

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

Секция III. ПРИЧИНЫ И СЛЕДСТВИЯ ВЕКОВОЙ ДИНАМИКИ КЛИМАТИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ

PALEO GEOGRAPHICAL CONDITIONS OF LANDSCAPES' DEVELOPMENT IN INNER ASIA IN THE LATE PLEISTOCENE AND IN THE HOLOCENE

ПАЛЕОГЕОГРАФИЧЕСКИЕ УСЛОВИЯ РАЗВИТИЯ ЛАНДШАФТОВ ВНУТРЕННЕЙ АЗИИ В ПОЗДНЕМ ПЛЕЙСТОЦЕНЕ И ГОЛОЦЕНЕ

N.I. Dorofeyuk

*Severtsov Institute of Ecology and Evolution of the Russian Academy of Science, Moscow, Russia,
monexp@mail.ru*

In the article there are traced the stages of after glacial changes of landscapes in Inner Asia — vast intercontinental area, wrap-round the out-of-glacier part of the Asian continent. These territories are united by remoteness from oceans, common geological development during all the Quaternary period, and common, rhythmically directed change of climatic conditions. The territory of Mongolia is the central part of Inner Asia; it lies in the knot of interface of contrasting geological structures and on the joint of the systems of atmosphere circulation on the global level. At the same time this territory can be considered as an original ecotone area on which a border passes between the boreal forests of Southern Siberia and deserted ecosystems of Gobi. The changes of climate during the studied period were reflected in the dynamics of vegetation change in Inner Asia — from cold tundra steppes of end of Pleistocene to dry or desertified flat steppes and mountain forest-steppes of late Holocene. On the territory of Mongolia in this period four main types of vegetation co-operated in different correlations: tundra steppe, taiga, steppe, and desert under permanent prevailing of steppes.

Изучение колебаний климата и связанной с ними динамики растительности различных регионов Земли на последних этапах её геологической истории никогда не теряло своей актуальности, поскольку эти данные имеют прямое отношение к главным условиям существования биоты и жизни людей. Актуальность таких исследований постоянно возрастает в связи с возникновением мощных аномальных явлений в природе, которые ученые часто связывают с усиливающимся антропогенным воздействием на биосферу.

Внутренняя Азия — это обширная внутриконтинентальная территория, охватывающая внеледниковую часть Азиатского континента. Она не имеет четких естественных границ и в географическом смысле довольно неопределенна. Следом за Е.В. Девяткиным (1981) к Внутренней Азии мы относим северные районы Китая, Монголию, горный пояс Южной Сибири, Прибайкалье, Забайкалье, восточные районы Казахстана и Средней Азии. Эти территории объединяет удаленность от всех окраинных морей Азиатского континента, общность геологического развития в течение всего четвертичного периода и общее, ритмично направленное изменение климатических условий.

Монголия является центральной частью Внутренней Азии, её территория лежит в узле сопряжения контрастных геологических структур и на стыке систем циркуляции атмосферы глобального уровня. Для Монголии характерны максимальные амплитуды годовых и суточных температур, широкое распространение многолетнемерзлых пород и многие другие свойства современных ландшафтов, роднящие их с ландшафтами позднего плейстоцена. При этом всю территорию Монголии можно рассматривать как своеобразную экотонную зону, поскольку южная граница бореальных лесов проходит по водораздельным хребтам Хангая, где на склонах северных экспозиций еще сохранились участки островных или экспозиционных бореальных лесов, а склоны южных экспозиций представляют собой переход от высокогорных кобрезиевников

к степям разных типов и пустыням Гоби.

Положение Монголии между горами Южной Сибири, испытавшими оледенения, и пустынями Гоби, не подвергавшимися покровному оледенению, имеет важное значение для выявления общих и специфических черт развития внутриконтинентальных областей в послеледниковое время и для решения ряда проблем на основе комплексных биостратиграфических исследований. Информация об основных этапах развития природной обстановки, эволюции растительности и климатов Внутренней Азии в конце позднего плейстоцена и голоцене отражается в составе и строении толщ донных осадков озер и может быть извлечена путем исследования их комплексом различных методов, используемых в палеогеографии.

Как известно, озера чутко реагируют на происходящие в их водосборных бассейнах процессы изменением всех своих характеристик (глубины, площади водной поверхности, химизма вод, распределения и состава донных грунтов и комплекса водных организмов и т. д.). Кроме того, существует множество локальных факторов (тектонические подвижки, подпруживание или миграция русел рек, хозяйственная деятельность человека в пределах бассейна и др.), которые вызывают изменения в соотношении приходной и расходной частей водного баланса озер. Особенно ярко это проявляется в зоне недостаточного увлажнения, в аридных и семиаридных районах Внутренней Азии, отличающихся большими амплитудами колебаний тепла и влаги. Озера этих территорий существуют в экстремальных природных условиях и представляют благоприятный объект для изучения закономерностей изменчивости природной среды.

