

Session III. CAUSES AND EFFECTS OF CENTURIES-OLD DYNAMICS OF CLIMATIC CONDITIONS

Секция III. ПРИЧИНЫ И СЛЕДСТВИЯ ВЕКОВОЙ ДИНАМИКИ КЛИМАТИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ

DENDROCLIMATIC RESEARCH IN THE ECOTONE ZONE: OF FOREST AND STEPPE OF THE SELENGA RIVER TRANSBOUNDARY BASIN

ДЕНДРОКЛИМАТИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ В ЭКОТОННОЙ ЗОНЕ: ЛЕСА И СТЕПИ ТРАНСГРАНИЧНОГО БАСЕЙНА РЕКИ СЕЛЕНГА

S.G. Andreev

Baikal Institute of Nature Management SB RAS, Ulan-Ude, Russia, baikal.andreev@gmail.com

Peculiarities of radial growth dynamics of pine under arid regime in the ecotone zone of forest and steppe of the Selenga river transboundary basin as well as the possibility of using the tree-ring chronologies are considered in the paper in order to reveal regularities of moistening variations in Western Trans-Baikal region. All the chronologies have revealed the availability of a strong regional climatic signal caused by precipitation fluctuations for one hydrological year. The correlation analysis has shown that the tree growth dynamics records variations of integral indices of water regime during many years in this region; it means dynamics of the Selenga river and the Baikal Lake level variations. This allowed to obtain reliable statistical models for reconstructing water regime indices according to the tree-ring chronologies as well as to analyze a cyclic structure of moistening variations. The revealed large cyclicities in variations of water regime characteristics allow building statistical model for predicting the Baikal level dynamics.

Определенную роль в решении проблем глобальных и региональных изменений климата и условий среды играют дендроклиматические исследования. Наиболее перспективны дендроклиматические исследования в районах с экстремальными условиями произрастания деревьев, где один из факторов (температура или осадки) постоянно лимитирует радиальный прирост деревьев (Fritts, 1976). В условиях недостаточного увлажнения (степная зона, зона полупустыни) изменчивость радиального прироста деревьев тесно связана с колебаниями осадков. В южных степных районах Сибири, в регионе Центральной Азии, в целом, где колебания режима увлажнения во многом определяют первичную продуктивность степных экосистем, дендроклиматических работ по реконструкции длительных изменений увлажнения на данный момент недостаточно. Создание сети станций дендроклиматического мониторинга в экотонной зоне леса и степи Западного Забайкалья (на территории Бурятии) и получение длительных древесно-кольцевых хронологий позволило такую работу осуществить (Андреев и др., 1999). Представляет интерес расширение и объединение исследований по всему бассейну р. Селенга, включая территорию Монголии.

На территории Забайкалья, в Российской части бассейна р. Селенга объектом для дендрохронологического анализа стали древесные керны сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.). Сбор, обработка и анализ дендрохронологического материала осуществлялась по общепринятой методике (Fritts, 1976; Cook and Kairiukstis, 1990). Получены и исследовались 25 длительных древесно-кольцевых хронологий (ДКХ) по 367 живым деревьям. Эти генерализированные хронологии имеют высокие значения коэффициента чувствительности (0.30) и стандартного отклонения, что свидетельствует: во-первых, что в них содержится сильный климатический сигнал и они пригодны для количественной реконструкции климатических изменений; во-вторых, в хронологиях присутствует значительная региональная составляющая, общая для всей степной зоны. На основе высокой корреляции (в среднем, $R=0,60$) между генерализованными хронологиями была проведена процедура объединения в одну региональную по Западному Забайкалью, которая

использовалась для анализа климатических функций отклика и поиска статистических моделей реконструкции.

Для выделения климатического сигнала в изменчивости индивидуальных и обобщенных древесно-кольцевых хронологий использовался метод главных компонент. Он позволил разложить общую изменчивость на составляющие, которые взаимно не коррелированы, и оценить вклад каждой из них. Анализ показывает, что первые три главные компоненты в сумме объясняют более 90% общей дисперсии ряда, при этом на первую компоненту приходится около 65% дисперсии. Именно она определяется изменчивостью климатических переменных, и, следовательно, является основным объектом для дендроклиматического анализа.

Для детальной оценки влияния температуры и осадков на изменчивость прироста деревьев рассматривалась корреляция выделенной первой компоненты с температурой и осадками за десятидневки для периода наблюдений с 1922 по 1990 годы. Выяснилось, что на изменчивость прироста деревьев в исследуемом районе наибольшее влияние оказывают осадки, прямое влияние температуры не существенно, косвенное, очевидно, проявляется через увеличение транспирации и увеличение водного дефицита. Учитывая особенности сезонного роста деревьев в условиях постоянного водного дефицита (в степной зоне или зоне полупустыни), можно предполагать, что важнейшим фактором погодичной изменчивости прироста будет изменение влажности почвы, которая определяется не только текущим поступлением осадков, но и приходом влаги за осенний период предшествующего года и за счет таяния зимних осадков (Fritts, 1976). Подтверждением является сильная корреляционная связь прироста деревьев (1-компоненты) с осадками за период с сентября предшествующего года по август текущего. Осадки именно этого периода в основном определяют начальное и текущее влагосодержание в почве.

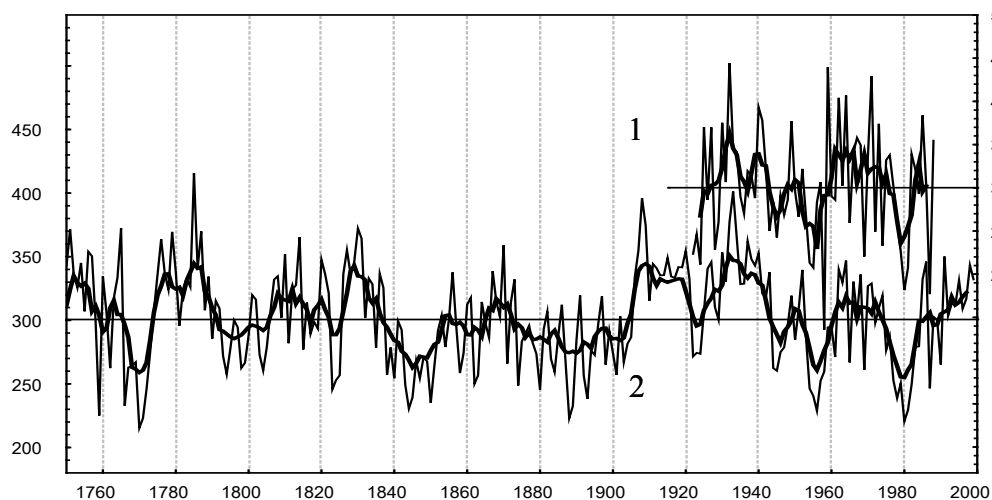


Рис. 1. Распределение осадков по годам:

1 — наблюдаемые осадки (по данным метеостанции Улан-Удэ), 2 — реконструированные осадки (по региональной древесно-кольцевой хронологии); по оси ординат — суммы осадков, мм; по оси абсцисс — годы; жирные кривые — 5-летнее сглаживание

Высокие и значимые связи между изменчивостью прироста деревьев и осадками за период с сентября предшествующего по август текущего года позволили получить количественную модель реконструкции осадков по дендрохронологическим данным (рис. 1). По синхронности (70%), критерию Фишера ($39.72_{1,65}$, $p < 0.001$) и корреляции ($R^2 = 0.38$) качество модели реконструкции осадков можно считать удовлетворительным.

Надежно регистрируя ежегодные колебания осадков в степной зоне Забайкалья, деревья отражают в длительных изменениях прироста характеристики водного режима (сток рек и уровень Байкала) (Андреев и др., 1999). Наиболее интересна выявленная связь между многолетними изменениями прироста деревьев и колебаниями уровня оз. Байкал. Модели

реконструкции объясняют 70–75% изменчивости осадков и стока р. Селенги и 50% изменчивости уровня оз. Байкал. Известно, что сток р. Селенги составляет 50–60% прихода воды в озеро, поэтому связь прироста деревьев и стока предопределила и значимую связь прироста и уровня оз. Байкал. Полученные автором данные основаны на причинно-следственной цепи событий: изменчивость осадков (и, как следствие, изменчивость прироста деревьев) — изменчивость стока — изменчивость уровня озера. То есть деревья являются надежными регистраторами изменчивости исходного процесса (прихода осадков), который в конечном итоге приводит к колебаниям уровня озера.

Данные Фурье-анализа, реконструированных по древесно-кольцевой хронологии динамики осадков и уровня озера, позволяют заключить, что в последние 250 лет структура циклических колебаний озера не претерпела существенных изменений. Преобладают колебания в 27–36 и 10–11 лет. Эти данные подтверждаются результатами исследований в Северной и Центральной Монголии (Jacoby et al., 1999). Таким образом, предполагается, что существует хорошая корреляция между дендрохронологическими рядами Западного Забайкалья и рядами, полученными на территории Монголии. Представляет интерес провести совместные дендроклиматические исследования на всей трансграничной территории бассейна р. Селенга.

