПЕКТ)	332
<i>В.А. Семенов, И.И. Мохов, М. Латиф</i> МОДЕЛИРОВАНИЕ КЛИМАТИЧЕСКИХ ИЗМЕНЕНИЙ В РЕГИОНАХ СЕВЕРНОЙ ЕВРАЗИИ ЗА ПОСЛЕДНИЕ ДЕСЯТИЛЕТИЯ	355

<i>Ю.Н. Авсюк, А.Л. Собисевич</i>	
ПРИЛИВНАЯ ЭВОЛЮЦИЯ СИСТЕМЫ ЗЕМЛЯ – ЛУНА – СОЛНЦЕ	
И ГЕОДИНАМИЧЕСКАЯ АКТИВНОСТЬ ЗЕМЛИ	373
<i>В.Ч. Хон, И.И. Мохов</i>	
ЧУВСТВИТЕЛЬНОСТЬ ГИДРОЛОГИЧЕСКОГО ЦИКЛА К ИЗМЕНЕНИЮ ОРБИТАЛЬНЫХ ПАРАМЕТРОВ	
И КОНЦЕНТРАЦИИ АНТРОПОГЕННЫХ ПАРНИКОВЫХ ГАЗОВ	392
<i>В.М. Григорьев, Л.В. Ермакова, А.В. Мордвинов, Ю.А. Наговицын, А.Г. Тлатов,</i>	
<i>В.Г. Иванов, Е.В. Милецкий, Е.Ю. Наговицына, А.И. Хлыстова, С.А. Язев</i>	
ВОЗНИКНОВЕНИЕ АКТИВНЫХ ОБЛАСТЕЙ НА СОЛНЦЕ, ИЗМЕНЕНИЯ ЕГО ГЛОБАЛЬНОГО МАГНИТНОГО ПОЛЯ	
В 11-ЛЕТНЕМ ЦИКЛЕ И НА ДЛИТЕЛЬНОЙ ШКАЛЕ ВРЕМЕНИ	399
<i>С.И. Сороко, В.П. Рожков, Е.Г. Сергеева, С.С. Бекшаев, С.С. Андреева, И.В. Николаев</i>	
ОСОБЕННОСТИ МОРФОФУНКЦИОНАЛЬНОГО РАЗВИТИЯ ЦЕНТРАЛЬНОЙ НЕРВНОЙ СИСТЕМЫ	
И ГЕМОДИНАМИКИ МОЗГА У ДЕТЕЙ И ПОДРОСТКОВ	
В УСЛОВИЯХ ЕВРОПЕЙСКОГО И ДАЛЬНЕВОСТОЧНОГО СЕВЕРА	413

Научное издание

ЭКСТРЕМАЛЬНЫЕ ПРИРОДНЫЕ ЯВЛЕНИЯ И КАТАСТРОФЫ

В 2 томах

Том 2

ГЕОЛОГИЯ УРАНА, ГЕОЭКОЛОГИЯ, ГЛЯЦИОЛОГИЯ

*Печатается по решению Научного совета Программы
фундаментальных исследований президиума РАН № 4*

Ответственный составитель д.ф.-м.н. Собисевич Алексей Леонидович

Технический редактор В.И. Горбенко
Компьютерная верстка К.А. Мордвинцев
Корректор С.Б. Суслова

Подписано в печать 05.09.11. Формат 60×90/8
Гарнитура Таймс. Бумага мелованная. Печать офсетная
Усл. печ. л. 54. Тираж 200 экз.

ИФЗ им. О.Ю. Шмидта РАН
123995 ГСП-5, Д-242, Москва, ул. Б. Грузинская, 10

Отпечатано в типографии издательства «ПРОБЕЛ 2000»
109544 Москва, ул. Рабочая, 91