Материалом для исследований послужили образцы из буровых скважин донных осадков пресноводных озер Монголии, полученных в 1971–1980 гг. палеоботаническим отрядом Совместной Советско-Монгольской комплексной биологической экспедиции с использованием методик советской школы исследований. При их обработке учитывались результаты палеогеографических, геолого-геоморфологических и биостратиграфических методов исследований и радиоуглеродное датирование, обеспечивающее временные привязки, а также анализ литературных источников лимнологических, ландшафтоведческих, геологических, геоботанических и палеоботанических исследований. Эти материалы послужили основой для разработки первой для Монголии биостратиграфической схемы голоцена (Виппер и др., 1981)¹. Позднее они вошли в базу данных по уровням озер бывшего Советского Союза и Монголии и использованы при восстановлении послеледниковых и голоценовых уровней озер Северной Евразии на основе региональных изменений их водных балансов и при дальнейшей реконструкции палеоклиматов (Tarasov et al., 1994; 1996). Изученные регионы Монголии были относительно тектонически стабильны в послеледниковье, а хозяйственная деятельность в них не оказывала значительного влияния на озера до XX века. Таким образом, полученные данные позволили обусловить влагообеспеченность территории страны глобальными изменениями атмосферной циркуляции в Евразии в конце плейстоцена и в голоцене (Tarasov, Harrison, 1998; и др.).

В конце позднего плейстоцена (13000–12000 лет назад, далее — л. н.) и до начала голоцена монгольские озера (Убсунурской котловины, Монгольского Алтая, Хангая, оз. Хубсугул) и оз. Байкал имели более высокие уровни, чем в настоящем времени. Высокие уровни около 13000 л. н. отмечены также в тибетском высокогорном оз. Sumxi и в китайских озерах в интервале 13000–10000 л. н.

Между 10000 и 9000 л. н. уровни озер Монголии были ниже, чем современные. Наиболее низкими они были в раннем голоцене (около 9500 л. н.). Обводненность озерных котловин начала повышаться с 8000 л. н., достигнув максимальных значений в первой половине среднего голоцена (7500–6500 л. н.). После 6500 л. н. началось асинхронное и постепенное снижение уровней озер и продолжалось приблизительно до 3000 л. н. Так, в Котловине Больших Озер уровни начали падать между 6000 и 5000 л. н., а самые низкие уровни озер Убсунурского бассейна зафиксированы около 3000 л. н. Озера северной, центральной и восточной частей Монголии имели уровни, близкие к современным, начиная приблизительно с 5000–4500

¹Ограниченный объем публикации не позволяет автору процитировать все проанализированные литературные источники, поэтому в список литературы включены только основные работы.

л. н., а в заключительной фазе среднего голоцена (интервал 4000–3000 л. н.) они значительно понизились, но также асинхронно. На рубеже среднего и позднего голоцена (3000–2000 л. н.) выявляется временное возвращение озер к относительно более высоким уровням, после 2000 л. н. во всех озерах Монголии гидрологические условия приблизились к современным.

О тепло- и влагообеспеченности внутриконтинентальных областей можно судить по динамике растительности в палеовремени. Аридный и холодный климат конца плейстоцена и раннего голоцена обусловил распространение криофитных степей в Монголии и в соседних регионах. В Монголии тундростепь существовала в верхних поясах гор, сухие и опустыненные степи — в межгорных котловинах, а высокие равнины, вероятно, были заняты пустынями. Начиная с 12000 л. н., пустынный тип растительности был реконструирован в межгорной котловине бассейна оз. Ачит, где современная растительность — сухая степь. (Vegetation dynamics..., 1999). В Забайкалье между 14500 и 13400 лет назад господствовала кустарниковая тундра, локальные участки бореальной хвойной растительности существовали только в отдельных благоприятных местообитаниях. Приблизительно 13300–12800 лет назад тундровая растительность здесь стала замещаться бореальной лесостепью. В Прибайкалье (12000–10000 л. н.) при широком развитии горно-тундровой кустарниковой растительности и сухих степных сообществ на многолетнемерзлых породах формируются редколесья из ели и лиственницы, к которым позднее примешивается береза (Безрукова, 1999). Растительность типа лесотундры или холодной лесостепи существовала в Бурятии в интервале 10600–10000 л. н. На территории Тувы и юго-восточной части Российского Алтая в это время расширились полынныи степи с эфедрой в сочетании с ерниковыми тундрами, а его центральная часть была полностью занята безлесной тундростепью. На территории Северного Казахстана в конце плейстоцена и начале голоцена были широко распространены полынно-маревые сообщества и березовые колки, а в Восточном Казахстане — безлесные ландшафты. На севере Китая, вдоль границы с Монголией, в это время существовали сухие степи (Winkler, Wang, 1993). Пустынная растительность с доминированием *Chenopodiaceae* и *Ephedra* зарегистрирована в интервале 12700–10000 л. н. в бассейне тибетского оз. Sumxi (Van Campo, Gasse, 1993).