ЛИТЕРАТУРА

Андреев С.Г., Ваганов Е.А., Наурзбаев М.М., Тулохонов А.К. Регистрация годичными кольцами сосны многолетних колебаний атмосферных осадков, стока реки Селенга и уровня озера Байкал // ДАН. 1999. Т. 368, № 3. С. 400–403.

Fritts H.C. Tree rings and climate. Academic Press: London, New York, San Francisco, 1976.

Cook E.R. and Kairiukstis L.A. (eds.). Methods of Dendrochronology. Applications in the Environmental Sciences. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, Boston, London, 1990.

Jacoby G., D'Arrigo R., Pederson N., Buckley B., Dugarjav C. & Mijiddorj. Temperature and precipitation in Mongolia based on dendroclimatic investigations // JAWA Journal. 1999. V. 20, N 3. P. 339–350.

DENDROCHRONOLOGICAL STUDIES IN MONGOLIA

ДЕНДРОХРОНОЛОГИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ В МОНГОЛИИ

N. Baatarbileg

Department of Forest Sciences, Mongolian State University, Ulaanbaatar, Mongolia

Forest related studies in Mongolia had been started by the Joint Mongolian-Russian complex biological Expedition. This expedition had studied geographical distribution of forests, the main forest types, peculiarities of natural reforestation, age fixed structure of forest insects, and water and protective functions of forests since 1970s. The results were shown in the four-volume monograph “Mongolian Forests” and other published works.

The study of annual ring widths was published by Babos (1986) based on three 85–120 years old *Quercus cerris* trees, three 105–116 years old *Betula platyphylla* trees, one 91 years old *Carpinus betulus* tree, three 172–183 years old *Larix sibirica* trees, and three 135–208 year old *Pinus sylvestris* trees originated from different sites in Hungary and Mongolia. These annual ring widths were compared with cycles of sunspot activity; however process of the tree species were not unequivocally provable.

The first dendrochronological study was started by the Joint Mongolian-Russian complex biological expedition in Baidrag and Tuin basins on the slopes of Khangai in 1990. The obtained tree rings data from this region during this study allowed reconstructing droughts during the last 150 years period (Popova, 1995). The selected group of the five climate sensitive tree ring chronologies from trees (*Larix sibirica* L.) are used to reconstruct the summer drought index (according to the De Martonn) (DI) for the last 150 years period for the south-western slope of Khangai mountains. Analysis of tree growth and

summer monthly climate variables indicate that July DI is the most robust climate signal evident in these chronologies. Series from the tree ring data were entered into stepwise multiple regression as predictors of regionally averaged July DI in the south-western slope of Khangai mountains for the interval of instrumental observation. Reconstructed DI series for June and July indicate the greatest droughts in 1900–1910 and 1930–1950 years. However, application of instrumental data is limited because of their small number and comparatively short period of observations especially in the regions of Siberia, the Middle Asia and Far East. At present the lack of this information is filled by indirect indices such as tree ring growth measurements. There were some difficulties in the tree ring structure analyses because the growth factors were not clear enough in many cases. Nevertheless, studies completed by Soviet scientists show the possibility of estimating environmental variability by means of anatomical analysis of the tree ring structure.

In 1995, geographers of the Saint-Petersburg University had investigated the Uvs Lake Basin Natural Reserve. Based on previous landscape, dendrochronological and palynological data, researchers studied processes of modern palynological spectrum formation to reconstruct current Inner Asia mountain landscape evolution since the last 1000 years (Chistiakov, 1995)

The comparison of tree ring data and increment description of the larch in the Far North (Taimyr, Siberia) and arid regions of Mongolia indicated anti-phase during a long course with minimum in the last neoglacial (1820–1850), and maximum in Mongolia during this period (Lovelius *et al.*, 1992). Moreover, analysis of Tunguska disaster (06.30.1908) was discovered on the larch growth, which had been restored to the normal tree growth. An analysis of alteration of the solar and geomagnetic activities showed their concurrence with growing of trees in Taimyr and the anti-phase in Mongolia (Lovelius *et al.*, 1992).

A tree ring study by the Mongolian-American Tree Ring Project (MATRIP) had been completed what was missing from the previous Mongolian-Russian Joint Expedition. This study has been conducted since 1995. The MATRIP studies mainly focused on the dendroclimatological investigations and developed long climatic records in Mongolia and helped to establish capabilities in Mongolia for independent tree-ring analyses. The records from old trees can provide more complete information about variations in the climate system and aid in planning for future changes or variations in climate. Many areas of Mongolia have been investigated, and tree ring samples collected. Dendroclimatic records of temperature extending back more than one thousand years and precipitation records of over 300 years have been developed. These records show that global warming is present in Mongolia and that variations in precipitation and stream flow appear to show some solar influence. The longer records produced by the MATRIP studies showed increasing temperatures over the recent century and other low frequency trends that are in agreement with other paleo-temperature records (Jacoby *et al.*, 1996; D'Arrigo *et al.*, 2000; D'Arrigo *et al.*, 2001). During this study, length of tree ring record had been increased by cross dating and including wood samples from dead relict trees. In Mt. Tarvagatai, many pieces of relict wood were collected along with cores from the old aged living Siberian pine trees. The resulting chronology extends back 262 AD and it described by D'Arrigo *et al.* (2001). After ten years, scientists and students trained by this project are now engaged in tree ring studies in various areas of Mongolia.

Pederson *et al.*, 2001 reconstructed annual (prior August–current July) precipitation and streamflow, 345 years in length (AD 1651–1995), are presented for northeastern Mongolia based on tree-ring width data. These precipitation and streamflow reconstructions account for 54% and 48% of the respective variance in instrumental data over the past 50 years. Variations in instrumental precipitation and streamflow are within the range of those reconstructed over the length of tree-ring record. However, there appear to be more frequent extended wet periods during the 20th century. Multitaper spectral analysis revealed statistically significant peaks at 10.8 and 12.8 years for the precipitation reconstruction, and at 12.8 and 20.3–23.8 years for the streamflow reconstruction. Similarly, singular spectrum analysis identified spectral modes of variation at 12 and 21 years for both series. These spectra resemble those found for tree-ring based precipitation reconstructions in central China as well as the western USA, and may reflect solar influences on the climate of Mongolia.

Davi *et al.*, 2009 used absolutely dated tree-ring-width chronologies from five sampling sites in

west-central Mongolia that were used in precipitation models, and an individual model was made using the longest of the five tree-ring records (1340–2002). The tree-ring sites are in or near the Selenge River basin, the largest river in Mongolia and a major input into Lake Baikal in Siberia. Regression models resulted in a reconstruction of streamflow that extends from 1637 to 1997 and explains 49% of the flow variation. Spectral analysis indicated significant variation in the frequencies common to Pacific Ocean variations [Pacific decadal oscillation (PDO) and ENSO] and also some quasi-solar and lunar-nodal periodicities similar to previous Mongolian hydrometeorological reconstructions in eastern Mongolia based on tree rings (Davi *et al.*, 2009).

In addition, dendroecological study in Mongolia had started in 2001 by researchers at Tree Ring Laboratory in National University of Mongolia. The very first dendro-ecological research started with forest fire. The long-term growth patterns, fire history and seasonality over the past 440 years (AD 1559–2005) is inferred from the mixed-aged Siberian larch (*Larix sibirica*) forest at the eastern shore of Lake Hövsgöl, Mongolia. The most northern Turag Valley forest had longest chronology. Trees growing in the Shagnuul, Sevsuul, Noyon, and Dalbay Valley were the shortest chronology. The largest reductions in growth occurred over most of study forest during the 1720s to 1770s, 1860s to 1890s and 1940s to 1970s. Recruitment increased overall tree density in the area sampled during this period, which suggests a state of increased competition between trees might have lead to these reductions in growth. In the last 15 to 30 years growth indices had increased throughout the study area except Turag Valley. Tree-ring analysis shows that fire frequency varies in larch stands with forest type and slope aspect. The earliest fire recorded in the scars was in 1596, while the most recent scars were dated 1997 in the all six Valley forests. Frequency of fire was high in the spring, which is due to dry conditions, and predominantly human activities. Fire seasonality analyze suggest scars located at the beginning of the earlywood shows fires occurred in late May-early June. From this set of inferences, spring fires are thus most common in our study area on these elevated dry landscape locations and in those areas where herbs and small shrubs form a loosely-compacted, ground cover layer (Oyunsanaa *et al.*, 2006). Based on these studies, the Mongolian-American Joint “Fire History and Climate Change in Mongolia” Project has started since 2009.

Since 2003, Mongolian scientists started to focus on dendro-archaeological studies. The first dendro-archaeological dating in Mongolia was the building history of two temples in the Mandal Monastery, Central Bayankhongor Province. Twenty core samples were collected from the Mandal East Temple and 25 disks from Mandal School Temple. All species of sampled woods were larch (*Larix sibirica*). The chronologies of two buildings crossdated well with a timberline larch chronology of Suulyin Bagtraa, which is located 60 km north of Mandal. The dendro-dating indicates that the Mandal East Temple was constructed after the end of the growing season of 1758 or very soon thereafter. The Mandal School Temple was built after the growing season of 1867. The former temple proved to be one of the original buildings of Mandal Monastery (Baatarbileg *et al.*, 2008). During this project, the scientists reconstructed and identified built years of several ruins of old monasteries all over Mongolia.