Около 10000 л. н. растительность на западе и в центре Монголии не претерпела существенных изменений. Сообщества таежного типа потеснили степь только в районах двух северных разрезов, но эта фаза облесения оказалась довольно кратковременной (9500–9000 л. н.). При этом ок. 9500 л. н. на большей части территории страны доминировала степь, а пустыни продолжали существовать в обширной депрессии на северо-западе Монголии. Расширение площади лесов и усиление позиций темнохвойных пород (*Picea* и *Abies*) в горах на севере, западе и в центре Монголии происходит между 8000 и 4000 л. н. Распространение ели позволяет предположить улучшение условий увлажнения и ослабление континентальности климата в середине голоцена. Изучение погребенных почв на востоке показало существование влажных луговых степей на месте современных сухих также в первой половине среднего голоцена (8000–6000 л. н.), когда относительная мезофитность степных экосистем обеспечивалась внутрпочвенной влагой, освободившейся в результате деградации вечной мерзлоты.

Значительные изменения растительности Монголии произошли в середине голоцена (7000–6000 л. н.). Таежная растительность (*Picea*, *Pinus sibirica* и *Abies*) реконструирована в 7000 л. н. на севере и на западе страны и занимала большую площадь, чем сегодня. В это же время степь постепенно заменила пустыню и доминировала в горах на абсолютных отметках от 1700 до 2500 м над ур. м. в центре и на западе Монголии, но отдельные пыльцевые спектры показывают увеличение древесной пыльцы (*Larix*, *Picea* и *Pinus sibirica*). Иными словами в среднем голоцене Монгольский Алтай и Хангайское нагорье не были безлесны, для них были характерны лесостепные ландшафты с островными хвойными и смешанными лесами.

Севернее Монголии (в Прибайкалье и Забайкалье) максимальное распространение еловых лесов приходится на интервал между 8500 и 8000 л. н., пихта в составе лесов начала появляться с 8000 л. н. Широкое участие в составе лесов березы и ели было характерно вплоть до 6000 л. н. На склонах гор восточной экспозиции на протяжении первой половины среднего голоцена были развиты сосново-лиственничные с елью и лиственнично-сосновые

леса, степи и лесостепи (Безрукова, 1999). Оптимальные условия для распространения пихты в лесах береговых хребтов оз. Байкал сложились в период между 6000 и 3000 л. н. Древесная растительность на территории Бурятии также начала расселяться быстрыми темпами после 9000 л. н. В Российском Алтае лесной пояс формировался между 9500 и 6000 л. н. Максимального развития темнохвойная тайга достигала здесь приблизительно 9500–7500 л. н., но в интервале 7500–6500 л. н. ель и пихта полностью исчезли, в растительном покрове территории стали доминировать леса с господством сосны сибирской и лиственницы сибирской. Степные сообщества оставались только в межгорных котловинах и по склонам гор южной экспозиции. В Северном Казахстане лесостепь с березовыми лесами была распространена 8600–8000 л. н., а сосна обыкновенная появилась в долинах Иртыша ок. 7300 л. н.

На территории Внутренней Монголии распространение древесной растительности происходило между 9200 и 6500 л. н. (Jiang et al., 2006). В Северном Китае около 6000 л. н. лесная и лесостепная растительность доминировала к северу от 42° с. ш., там, где сейчас распространены степи (Winkler, Wang, 1993). Переход к более гумидным условиям в среднем голоцене реконструирован на северо-западе Китая (Wünnemann et al., 2006). В Джунгарской Гоби (оз. Манас, Синьцзян) 8300–6800 л. н. пустынную растительность сменили полынные степи при максимально теплом и влажном климате (Rhodes et al., 1996). На Тибетском нагорье увлажнение и снижение континентальности климата, датируемые возрастом 10800–4400 л. н., проявились в развитии умеренных степей и субальпийских кустарников (Herzschuh et al., 2006).

Аридность климата Монголии начала возрастать после 6000 л. н. В Монгольском Алтае она проявилась в сокращении площадей, занятых лесной растительностью, и развитии сухих степей (6000–4900 л. н.). В Российском Алтае и в Туве подобные события начали происходить после 6500 л. н. При более холодном и континентальном климате здесь существовали леса из сосны сибирской, а в межгорных котловинах были развиты криофитные разнотравные и полынные степи (Blyakharchuk et al., 2004, 2007; Pyashuk B., Pyashuk E., 2007). В Джунгарской Гоби (северо-запад Китая) начало аридизации климата отмечается в период 6800–5100 л. н. (Rhodes et al., 1996); на территории Внутренней Монголии усиление континентальности привело к сокращению ареала лиственных пород и развитию хвойных лесов между 6500 и 5100 л. н. (Jiang et al., 2006).

Около 4000–3000 л. н. дальнейшее усиление континентальности и аридности климата привело к сокращению лесопокрываемых площадей в Монгольском Алтае, Хангае и Гобийском Алтае и доминированию степей. Таежные леса сохранялись только на севере страны, а пустынные сообщества вытеснили степь на севере Котловины Больших Озер. Состав и обилие остатков погребенной древесины, найденных в урочище Баян-Сайр на Гобийском Алтае, не оставляют сомнений в том, что лесная растительность таежного типа существовала там еще около 4500–3500 л. н., а в настоящее время доминируют степные ценозы. Исчезновение темнохвойных пород в Баян-Сайре происходит в интервале 3800–3500 л. н., а лиственницы — 2500–2000 л. н. Снижение влажности климата и похолодание на юго-востоке Российского Алтая и в Туве ок. 4000 л. н. также привели к распространению высокогорных тундр и криофитных степей. Усиление аридности климата и развитие степных сообществ на территории Внутренней Монголии отмечено после 2600 л. н. Растительность Монголии стала близка к современной уже около 2000 л. н. и без существенных изменений оставалась таковой до настоящего времени.

Не исключено, что на последнем этапе сокращению лесопокрываемых территорий Монголии способствовал также и антропогенный фактор — возросшая пастбищная нагрузка, вырубка деревьев, пожары. По геоморфологическим данным, полученным из северо-западной Монголии (Убсунурская котловина), одной из причин формирования параболических дюн явилось усиление антропогенного воздействия в течение последних 2000 лет (Grunert et al., 2000). По палеоботаническим данным, в сухих степях Монголии первые признаки пастбищных перегрузок отмечены в интервале 900–600 л. н. Причем пастбищная дигрессия и обусловленная ею ксерофитизация пастбищных экосистем наиболее ярко проявились лишь в последние

столетия (Динесман и др., 1989). По архивным материалам (Hilbig, 1995), сведение лесов стало заметным лишь в конце XIX века.

Таким образом, послеледниковые изменения растительности Внутренней Азии проявились в ее динамике от холодных тундровых степей конца плейстоцена к сухим или опустыненным равнинным степям и горным лесостепям позднего голоцена. На всех этапах этого отрезка геологического времени, в частности на территории Монголии, в разных соотношениях взаимодействовали четыре главных типа растительности: тундровая степь, тайга, степь и пустыня при доминировании степей.

Палеоклиматические реконструкции и модели прошлых климатических изменений, продемонстрировали существование относительно синхронных региональных изменений атмосферной циркуляции. Наиболее вероятными причинами, вызывавшими изменения природной среды Внутренней Азии, в том числе и Монголии, по мнению многих ученых, являются: 1) укрепление или ослабление летнего муссона и западного переноса воздушных масс, обеспечивающих влажность азиатских внутренних территорий; 2) сдвиг полярного фронта к югу от его современного положения в Северной Монголии. Однако детальное объяснение механизма и движущих сил изменения климата и природы Внутренней Азии в позднем плейстоцене и голоцене остается дискуссионным и требует проведения специальных исследований и дополнительных данных.

ЛИТЕРАТУРА

Безрукова Е.В. Палеогеография Прибайкалья в позднеледниковье и голоцене. Новосибирск: Наука, 1999. 128 с.

Виннер П.Б., Дорофеев Н.И., Лийва А.А., Метельцева Е.П., Соколовская В.Т. Палеогеография голоцена и верхнего плейстоцена Центральной Монголии // Изв. АН Эстонской ССР. 1981. Т. 30, биология, № 1. С. 74–82.

Девяткин Е.В. Кайнозой Внутренней Азии (Стратиграфия, геохронология, корреляция). М.: Наука, 1981. 200 с.

Динесман Л.Г., Киселева Н.К., Князев А.В. История степных экосистем Монгольской Народной Республики. М.: Наука, 1989. 215 с.

Blyakharchuk T.A., Wright H.E., Borodavko P.S., van der Knaap W.O., Ammann B. Late Glacial and Holocene vegetational changes on the Ulagan high-mountain plateau, Altai Mountains, southern Siberia // *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*. 2004. Vol. 209. P. 259–279.

Blyakharchuk T.A., Wright H.E., Borodavko P.S., van der Knaap W.O., Ammann B. Late Glacial and Holocene vegetational history of the Altai Mountains (southwestern Tuva Republic, Siberia) // *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*. 2007. Vol. 245. P. 518–534.