However, dendro-archeology had not been limited by only the tree ring. First wood anatomical identification was made on 13th century coffin wood which was found in archeological study in 2005. The grave contained a skeleton of a horse without a head, which saddled with a golden plate bow. To the right of the horse skeleton remains of a woman lay oriented to the west. The woman was very well preserved in anatomical structure. She wore a golden ring on her left-hand finger, and the inner surface of the ring was sealed with a falcon. The falcon was mentioned in the histories dating from Chinggis Khan’s Golden Horde, including historical manuscripts and legends of the 12–13th century. The grave was made of wood. The question was what kind of wood used for grave and dating tree ring. Unfortunately, tree ring of grave was too short, so we could not reconstruct the chronology. However, wood identification analysis showed clear results. We compared the wood with well-known wood of pine (*Pinus sylvestris* L.), larch (*Larix sibirica* L), fir (*Abies sibirica* Ldb), spruce (*Picea obovata* Ldb), juniper (*Juniperus sabina* L.), and birch (*Betula* spp.) in Mongolia. For double check, we compared these species with other same species or same genre that have been studied in the European countries. General macroscopic and microscopic characteristic were alike in

three-dimensional structure of wood such as transverse, tangential and radial section. The grave was made of pine (*Pinus sylvestris* L.), larch (*Larix sibirica* L.) and birch (*Betula* spp). It was surprising that area where the grave was buried has neither forests nor trees, which belong to Mongolian great steppe zone (Byambagerel et al, 2008).

Another scientific direction is dendrochemical studies using trees as biological indicators of metal pollution in the environment. Tree rings and needles of Scots pine (*Pinus sylvestris*) were analyzed for heavy metal concentration and evaluated local environmental pollution. These Scots pines were located in Ortoo-Mukhar, Batsumber region and Bogd Mountain near the capital city Ulaanbaatar in Mongolia. For the chemical analysis, we separated tree rings annually for acid digestion. The atomic absorption spectrometry (AAS) was used to examine trace elements concentration in tree rings over thirty years to assess trends of environmental change for four heavy metal ions such as cadmium (Cd), nickel (Ni), lead (Pb), and copper (Cu). Based on the concentration difference in tree rings cadmium (Cd), lead (Pb), nickel (Ni), and copper (Cu) ions in each 5-year interval since 1970 to 2004, we could compare the two sites, Ortoo Mukhar and Nukht in Bogd Mountain. Cadmium (Cd) is at a historically lower concentration than other three metal ions (Ni, Pb and Cu) within both sites in the tree rings. The main objectives of the needle chemical analyze is 1) to detect deficiencies, disturbances or imbalances in tree nutrition, 2) to provide a basis for future correlative and up-scaling studies between the needle data and other datasets, e.g. crown condition, litter fall and soil. Concentrations of metals were determined by the atomic absorption spectroscopy (Analytical Methods for Atomic Absorption Spectrophotometry, 1990) using a Perkin-Elmer 1000 fitted with a flows analysis system. Concentrations of cadmium (Cd), lead (Pb), Nickel (Ni), and copper (Co) were determined in composite sample in year of 2003, 2004 and 2005. In general, the Ortoo Mukhar site is less polluted by these four heavy metal ions, but Bogd Mountain has more pollution that illustrated by chemical analyzes, which means it has more air pollution influence in forest.

Another dendro-ecological field such as insect outbreaks had started in 2007. Tree-ring cores (samples) were collected to reconstruct frequency of insect outbreaks in the larch forest of the eastern part of Bogd Khan Mountain, Ulaanbaatar, Mongolia (Byambagerel, 2008). Using tree ring measurements, master chronologies of four conifer species were built. The response functions of *Larix sibirica*, *Pinus sibirica*, *Pinus sylvestris*, and *Picea obovata* chronologies with monthly mean temperature and monthly total precipitation for the interval from 1940 to 2000 showed that their radial growth are mainly controlled by spring precipitation and negatively affected by high summer temperatures. Comparisons of the tree ring chronologies among the four species showed growth suppressions which climate variations and the probable occurrence of insect outbreaks from 1800 to 1900. According the recorded outbreaks, Siberian moth (*Dendrolimus sibiricus* Tschetw) invasion noted in 1925–1929 and in 1955–1957, vapourer moth (*Orgyia antiqua* L.) in 1941–1944, Siberian moth, Jacobson's geometrid moth (*Erannis Jacobsoni* Djak) in 1971–1972 and Siberian moth and geometrid moths were infested in 1989 in Bogd Khan Mountain. Recently Siberian moth, vapourer moth and gypsy moth (*Ocneria dispar* L.) attacks occurred in 2000, 2003 and 2005 in this region. All these outbreaks reduced radial growth of trees, which were confirmed by this study. Moreover, we identified major disturbances which are most probably linked to insect outbreaks for the years 1902–1903, 1879–1880, 1847–1849 and 1825–1829, which could indicate a roughly 30 year frequency (Byambagerel, 2008).

All these studies showed that Mongolia is a unique and important area for dendrochronological study, which may be useful not only in the Mongolia, but also in the Asian region.

REFERENCES

- Baatarbileg N., Park W.-K., Jacoby G.C., Davi N.K. Building history of Mandal Monastery in Mongolia based on tree-ring dating // Dendrochronologia. 2008. V. 26. N 2. P. 63–69.
- Babos K. The sunspot activity cycle and the formation of the annual ring width in some wood species // Wood and Fiber. 1986. V. 18. N 1. P. 76–83.
- Byambagerel S. Reconstruction of insect outbreak frequency in Bogd Khan mountain, Mongolia, using tree ring application // News of Forest History. 2008. V. 39. P. 82–83.

Chistyakov K.V., Seliverstov Y.P., Sevastyanov D.V. (1998) Cognition of nature in central Asia: glaciers, waters, and landscapes. // *Geography and Modernity*. Saint Petersburg University Publication 8: 34–48.

D'Arrigo R., Frank D., Jacoby G., Pederson N. 2001. Spatial response to major volcanic events in or about AD 536, 934 and 1258: Frost rings and other dendrochronological evidence from Mongolia and northern Siberia // *Climatic Change* 49 (1–2): 239–246.

D'Arrigo R., Jacoby G., Frank D., Pederson N., Cook E., Buckley B., Nachin B., Mijiddorj R., Dugarjav C. 2001. 1738 years of Mongolian temperature variability inferred from a tree-ring width chronology of Siberian pine // *Geophysical Research Letters* 28 (3): 543–546.

Davi N., Jacoby G., D'Arrigo R., Baatarbileg N., Li J., Curtis A. 2009. A Tree-Ring Based Drought Index Reconstruction for Far Western Mongolia: 1565–2004 // *International Journal of Climatology*.

Jacoby G.C., D'Arrigo R.D., Davaajamts T. 1996. Mongolian tree rings and 20th century warming // *Science* 273: 771–773.

Loveliuss N.V., Davaajamts Ts., Gunin P.D. (1992) Dendrochronological indications of forest growth in Mongolia and possibilities of forecasting.

Oyunsanaa B., Bayartaa N., Baatarbileg N. (2006) Impact of fires and climate change in Northern Mongolian Forest // *Proceedings 1st North-East Asia conference on forest fire*. Krasnoyarsk. P. 111–117.

Pederson N., Jacoby G.C., D'Arrigo R.D., Cook E.R., Buckley B.M. 2001. Hydrometeorological reconstructions for northeastern Mongolia derived from tree rings: 1651–1995 // *Journal of Climate* 14: 872–881.

Popova T.V. (1985) The use of trees as chronological indicators for statistical analysis of the rate of soil formation in a floodplain // *Pochvovedenie* (1): 121–126.

ABOUT SPATIAL ORGANIZATION OF SOIL COVER OF FROST TRANSBAIKALIAN FOREST–STEPPE IN THE SOUTH OF THE VITIM TABLELAND

ПРОСТРАНСТВЕННО–ВРЕМЕННАЯ ИЗМЕНЧИВОСТЬ ПОКАЗАТЕЛЕЙ КЛИМАТА ПОЧВ МЕРЗЛОТНЫХ КАТЕН ЮГА ВИТИМСКОГО ПЛОСКОГОРЬЯ

N.B. Badmaev

Institute of General and Experimental Biology SB RAS, Ulan-Ude, Russia, nima_b@mail.ru

The measures of connection between soils and the environment at different levels of organization of soil cover of frost Transbaikalian forest-steppe are determined.

Полигон–трансект «Улхаса», который расположен на юге Витимского плоскогорья, где стыкуются Еравнинская мерзлотная лесостепная и сезонномерзлотная Удинская сухостепная котловины, является удобной моделью для оценки разнообразия почв, их свойств и режимных показателей. Здесь выделены две катены: а) лугово-степная склона южной экспозиции и б) лугово-лесная склона северной экспозиции (рис.). В состав почвенного покрова лугово-степной катены склона южной экспозиции входят дерновые мерзлотные хрящевато-щебнистые (верхняя часть склона и плакор увала) элювиального местоположения под житняково-вострецовыми сообществами, черноземы пропиточные сезонномерзлотные малогумусные скелетные средней части склона под кобрезиево-типчачовыми сообществами и черноземы криптоглееватые мерзлотные подгорного шлейфа под типчачово-полынными сообществами (Бадмаев, 2008).

Лугово-лесная катена склона северной экспозиции также включает дерновые мерзлотные остепненные хрящевато-щебнистые почвы элювиальной части рельефа под растительностью лесостепного облика (житняково-вострецовые сообщества) и сельскохозяйственными землями на месте вострецово-полевичиных степей. Другие компоненты — это дерновые мерзлотные хрящевато-щебнистые почвы трансэлювиальной части пологого склона под антропогенно-разреженным березово-лиственничным крупнотравным лесом, черноземы криптоглееватые мерзлотные суглинистые почвы верхней части склона северной экспозиции (типчачовые

сообщества) щебнисто-суглинистого делювиального шлейфа подпашней и пахотные (вострецово-полевициевые сообщества) аллювиальные темногумусовые мерзлотные суглинистые почвы на делювиально-аллювиальных гравийно-песчаных отложениях.

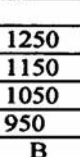
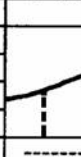
ПОЧВЫ				Гран-состав сп – супесь; лс – легкий суглинок; с – средний суглинок; А				
•••	1. АТ – аллюв. темногумус. мерзл.							
///	2. ЧК - черноземы криптог. мерзл.							
	3. Д - дерновые мерзлотные							
	4. ЧП - черноземы пропит.с/мерзл.							
РАСТИТЕЛЬНОСТЬ								
1-вострецово-полевициевые сообщества								
2-типчакковые сообщества								
3-березово-лиственный лес								
4-5-житняково-вострецовые сообщества								
6-кобрезиево-типчакковые сообщества								
7-типчакково-полюнные сообщества								
		1250						
		1150						
		1050						
		950						
		В						
								
Грансостав пород	сп-лс	лс	с	с	с	сп-лс	сп-лс	
Крутизна	< 1	1-3		< 1		5-8	< 1	
Растительность	1	2	3	4	5	6	7	
Почвы	АТ	ЧК	Д			ЧП	ЧК	
Свойства почв								
рН вод-ный	AU, AY	7,6	7,7	6,3	6,8	6,6	6,9	7,0
	B, AEL	7,9	8,6	5,8	6,5	6,7	7,1	7,3
	Bca, Bhf	9,2	8,7	6,5	6,1	6,4	8,2	9,1
С, %	AU, AY	6,9	8,8	8,1	6,3	3,4	3,4	5,4
	B, AEL	2,3	1,2	3,4	2,1	1,9	2,0	1,7
	Bca, Bhf	0,6	1,1	1,4	0,7	1,5	1,2	0,9
Гран-состав	AU, AY	38,5	38,7	33,2	26,7	25,3	24,1	27,5
	B, AEL	43,2	31,5	30,3	38,1	25,4	33,2	40,3
	Bca, Bhf	53,6	61,8	42,6	31,0	32,5	40,6	54,6
ЕКО	AU, AY	32,4	42,3	22,9	20,9	22,7	16,5	21,6
	B, AEL	36,6	19,7	20,6	25,3	19,8	24,3	16,8
	Bca, Bhf	24,5	18,2	27,8	21,2	30,6	25,2	12,3
Запас влаги при НВ, мм. Степень влагоемкости		238 / средняя-высокая	387 / очень высокая	304 / очень высокая	190 / низкая-средняя	186 / низкая-средняя	163 / низкая	172 / средняя
Теплосодержание, МДж/ м2. Степень теплоаккумуляции		10 / очень слабая	20 / слабая-средняя	15 / слабая	18 / слабая	18 / слабая	40 / высокая	23 / средняя

Рис. Пространственная организация почвенно-растительного покрова ПТ «Улхаса»

Отличительной чертой изученных почв является ярко выраженный криогенез, проявляющийся в мозаичности цветовой гаммы средней части профиля, языковатости и карманности гумусового горизонта. Как глубина в профиле, так и диаметр сети МБТ на дневной поверхности зависят от особенностей мезоклимата того местообитания, где формируются почвы. Сцементированность мерзлотой и глубина максимального протаивания также зависят от положения почвы в рельефе, хотя грубодисперсность почв и пород в некоторой степени нивелирует различие почв по этим криогенным показателям.

Дерновые мерзлотные почвы преимущественно занимают автономные позиции верхней трети мезоформ рельефа и всю среднюю часть склона северной экспозиции. Однако, как показали данные почвенной съемки, экологическая амплитуда позволяет им широко заходить на склоны и других экспозиций, исключая только южные.

В местообитаниях, лишенных лесной растительности, эти почвы в настоящее время претерпевают остепнение. Процессы остепнения морфологически проявляются в исчезновении горизонта подстилки, усилении прокрашенности горизонта АУ и увеличении частоты сети современных неглубоких трещин. Если сравнить почвы разных склонов, то следует отметить, что на юго-западном склоне мощность горизонтов АУ+АЕЛ дерновых мерзлотных почв больше, чем в этих же почвах, формирующихся в автономных условиях и на северном склоне под лесом. Это указывает на переходный (очевидно, к черноземам) характер почв по мере их продвижения к

склонам южной экспозиции.

Тем самым на конкретном материале, т. е. на данных крупномасштабного картографирования ПТ, можно убедиться, что склоны восточной и западной экспозиций в условиях криолитозоны Забайкалья отличаются от склонов северной и южной экспозиций. Здесь формируются переходные почвы, а наиболее контрастное почвообразование проявляется на склонах южной и северной экспозиций.

Сравнительная характеристика физико-химических свойств почв ПТ показывает существенное их различие в зависимости от элементов рельефа. Черноземы криптоглееватые мерзлотные и аллювиальные темногумусовые мерзлотные почвы характеризуются высоким содержанием гумуса (5.4–8.8%), подвижными формами P_2O_5 и K_2O (соответственно 0.9 и 33.7 мг/100 г почвы) и благоприятной реакцией среды. Сезонномерзлотные черноземы отличаются невысоким содержанием гумуса (3.5–3.6%), высокой обеспеченностью подвижными формами фосфора и калия. Дерновые мерзлотные почвы имеют относительно высокое содержание гумуса (3.4–8.1%), сумма поглощенных оснований в их гумусовом горизонте колеблется от 19.7 до 30.1 мг–экв/100 г почвы. Реакция почвенной среды верхнего горизонта находится в пределах от среднекислой до нейтральной (рН сол. 4.6–6.4). Гидролитическая кислотность варьирует от 7.8 до 34.6 мг–экв/100 г почвы. Дерновым мерзлотным почвам, формирующимся в автономных и транзитных частях ландшафта, присуща высокая скелетность почвенных горизонтов и пород. В гумусово-аккумулятивных горизонтах данных почв доля скелетных фракций (меньше 1) составляет 58–66%, а в горизонте материнской породы — 85–90% от общей массы. По гранулометрическому составу эти почвы относятся к пылевато-песчаным легкосуглинистым и суглинистым.

Черноземы пропиточные сезонномерзлотные, сформированные на крутых склонах южной экспозиции, по гранулометрическому составу являются самыми легкими и скелетными из почв ПТ. По грансоставу мелкозема гумусовых горизонтов чернозем относится к пылевато-сильно-опесчаненному легкому суглинку. Совершенно иным характером соотношения фракций отличаются почвы аккумулятивных позиций. Формирующиеся здесь черноземы криптоглееватые мерзлотные и аллювиальные темногумусовые мерзлотные почвы имеют более тяжелый гранулометрический состав.

Водоудерживающая способность верхней 1-м толщии максимальна в почвах склона северной экспозиции. Так, черноземы криптоглееватые мерзлотные почвы этого склона способны прочно удерживать влагу в количестве 387 мм, аллювиальные темногумусовые мерзлотные — 238, а дерновые мерзлотные под лесом — 304 мм. Несравненно меньше величина НВ в почвах склона южной экспозиции. Так, в черноземах пропиточных сезонномерзлотных средней части склона запас влаги при НВ в слое 0–100 см составляет 163 мм, а в черноземах криптоглееватых мерзлотных почвах шлейфовой части склона — 172 мм. В элювиальных условиях дерновые мерзлотные почвы прочно удерживают 194 мм в целинном состоянии, в пахотном — 186 мм. По классификации, предложенной В.П. Панфиловым (Почвенно-физические..., 1977), почвы ПТ характеризуются как средне-, высоко- и очень высокоувлажляемые. В то же время почвы сильно щебнистые по всему профилю, к ним относятся и черноземы пропиточные сезонномерзлотные легкого гранулометрического состава, по величине НВ относящиеся к очень маловлажляемым.

Инструментальные данные по температуре за последние 40 лет свидетельствуют о большой пространственно-временной неоднородности глубины протаивания мерзлотных почв в зависимости от положения почвы в рельефе и подстилающей поверхности. Мощность сезонно-талого слоя почв катен юга Витимского плоскогорья по сравнению с 70-ми годами прошлого века увеличилась на 60–90 см.