Grunert J., Lehmkuhl F., Walter M. Paleoclimatic evolution of the Ubs Nuur basin and adjacent areas (Western Mongolia) // *Quaternary International*. 2000. Vol. 65/66. P. 171–192.

Herzschuh U., Winter K., Wümann B., Shijie Li. A general cooling trend on the central Tibetan Plateau throughout the Holocene recorded by the Lake Zigetang pollen spectra // *Quaternary International*. 2006. Vol. 154/155. P. 113–121.

Hilbig W. The vegetation of Mongolia. Amsterdam: SPB Academic Publishing, 1995. 253 p.

Ilyashuk B., Ilyashuk E. Chironomid record of Late Quaternary climatic and environmental changes from two sites in Central Asia (Tuva Republic, Russia) - local, regional or global causes? // *Quaternary Science Reviews*. - 2007. - Vol. 26. - P. 705-731.

Jiang W., Guo Z., Sun X., Wu H., Chu G., Yuan B., Hatte C., Guiot J. Reconstruction of climate and vegetation changes of Lake Bayanchagan (Inner Mongolia): Holocene variability of the East Asian monsoon // *Quaternary Research*. 2006. Vol. 65. P. 411–420.

Rhodes T.E., Gasse F., Lin R., Fontes J.-C., Wie K., Bertrand P., Gibert E., Melie' res F., Tucholka P., Wang Z., Cheng Z. A Late Pleistocene - Holocene lacustrine record from Lake Manas, Zunggar (northern Xinjiang, western China) // *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*. 1996. Vol. 120. P. 105–121.

Tarasov P.E., Harrison S.P. Lake status records from the former Soviet Union and Mongolia: a

continental-scale synthesis // Palaeohydrology as reflected in lake-level changes as climatic evidence for Holocene times. Special Issue: ESF Project European Palaeoclimate and Man 17. 1998. P. 115–130.

Tarasov P.E., Harrison S.P., Saarse L., Pushenko M.Ya., Andreev A.A., Aleshinskaya Z.V., Davydova N.N., Dorofeyuk N.I., et al. Lake Status Records from Soviet Union and Mongolia: Data Base Documentation. NOAA Paleoclimatology Publications Series Report 2, Boulder, 1994. 274 pp.

Tarasov P.E., Pushenko M.Ya., Harrison S.P., Saarse L., Andreev A.A., Aleshinskaya Z.V., Davydova N.N., Dorofeyuk N.I., et al. Lake Status Records from Soviet Union and Mongolia: Documentation of the Second Version of the Database. NOAA Paleoclimatology Publications Series Report 5. Boulder, 1996. 224 pp.

Van Campo E., Gasse F. Pollen- and diatom-inferred climatic and Hydrological changes in Sumxi Co basin (Western Tibet) since 13000 yrs. B.P. // Quaternary Research. 1993. Vol. 39. P. 300–313.

Vegetation dynamics of Mongolia / P.D. Gunin, E.A. Vostokova, N.I. Dorofeyuk, P.E. Tarasov, C.C. Black (eds.). Dordrecht: Kluwer Academic Publishers, 1999. 238 pp.

Winkler M.G., Wang P.K. The Late-Quaternary vegetation and climate of China // Global climates since the Last Glacial Maximum. Mineapolis: University of Minesota Press, 1993. P. 265–293.

Wünnemann B., Mischke S., Chen F. A Holocene sedimentary record from Bosten Lake, China // Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology. 2006. V. 234. P. 223–238.

LANDSCAPE AND CLIMATE DYNAMICS IN SOUTHERN SIBERIA AND NORTHERN MONGOLIA SINCE THE LATE GLACIAL

E.V. Bezrukova^{1,2}, P.P. Letunova^{1,2}, A.A. Abzaeva^{1,2}, N.V. Kulagina³, Prokopenko A.A.⁴

¹Institute of Archaeology and Ethnography SB RAS, Novosibirsk, Russia

²Vinogradov Institute of Geochemistry SB RAS, Irkutsk, Russia, bezrukova@igc.irk.ru

³Institute of the Earth Crust SB RAS, Irkutsk, Russia, kulagina@crust.irk.ru

⁴University of South Carolina, Columbia, SC, USA, sasha@geol.sc.edu

Despite increased palaeoenvironmental studies in the southern part of East Siberia and northeast Mongolia over the last decade, relatively little is known about the Late Glacial and Holocene vegetation changes in these regions. In particular, it could be addressed to the Lake Hövsgöl area where only a few poorly radiocarbon-dated pollen records are known. However, both regions harbour species-rich and very vulnerable ecosystems suffering from natural environmental changes as well as from human activity (eg, industrial deforestation). Natural vegetation regeneration and sustainable management, as well as conservation of less degraded areas are urgently needed. Both territories lay within the catchment areas of the great lakes – Lake Baikal and Lake Hovsgol, storing a great volume of the world fresh water supply.