ЛИТЕРАТУРА

Бадмаев Н.Б. Координатный анализ и принципы распознавания почв. Улан-Удэ: БНЦ СО РАН, 2008. 208 с.

Почвенно-физические условия мелиорации в Западной Сибири. Новосибирск: Наука, 1977. 88 с.

ROLE OF MONITORING OBSERVATIONS OF HEAT, WATER AND CO₂ FLUXES IN COMPLEX ECOLOGICAL RESEARCHES

РОЛЬ МОНИТОРИНГОВЫХ НАБЛЮДЕНИЙ ЗА ПОТОКАМИ ТЕПЛА, ВЛАГИ И CO₂ В КОМПЛЕКСНЫХ ЭКОЛОГИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЯХ

Juliya Kurbatova, Andrei Varlagin

Severtsov Institute of ecology and evolution RAS, Moscow, Russia, kurbatova.j@gmail.com

Recent climatic changes influence on the terrestrial ecosystems and determine CO₂ and H₂O fluxes between ecosystems and atmosphere. The eddy covariance method is used to measure the trace gas at ecosystem scale. Vertical fluxes are proportional to the mean covariance between vertical velocity and the respective scalar fluctuations (e.g., CO₂, water vapor and temperature). Typical instrumentation at field sites includes a three-dimensional sonic anemometer and fast responding sensor to measure CO₂ and water fluxes. Application of the eddy covariance methods involves issues relating to site selection, instrument placement, sampling duration and frequency, calibration and post processing. Ideally the field site should be flat, with the extensive fetch of uniform vegetation. The height of the sensors depends on the height of the vegetation. The measurement tower is also equipped with instrument to measure meteorological parameters. The eddy covariance measurements in Mongolia will allow to estimate carbon and water balance in steppe ecosystems.

Происходящие в настоящее время климатические изменения по-прежнему остаются ключевым вопросом современных научных исследований. Изменения климата в целом проявляются в возрастании средней глобальной температуры воздуха и океанической воды, таянии ледникового покрова и вечной мерзлоты, в возрастании среднего уровня океана (IPCC, 2007). Период 1995–2006 гг. был самым теплым в инструментальном ряду наблюдений, начиная с 1850 г. Линейный тренд приземной температуры воздуха для периода 1956–2005 гг. составил (0.13°C/10лет), что почти в 2 раза превышает тренд для периода 1906–2005 гг. (0.74°C/100лет). Причиной изменения климата принято считать рост антропогенной эмиссии парниковых газов. Однако, интенсивные исследования, выполненные в последние десятилетия в различных регионах Земли, показали ведущую роль природных экосистем в сохранении естественного газового состава атмосферы и в регуляции условий среды. Основная функция экосистем — обмен веществом и энергией, осуществляется посредством поддержания естественных биогеохимических циклов — воды и углекислого газа. Баланс основных парниковых газов в атмосфере определяется соотношением процессов поглощения углерода в результате фотосинтетической деятельности растений и процессов деструкции органического вещества. Интенсивность углеродного и водного обмена у различных типов растительности отличается значительной изменчивостью и определяется во многом комплексом параметров внешней среды. Оценить отклик естественных экосистем на изменение внешних факторов можно только на основе длительных мониторинговых наблюдений за энерго- и массообменом, а именно потоками влаги, тепла, углекислого газа и гидрометеорологическими параметрами. В связи с этим в настоящее время мировое сообщество развивает сеть континентальных станций, осуществляющих непрерывный мониторинг физических, химических и биологических показателей природных экосистем. Уже около 450 мониторинговых станций работает в Америке (AmeriFlux), Австралии (OzFlux), Европе (CarboEurope), Африке (CarboAfrica) (<http://www.fluxnet.ornl.gov/fluxnet/index.cfm>). В 1999 г. создана сеть наблюдений в Азии — AsiaFlux (<http://www.asiaflux.net>), которая позволяет получать надежную информацию, в том числе о балансе основных парниковых газов и связанных с ними климатических изменениях, широкому кругу научной общественности, а также физическим и юридическим лицам, заинтересованным в информации о состоянии окружающей среды. Развитие сети мониторинга идет по пути унифицирования методик наблюдения и обработки информации, формирования единой сети базы данных. Экспериментальные данные, полученные в рамках сети, являются уникальным материалом, который лежит в основе уточнения региональных и глобальных моделей климата, позволяющих оценить влияние климатических изменений на окружающую среду.

Анализ данных результатов мониторинга, проводимого на основе результатов наблюдений такого рода комплексов, позволяет ответить на следующие научные вопросы:

1. Какова пространственная и временная изменчивость депонирования углерода и потоков CO_2 , влаги и тепла в естественных экосистемах?

2. Какое влияние на биосферно-атмосферный обмен оказывают тип растительного покрова, фенология, изменения в условиях землепользования, и каково интеграционное влияние этих факторов?

3. Какое влияние оказывают погодные и климатические изменения на биосферно-атмосферный обмен? Какие главные факторы определяют суточную, сезонную и межгодовую изменчивость потоков влаги, тепла и CO_2 ?

4. Какова взаимосвязь между атмосферной концентрацией CO_2 и факторами, определяющими атмосферно-биосферный обмен?

Мониторинговые комплексы позволяют получать непрерывные высокочастотные круглогодичные значения потоков тепла, влаги и углекислого газа, а также значения основных гидрометеорологических характеристик. Регистрируемые параметры окружающей среды можно разделить на следующие основные группы:

I. Биосферно-атмосферный обмен потоками тепла, влаги и углекислого газа. Основными регистрируемыми и производными параметрами являются: нетто-экосистемный обмен CO_2 (баланс CO_2) между пологом растительного покрова и атмосферой; эвапотранспирация, затраты тепла на турбулентное перемешивание (потоки явного тепла), затраты тепла на испарение (потоки скрытого тепла).

II. Метеорологические параметры и их основные производные: температура и влажность воздуха, дефицит упругости водяного пара, радиационный баланс, приходящая суммарная радиация, поток фотосинтетически активной радиации, потоки радиации в коротковолновой и длинноволновой области спектра, скорость и направления ветра, атмосферное давление.

III. Измерения в пологе древостоя, как правило, включают: вертикальный профиль температуры, влажности и концентрации CO_2 . На их основе рассчитываются запасы (сторидж) тепла, влаги и CO_2 в пологе.

IV. Почвенные исследования. Основные инструментальные наблюдения в почве включают профиль температуры и влажности, поток тепла в почву.

V. Комплексные исследования в пределах площади осреднения потоков. Мониторинговые наблюдения за потоками тепла, влаги и CO_2 , как правило, сопровождаются почвенными, ботаническими, гидрологическими, геоморфологическими и пр. исследованиями, которые позволяют описать основные факторы, ответственные за пространственную и временную динамику биосферно-атмосферного обмена.

Приборная база, которая используется в организации наблюдений, является в настоящее время практически стандартной для всех мониторинговых станций, что позволяет унифицировать процедуры обработки и анализа и рассматривать уже существующие измерительные комплексы именно как единую сеть мониторинга (Aubinet et al., 2000). Оборудование должно отвечать требованиям к качеству, точности и дискретности регистрируемых параметров.

Метод пульсационных наблюдений основан на параллельных высокочастотных измерениях составляющих скорости ветра и концентрации исследуемой субстанции (в нашем случае — CO_2 , H_2O). Вертикальный поток CO_2 , H_2O между подстилающей поверхностью и атмосферой рассчитывается как ковариация пульсаций вертикальной скорости ветра и концентрации вещества.

Базовым ядром измерительного комплекса является **оборудование** для регистрации атмосферно-биосферного обмена потоками H_2O , CO_2 и тепла. Обязательные приборы комплекса — ультразвуковой анемометр и инфракрасный газоанализатор, которые позволяют фиксировать высокочастотные флуктуации скорости ветра, температуры воздуха, концентрации углекислого газа и воды. Для регистрации концентрации CO_2 и H_2O в современных комплексах используется две конфигурации **газоанализаторов**: работающие по закрытой (closed-path) и работающие по открытой схеме (open-path). Примерами газоанализаторов «закрытого» типа (“close-path infrared

gas analyser”) являются модели LI-COR 6262 и LI-COR 7000 (Li-Cor Inc., Lincoln NE). Все измеряемые параметры регистрируются и сохраняются на специальных электронных накопителях (logger data). С определенной периодичностью данные переносятся с накопителей на компьютеры для их последующего анализа и интерпретации. Процедура обработки первичных результатов осуществляется с помощью специального программного обеспечения.

При организации наблюдений оборудование размещается над пологом растительного покрова на *измерительной вышке* или *мачте*. Высота вышки должна примерно в 1.5 раза превышать высоту полога растительного покрова. Существует ряд определенных требований к размещению вышки, главными из которых являются однородность рельефа и растительного покрова вокруг измерительного комплекса. Неоднородность территории и растительности приводит к искажению полученных результатов, выбраковыванию данных, что влечет за собой трудности в последующей интерпретации наблюдений.

Организация подобного рода наблюдений на территории Монголии, в комплексе с результатами исследований Совместной Российско-Монгольской комплексной биологической экспедиции позволит оценить роль естественных и трансформированных экосистем страны в углеродном и водном балансе.

ЛИТЕРАТУРА

Aubinet M., Grelle A., Ibrom A., Rannik U., Moncrieff J., Foken T., Kowalski A.S., Martin P. H., Berbigier P., Bernhofer C., Clement R., Elbers J., Granier A., Grunwald T., Morgenstern K., Pilegaard K., Rebmann C., Snijders W., Valentini R., Vesala T. Estimates of the annual net carbon and water exchange of forests // The euroflux methodology, Advances in Ecological Research. 2000. V. 30, N 30. P. 113–175.

IPCC. Climate Change 2007: Impacts, Adaptation and Vulnerabilit. Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change / M.L. Parry, O.F. Canziani, J.P. Palutikof, P.J. van der Linden and C.E. Hanson (eds.). Cambridge University Press, Cambridge, UK, 2007. 976 pp.

SNOW DEPTH VARIABILITY IN SAGEBRUSH DRIFTS IN THE HIGH ALTITUDE RANGELAND OF NORTH PARK, COLORADO, USA

M.E. Tedesche

Snow Hydrology Program, Colorado State University, Colorado, USA, mtedesch@mail.cnr.colostate.edu

Introduction. In high altitude rangelands, such as those in Colorado, sagebrush and other shrubs can affect transport and deposition of wind-blown snow, thus enabling the formation of snowdrifts. Managing sagebrush cover on rangelands in Colorado has been a common practice for many years and sagebrush management techniques could have significant effects on snow accumulation patterns. Several major factors in the sagebrush-water yield relationship become apparent after the removal of this species from rangelands. Removal of such vegetation can reduce snow accumulation throughout the winter season because snow has a tendency to saltate and sublimate across the extremely wind exposed intermountain rangelands of Colorado. Blowing snow is a distinctive hydrologic feature of mountain big sagebrush communities (Sturges, 1975). Redistribution of wind-transported snow between catchments can strongly affect the water balance at small scales (Pomeroy & Li, 2000). Snow that potentially could have been trapped by the plants may return to the atmosphere through sublimation. Soil moisture and subsequent plant growth might be affected by this sublimation. Measurement of snow depth and the spatial variability of these measurements might be important information for understanding the snowdrift formation process. Past investigations have shown that scale is central to any assessment of the spatial distribution of snow (Deems et al., 2006; Trujillo et al., 2007). Determination of the most effective measurement scale for understanding ecologic and hydrologic processes in this environment is essential.

Objectives. Variogram analysis is an effective method for representing the spatial variability of snow depth at different measurement scales in shallow rangeland snow packs. Three hypotheses were tested to determine the nature of snow depth spatial variability in the high altitude plateau rangeland of North Park, Colorado, using variogram analyses: (1) Sagebrush plant dimensions (microtopography) are less spatially autocorrelated than the variations in snow depth measurements in resultant snowdrifts around an individual plant; (2) As winter progresses and the voids within sagebrush plants are filled with wind-distributed snow, the resultant surface evolves into a progressively less spatially variable microtopography; (3) When measuring a shallow rangeland snow pack, smaller scale measurements produce a progressively more spatially variable dataset of snow depths and therefore, a less spatially autocorrelated snow surface texture.

Study Area and Data Collection. One area representative of Colorado's high altitude, intermountain rangelands is the North Park area, which is located within the Medicine Bow, Park Range, and Rabbit Ears Mountain Ranges. This region provides excellent field research areas due to abundant mountain big sagebrush habitat. A very fine scale field data collection campaign was performed in this region in 2008 by the Cooperative Institute for Research in the Atmosphere (CIRA), which is a research organization of Colorado State University. The CIRA dataset of snow depth measurements are at a 25 cm resolution.

The National Aeronautics and Space Administration (NASA), of the United States Government, also conducted a long-range data collection campaign known as the Cold Land Processes Field Experiment (CLPX). This experiment included a manual ground measurement campaign of fine scale (1 m resolution) snow depth measurements in the North Park area during February and March of 2002 and 2003 (Cline et al. 2002). A third dataset was therefore co-located within the CIRA/CLPX region of North Park, Colorado in order to facilitate a multi-scale, multi-data source study. These data (WSD) were collected by the Watershed Science Program at Colorado State University and included measurements taken at an ultra-fine scale of 5–10 cm between 2007 and 2008.

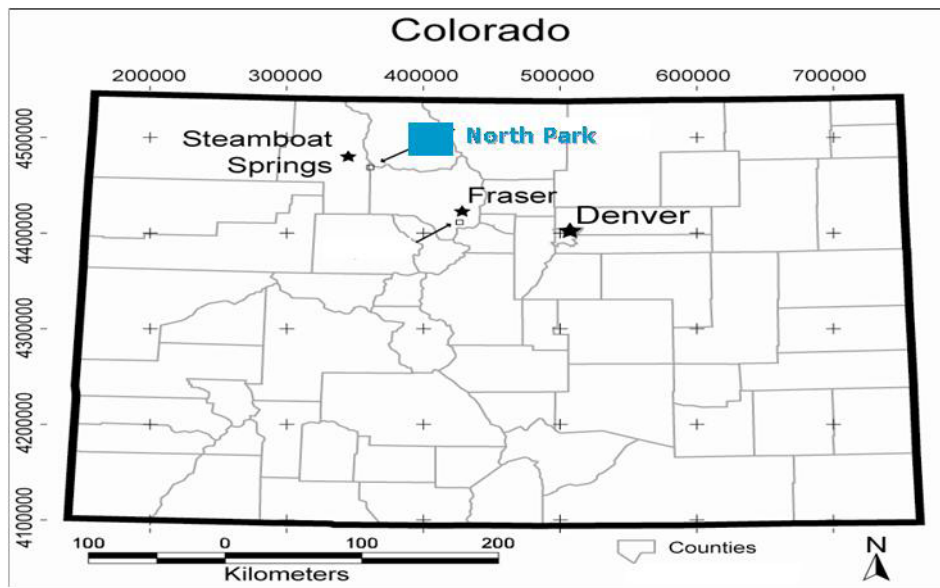


Fig. 1. Location of North Park plateau within the state of Colorado

Methods. Variogram analysis is one method for representing the spatial variability of snow depth at different measurement scales in shallow rangeland snow packs. One way to assess the scaling effect of multi-resolution data collection is calculating the correlation length from a variogram (Fassnacht et al., 2009). In spatial statistics, the theoretical variogram is a function describing the degree of spatial dependence of a spatial random field; such as in spatial variability of snow depths due to wind drifting around rangeland vegetation. In the variogram analyses performed for this study, each variogram was fitted with an exponential line and the values for each trend line were then used to determine the fractal dimension of each variogram (Deems et al., 2006). The fractal dimensions of each of the three datasets (WSD, CIRA, CLPX) were assumed to be somewhere between two and three dimensions

because snow depths and sagebrush geometry were measured on a plane (x and y coordinates) with some height or depth (z value).

Results. Variograms were grouped into comparative analyses; WSD sagebrush dimensions, WSD snow depth measurements, and snow surface roughness evolution over the 2007–2008 winter season were plotted into stacked variograms (Fig. 2). Multiple scale, multiple dataset snow depth measurement variograms for the months of February and March were also compared (Fig. 3).