The sequence of landscapes dynamics in the Hövsgöl region since the Last Glacial inferred from spore-and-pollen data appears to be as follows. The spectra corresponding to the Boelling-Allerød interstadial show a very particular pollen composition. The pollen belongs mainly to plants which currently grow within the southern belt of shrub tundra and forest tundra and form *Artemisia* steppes, swampy mid-montane *Betula nana*-type and *Duschekia fruticosa* shrub tundras, and open peatlands with assemblages of Cyperaceae, Ericaceae, and *Sphagnum*. The fact that Cyperaceae grew in low peatlands means that the latter were fed from soil (and not from atmosphere). Therefore, the pollen spectra record a strongly continental climate with deficient atmospheric moisture. Redeposited exotic grains found in the spectra (among *Tsuga*) result from erosion during permafrost degradation. The presence of abundant sedges and relatively abundant wormwood in spectra from southern frozen ground zone, as well as dominance of Poaceae, *Artemisia*, and herbs among non-arboreal species at low contents of tree pollen, are known to indicate broad occurrence of permafrost rocks (Gravis and Lisun, 1974). The forest-tundra vegetation of *Picea* and *Larix* keep dominance on transition from the

Younger Dryas to the Early Holocene indicating cold but not very dry environments. *Picea* apparently grew mainly along valleys and swampy delta edges and *Larix* preferred hillslopes. Decrease in *Betula nana*-type abundances indicates some degradation of permafrost while increase in *Duschekia* pollen attendant with decrease in xerophyte grasses, especially Chenopodiaceae, may record slightly higher winter moisture or, at least, a shift toward more mesophytic conditions. High abundance of *Lycopodium* spores, especially *Lycopodium pungens* is evidence of widespread open stretches of rocky hillslopes, shrub thickets, open woodlands, and highland tundras. Pollen spectra since 9.5 kyr BP record expansion of forest vegetation in a less continental climate. Larger areas became occupied by *Pinus sibirica* forests with *Abies sibirica* and *Picea* in the montane taiga belt and *Pinus sylvestris* and *Larix* forests in piedmont plains whereas the areas of shrub assemblages on cold wet soils and steppe species became reduced. The change may indicate higher moisture and warmer winter and summer temperatures. This vegetation pattern dominated in the Lake Hövsgöl region as long as 6.5 kyr BP and likely corresponded to the Holocene optimum with a cool and wet climate.

Comparison with the modern vegetation in Siberian and Mongolian mountains provides a better idea of climate conditions favorable for prolific growth of conifers. Conifers in Northern Mongolia are especially diverse on northern and eastern slopes of the Hentiyn Range where mean annual rainfall reaches 500 mm, and 20% moisture falls in winter. The present climate of the Hentiyn mountains is moderately continental, with mild winters and cool summers, which is favorable for broad occurrence of *Larix* and *Pinus sibirica* forests with minor *Abies sibirica* and *Picea* in the montane taiga belt. Therefore, mean annual rainfall during the Holocene optimum, which ended about 6 kyr BP, may have been 100–150 mm higher (up to 500 mm) and summer temperatures were slightly lower than at present, and that was critical for the expansion of the montane forest belt. The inference of lower aridization is also supported by a low steppe/forest index (SFI). The shrub assemblages of *Betula nana*-type and *Duschekia fruticosa* became more abundant between 6.5 and 5.5 kyr BP and valley *Picea* forests predominated over *Pinus sibirica* and *Pinus sylvestris* species slightly later, possibly, as a result of cooling, evaporation decrease, and, hence, local humidity increase. Steppe and steppe-forest vegetation predominated during a time span of 5.5 to 3.5 kyr BP when the climate apparently became drier and relatively warm. The vegetation patterns during the past 3.5–3 kyr were already similar to those at present. Shrubs upon sphagnum-sedge ground cover became restricted to the areas of wet substrate along river valleys and on shadow slopes.

Thus, the inferred vegetation and climate trends in the Lake Hövsgöl watershed for the past 14 kyr are compatible with those in the watershed of Lake Baikal and follow the general climate history of the Northern Hemisphere. Note, however, that the Holocene optimum in the Hövsgöl basin, with its particular physiography, was drier and warmer than in the surrounding regions of Baikal, China, and Far East which are either exposed to direct influence of oceanic (monsoon) climate or lie at the contact of large air flows.