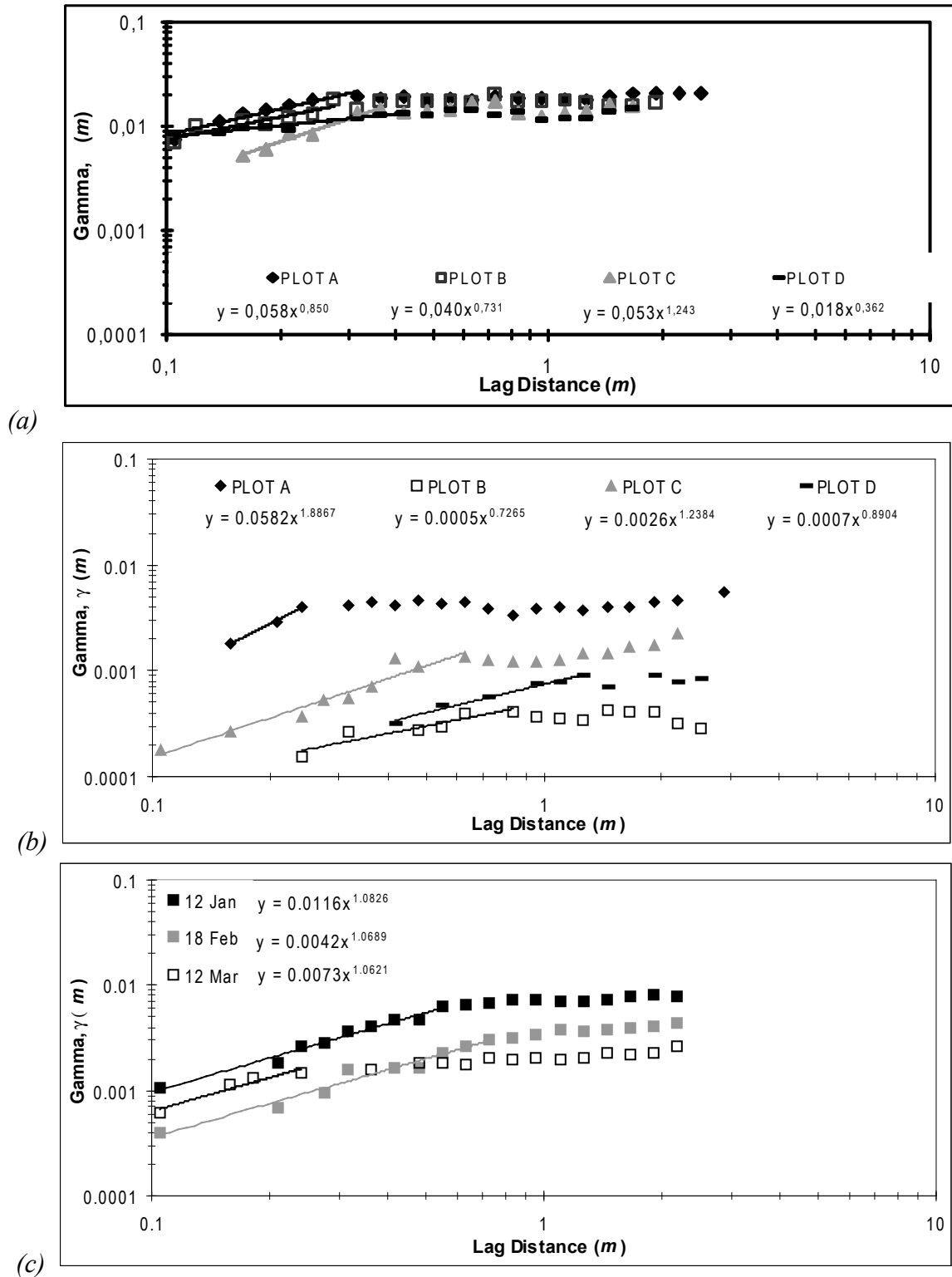


Fig. 2. Results of the variogram analyses for spatial autocorrelation of (a) sagebrush microtopography in WSD plots A, B, C, & D (b) snow depth measurements of resultant drifts in WSD plots A, B, C, & D and (c) snow surface roughness evolution in WSD Plot E over the 2007–2008 winter

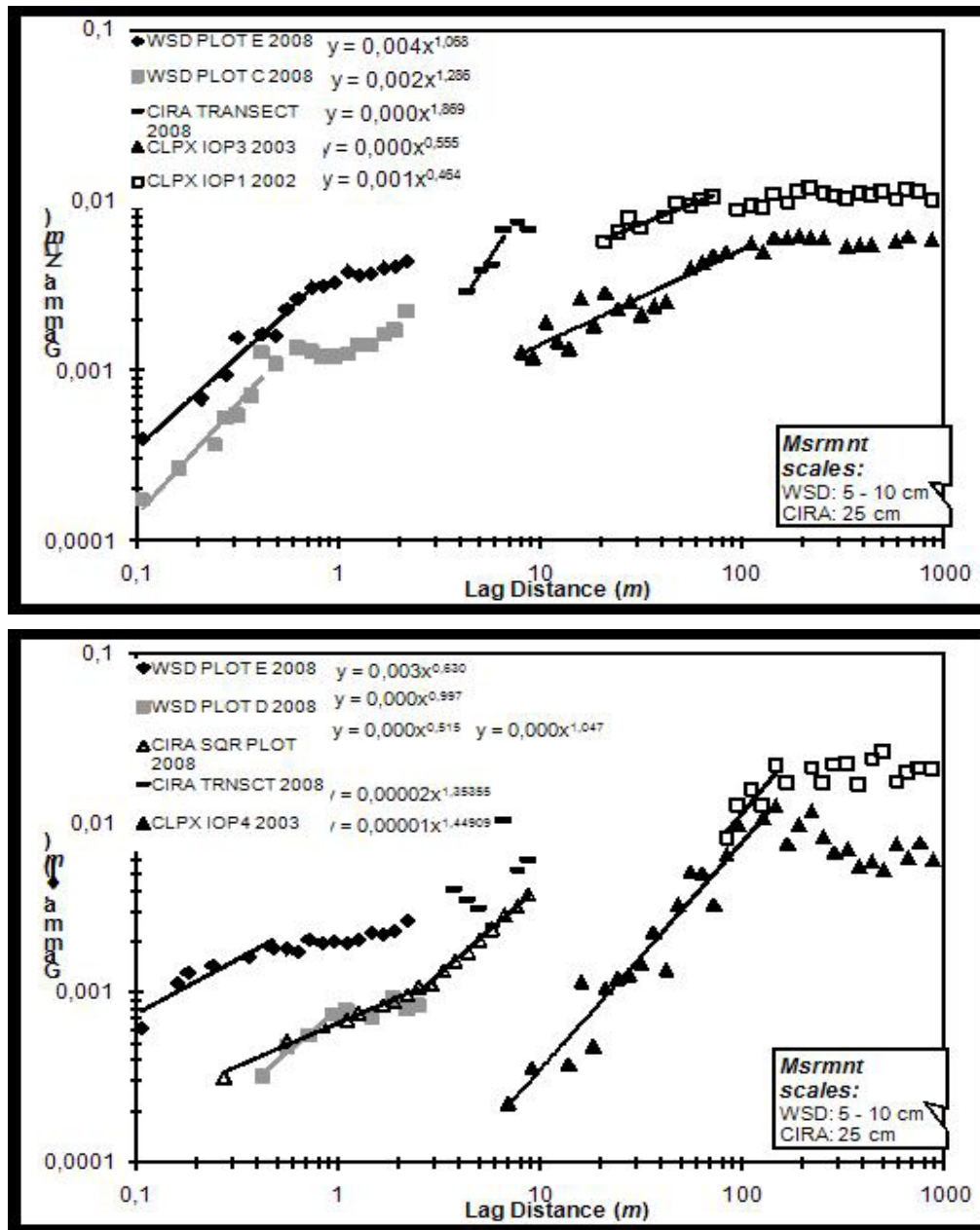


Fig. 3. Results of the variogram analyses for spatial autocorrelation of snow depth measurements at varying small scales for WSD and CIRA over the 2007–2008 winter season and CLPX in 2002 and 2003; February snow depth measurements (top) and March snow depths (bottom)

Discussion and Conclusions. Results of the variogram analyses indicated that the first hypothesis may be supported. Variogram gamma values and fractal dimensions for the sagebrush canopy microtopography tended to be larger than for the corresponding snow depth measurements. This specifies more spatial variability in the sagebrush surface than in snow depths. The second hypothesis was also supported by the variogram statistics. Variogram analyses indicated that snow depth became less spatially variable (lower sill values) as winter progressed. There was also evidence of a “leveling-off” of the spatial variability occurring later in the season. Variogram coefficients of variation and fractal dimensions were also very close in value. Results of the variogram analyses for the multiple scale snow depth datasets did not support the third hypothesis. The results actually indicated that smaller scale snow depth measurements produce a more spatially autocorrelated snow surface. As scale in snow depth measurements increased, both lag distances and gamma values increased slightly, as well.

According to variogram analyses, larger scale (smaller resolution) snow depth measurements

in the shallow rangeland snow pack of North Park, Colorado produce a progressively more spatially variable dataset of snow depths and therefore, a less spatially autocorrelated snow surface texture. Measuring snow depths at differing resolutions in order to draw conclusions about the reduction of shrub cover could be an effective research tool.

REFERENCES

Cline D.W., Armstrong R., Davis R., Elder K. J. & Liston G.E. (2002). *CLPX–Ground; ISA Snow Depth Transects and Related Measurements*. In situ data edited by M. Parsons and M.J. Brodzik. Boulder, CO: National Snow and Ice Data Center. Digital media.

Deems J.S., Fassnacht S.R. & Elder K.J. (2006). Fractal distribution of snow depth from Lidar data. *Journal of Hydrometeorology*, 7. P. 285–297.

Fassnacht S.R., Williams M.W. & Corrao M.V. (2009). Changes in the surface roughness of snow from millimetre to metre scales. *Ecological Complexity*, 6. P. 221–229.

Pomeroy J.W. & Li L. (2000). Prairie and Arctic areal snow cover mass balance using a blowing snow model. *Journal of Geophysical Research*, 105, 26619–26634.

Sturges D. L. (1975). Hydrologic relations on undisturbed and converted big sagebrush lands: The Status of our knowledge. United States Department of Agriculture Forest Service Research Paper RM–140. Rocky Mountain Forest and Range Experiment Station. 21 p.

Trujillo E., Ramirez J.A. & Elder K.J. (2007). Topographic, meteorologic, and canopy controls on the scaling characteristics of the spatial distribution of snow depth fields. *Water Resources Research*, W07409, 43, 17 p.