New pollen records from Lake Hövsgöl provide new insights into the Holocene climatic evolution in northwest Mongolia and in the Baikal watershed. Comparison of Lake Hövsgöl pollen records with Lake Baikal records demonstrates that vegetation changes were of regional significance. The most notable changes (such as the decline of Siberian spruce in the early Holocene and the expansion of Scots pine in the mid-Holocene) appear to have been timetransgressive, occurring 1–2 kyr earlier around Lake Hövsgöl than around the central basin of Lake Baikal. Around Lake Baikal, this thermal optimum was the time of conifer forest expansion, whereas around Lake Hövsgöl conifers were in decline, apparently as a result of higher soil temperatures and lower humidity. Moisture availability in the Baikal watershed was higher during early the Holocene and declined rapidly between 7.5 and 6.5 ka.

This study was supported by RFBR awards 09-05-00123a, and the Baikal Archaeological Project.

REFERENCES

Gravis G.F., Lisun A.M. Rhythmostratigraphy of the Quaternary deposits of Mongolia according to pollen data, and the history of permafrost development // Geocryological conditions of the Mongolian People Republic. M.: Publishing House Science, 1974. P. 148–186.

ARIDIZATION INCREASING IN THE CENTRAL MONGOLIAN STEPPES AS A RESULT OF PASCUAL DIGRESSION
КЛИМАТИЧЕСКАЯ АРИДИЗАЦИЯ СТЕПЕЙ ЦЕНТРАЛЬНОЙ МОНГОЛИИ И ПАСТБИЩНАЯ ДИГРЕССИЯ

A.N. Zolotokrylin¹, P.D. Gunin², V.V. Vinogradova¹, S.N. Bazha², T.B. Titkova¹, E.V. Danzhalova²

¹*Institute of Geography RAS, Moscow, Russia, azolotkrylin1938@yandex.ru*

²*Severtsov Institute of Ecology and Evolution RAS, Moscow, Russia, monexp@mail.ru*

Pascual digression in steppe ecosystems of the Central Mongolia reaches the menacing dimensions, and owing to magnification of aridization of a surface layer becomes one of factors promoting an intensification of anthropogenic desertification. Through the albedo satellite data, the temperature of a surface and a vegetation index (NDVI) the areas with increased aridization of steppes in the Central Mongolia have been revealed for the last decade. In a South part of dry steppes as well as in desertified steppes such regions were defined, where aridization is caused by very strong pascual digression. The mesoscale localization of these areas is one of characteristic feature, which is typical for pascual digression. In a seasonal course it is possible to note a high degree of stability of the locuses with strong aridization, though the area borders are subject to some changes during a vegetative season. Diffusion of aridization up to N 47° and its increasing in dry steppes was marked in the last five years. Were determined, that pascual digression enhances aridization under absence of mean year negative trend of a regional precipitation.

В последние десятилетия степные экосистемы Центральной Монголии подвержены интенсивному антропогенному воздействию. Пастбищная дигрессия принимает угрожающие размеры и становится одним из факторов интенсификации антропогенного опустынивания вследствие усиления аридизации приземной атмосферы.

Усиление аридизации объясняется с помощью гипотезы мезомасштабного механизма опустынивания Оттермана (1974). Согласно гипотезе, деградация растительного покрова повышает альbedo поверхности. При достижении определенного уровня снижающейся зеленой фитомассы повышение альbedo вызывает снижение температуры поверхности. В результате происходит ослабление мезомасштабной конвекции, интенсивности образования облаков и выпадения локальных осадков. Таким образом, возникает мезомасштабная положительная обратная связь альbedo-осадки, поддерживающая антропогенное опустынивание. Ее особенность состоит в том, что на территории происходит мезомасштабное перераспределение осадков.

Следует отметить, что данный процесс мезомасштабной аридизации может происходить в условиях или невыраженного многолетнего тренда региональных годовых осадков, или даже слабого положительного тренда. В случае отрицательного многолетнего тренда региональных осадков процесс аридизации деградированных пастбищ может принять характер катастрофического опустынивания.

Принимая вышесказанное во внимание, представляется важным с помощью спутниковых данных об альbedo и температуре поверхности, вегетационном индексе (NDVI) выявить, во-первых, районы повышенной аридизации степей Центральной Монголии, образовавшиеся в результате пастбищной дигрессии и, во-вторых, определить тенденцию аридизации за последние десять лет.

Изучаемая территория ограничена 41–50° с. ш. и 103–112° в. д. и представляет все основные зонально-поясные типы растительности. Около 90% площади трансекты лежит в пределах административных границ Монголии. На севере сюда входят лесные экосистемы, представленные в основном псевдотаежными лиственничниками и подтаежными светлохвойными лесами (лиственница, сосна, береза и осина) на сезонно-мерзлотных лугово-таежных и лесных почвах (Ecosystems of Mongolia, Atlas, 2005). Но более двух третей экосистем трансекты представлены различными типами степной (включая незначительное количество лесостепной) растительности, занимающей в основном ее центральные и южные области (рис. 1). Из них широкую полосу в центральной части, в пределах Среднехалхаских

волнистых равнин, формируют дерновиннозлаковые сухие степи. Южнее они сменяются дерновиннозлаковыми и полукустарничково-дерновиннозлаковыми опустыненными степями, которые являются переходными типами между сухими и пустынными степями Монголии.