FOREST PLANT PROPERTIES OF THE SOILS OF FOREST TUNDRA ON THE EUROPEAN TERRITORY OF RUSSIA AND FOREST STEPPES OF THE INNER ASIA IN CONNECTION WITH THE GLOBAL CLIMATE WARMING

ЛЕСОРАСТИТЕЛЬНЫЕ СВОЙСТВА ПОЧВ ЛЕСОТУНДРЫ ЕВРОПЕЙСКОЙ ТЕРРИТОРИИ РОССИИ И ЛЕСОСТЕПИ ВНУТРЕННЕЙ АЗИИ В СВЯЗИ С ГЛОБАЛЬНЫМ ПОТЕПЛЕНИЕМ КЛИМАТА

O.I. Khudyakov, O.V. Reshotkin, T.N. Bedrina

Institute of physicochemical and biological problems in soil science RAS, Puchshino, Russia, oix@rambler.ru

It has been shown that current warming has global, continental and soil-zonal character. Climatic warming of tundra soils of forest tundra on the European territory of Russia results in improving of forest plant properties of the soils. Climatic warming of forest steppe of the Inner Asia leads to development of iridizations and degradation of permafrost that is the cause of worsening forest plant properties of the soils.

В сентябре–октябре 2003 г. в Москве состоялась Всемирная конференция по изменению климата (2004). Из материалов конференции следует, что за наблюдаемый период (1861–2002 гг.) произошло потепление климата относительно климатической нормы (средняя температура за период 1961–2000 гг.). Повышение среднедесятилетних температур произошло на глобальном, континентальном и на уровне почвенно-климатической зоны.

Глобальное увеличение среднедесятилетних температур за период наблюдения по отношению к климатической норме отмечается над морем, на поверхности моря и суши. Изменение климата носит колебательный характер. В период от начала наблюдения (1861 г.) до 1941 г. увеличение среднегодовой температуры происходило в отрицательном диапазоне от минимальных значений до 0°C. Начиная с 1940 г., температура приземного слоя воздуха и поверхности моря начинает уменьшаться, и все изменения температуры происходят в отрицательном диапазоне. Это означает, что среднегодовая температура приземного слоя воздуха и поверхности моря снова понижается. Снижение среднегодовой температуры происходит

примерно до 1980 г., начиная с этого времени, среднегодовая температура приземного слоя воздуха и поверхности моря повышается. Максимальные их значения отмечены в 2002 г., причем температура приземного слоя воздуха повышается быстрее, чем поверхности моря. Однако эти изменения за последнее десятилетие относятся как к температуре поверхности суши, так и к температуре поверхности моря. Таким образом, анализ среднегодовых аномалий средних глобальных температур за период 1860–2002 гг. свидетельствует о том, что современное потепление климата носит глобальный характер.

Глобальное изменение климата на современном этапе складывается из совокупности отдельных континентальных изменений. В свою очередь характер изменения климата определяется широтой и долготой расположения континента по отношению к экватору, северному и южному полюсам Земли, конфигурацией континента по отношению к морям и океанам, углом падения солнечных лучей на земную поверхность и другими особенностями. Характерной особенностью континентальных изменений климата является то, что каждому континенту присуща общая тенденция потепления климата, но это потепление выражено по-разному. В таблице показано повышение среднегодовой температуры воздуха различных континентов и связанных с этим повышением последствиями. Данные наблюдений и модельные расчеты Федеральной службы по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды показывают, что климат территории Евразийского континента в пределах России более чувствителен к глобальному потеплению, чем климат многих других регионов земного шара. За последние 100 лет (1907–2006 гг.) по данным сети Росгидромета потепление в целом по России составило 1.29°C при среднем глобальном потеплении на 0.74°C. За период 1976–2006 гг. среднее потепление по России достигло 1.33°C, при этом отмечается, что число дней с морозами уменьшилось, а наибольшее увеличение минимальной и максимальной суточной температуры отмечалось в холодный сезон (Оценочный доклад..., 2008). Необходимо отметить, что современное потепление климата России отмечается от начала систематического наблюдения за температурой воздуха и почвы, однако потепление могло начаться еще и раньше, но отсутствие данных не позволяет нам говорить об этом. Начало инструментальных наблюдений приходящихся на 90-е годы прошлого столетия. Анализ температурных данных показывает, что повышение температуры воздуха уже отмечалось на период начала наблюдения, которое продолжается до настоящего времени. Повышение температуры происходило в спектре от отрицательных температур до 0°C, и лишь только, начиная с 80-х годов 20-го столетия, повышение температуры воздуха отмечается в положительном диапазоне. Данная закономерность повышения температур воздуха на территории России совпадает с аналогичным ходом температур глобального потепления. Из этого можно сделать заключение о том, что изменение среднегодовой приземной температуры воздуха на территории России имеет синхронный характер с глобальным изменением температуры на Земном Шаре.

В настоящей работе анализируется влияние современного повышения температуры воздуха на лесорастительные свойства тундровых почв лесотундры Европейской территории России и лесных почв лесостепи Восточного Хангая в Монголии.

Тундровые почвы лесотундры Европейской территории России характеризуются данными метеостанции Елецкая и Петрунь. Почва метеостанции Петрунь тундровая песчаная. Начало наблюдений на метеостанции Петрунь приходится на 1941 г., а на метеостанции Елецкая — на 1961 г. Для песчаной тундровой почвы климатическая норма температуры воздуха (средняя температура воздуха за период 1961–1990 гг.) составляет –4.4°C. Среднедесятилетняя температура воздуха за период 1961–2000 гг. и за период 2001–2008 гг. тундровых почв по метеостанции Петрунь составила –3.7°C и –2.8°C, что выше климатической нормы на 0.7°C и на 1.6°C соответственно.

В суглинистых тундровых почвах по метеостанции Елецкая за период 1991–2000 гг. и за 2001–2008 гг. повышение температуры воздуха по отношению к климатической норме температуры воздуха составило 0.4°C и 1.3°C соответственно. Таким образом, современное потепление климата вызвало улучшение экологических условий и лесорастительных свойств тундровых почв лесотундры.

Таблица. Изменение температуры воздуха по континентам и последствия

Континент	Повышение температуры на °C	Последствия
Азиатский: Китай, Индия, Пакистан	От 0.8 до 1.5	На континенте увеличились площади аридных и пустынных зон, снизился сток рек. В Пакистане реки практически пересохли
Европейский	От 1.2 до 1.4	Засухи в Испании, Франции. Наводнения в Германии, Чехии, Словакии, в странах бассейна р. Дунай
Американский	От 0.6 до 0.8	Увеличение количества штормов, тайфунов. В летнее время увеличился межосадковый засушливый период (засуха)
Антарктида	От 0.5 до 1.5	Таяние льда, изменение ледовой обстановки. Поступление огромных масс талой воды в Мировой Океан
Арктика	От 1.0 до 1.5	Уменьшилась ледовая обстановка. Большая часть Северного Ледовитого Океана стала проходимой для кораблей. Снизилась ледовая обстановка вокруг Канады и Исландии. В морях стали разваливаться айсберги и таять паковые льды. На побережье Северного Ледовитого Океана происходит таяние вечной мерзлоты, появляются баджерахи и солифлюкция
Повышение температуры Мирового Океана	От 0.6 до 1.2	Привело к более быстрому обмену между теплыми и холодными водами, следствие – более частые тайфуны
Теплое течение «Гольфстрим»	Проникло на 500–800 км в Арктику	Нарушение ледовой ситуации на Северном Ледовитом Океане изменило скорости течения воды
Россия: Европейская часть, Азия, Чукотка, Дальний Восток, Сибирь	От 0.3 до 0.4	Изменились зимние климатические условия. Увеличилась глубина сезонного протаивания почвы. Изменилась циклональная активность, ослаблен зимний сибирский антициклон
Москва		За 125 лет регулярных климатических исследований среднегодовая температура воздуха повысилась с 3.5°C до 6°C
Прогноз по осадкам	Увеличение в Северных и Центральных районах и снижение в Южных	

Почвенный покров лесостепи Внутренней Азии — это самобытное сочетание почв сухой степи склонов гор световых экспозиций и глубокомёрзлотных лугово-лесных и мерзлотно-таежных почв склонов гор теневых экспозиций (Худяков, 2009). Рельеф как природный перераспределитель экологических факторов является тем механизмом, который до настоящего времени поддерживает мерзлотные климатические условия в почвах склонов теневых экспозиций, сформированных в плейстоцен–голоценовый период, способствующие развитию лесных сообществ.

Современное потепление климата лесостепи Внутренней Азии вызывает усиление отепляющего влияния климата склонов световых экспозиций на почвы мерзлотной формации склонов теневых экспозиций, что приводит к деградации мерзлоты по периметру ареала мерзлотных почв, к отступлению лесных сообществ к центральным участкам склонов гор северной экспозиции, а, следовательно, к аридизации и расширения ареала степных сообществ.

Таким образом, современное потепление климата лесостепи Внутренней Азии приводит к развитию аридизации территории, деградации многолетней мерзлоты, что приводит к ухудшению лесорастительных свойств почв склонов гор теневых экспозиций.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ, грант №09–04–00405–а.

ЛИТЕРАТУРА

Всемирная конференция по изменению климата. Москва, 29 сентября–30 октября 2003 г.: Тр. Конференции. Москва, 2004. 620 с.

Худяков О.И. Почвы лесостепи Внутренней Азии. Москва, 2009. 326 с.

Оценочный доклад об изменениях климата и их последствиях на территории Российской Федерации. Общее резюме. Москва, 2008. 26 с.