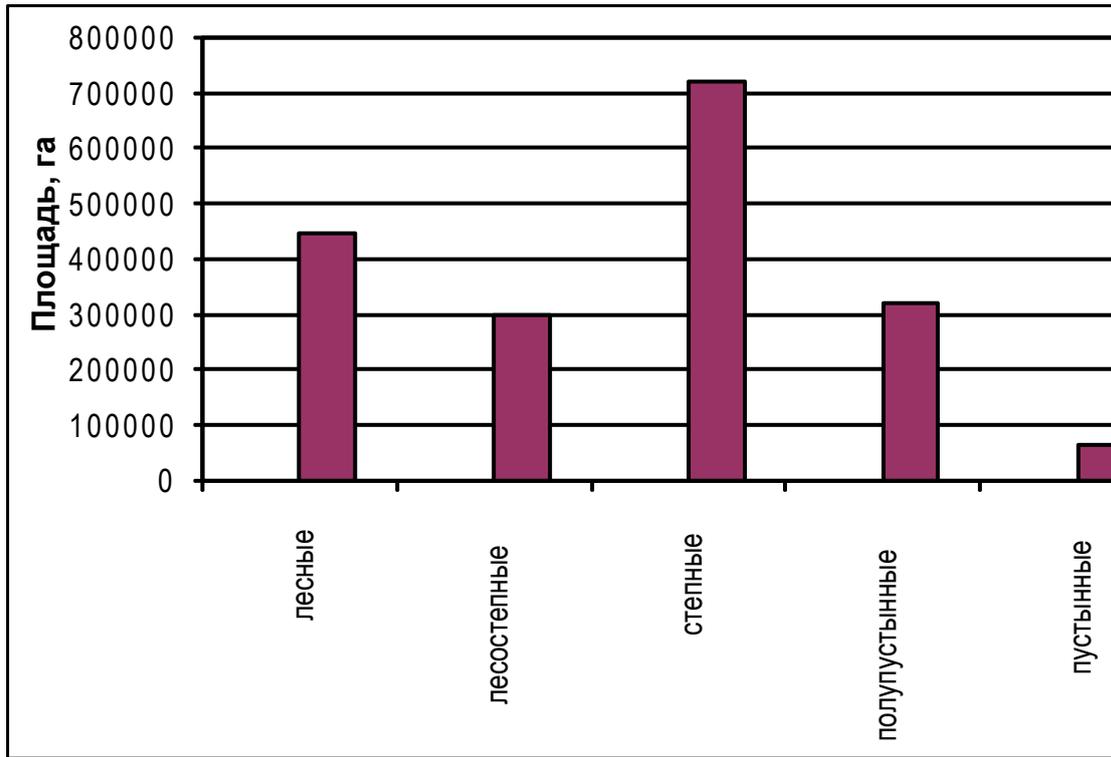


Рис. 1. Распределение зональных типов экосистем по площадям в пределах Монгольской части трансекты, га

Материалом для анализа послужили спутниковые синхронные данные альбедо, температуры поверхности, NDVI за май-август 2000-2009 гг., полученные с помощью радиометра MODIS (*Land Processes*). Пространственное разрешение данных составляет $0.05 \times 0.05^\circ$.

Методика исследования базируется на вычислении месячного коэффициента пространственной корреляции между альбедо и температурой поверхности на каждом участке размером $0.5^\circ \times 0.5^\circ$, включающем 100 пикселей (Золотокрылин, 2003). Отрицательная корреляция показывает распространение радиационного типа терморегулирования поверхности, поддерживающего положительную обратную связь альбедо-осадки и, следовательно, аридизацию. Районы с положительной корреляцией — это эвапотранспирационный тип терморегулирования с отрицательной обратной связью альбедо-осадки, сдерживающей аридизацию.

На рис. 2 показано географическое распределение районов с положительной и отрицательной корреляцией между альбедо и температурой поверхности в августе. Как видно из рисунка, положительная корреляция характерна для горнолуговых, луговых, настоящих степей и северной части сухих. Здесь осадков еще достаточно, чтобы сглаживать антропогенное воздействие на пастбища. В южной части сухих степей и в опустыненной степи четко выделяются районы с повышенной отрицательной корреляцией, в которых аридизация вызвана очень сильной пастбищной дигрессией. Отметим, что для отрицательной корреляции характерна выраженная мезомасштабная очаговость, типичная для пастбищной дигрессии.

Анализ сезонного изменения коэффициентов корреляции показывает высокую степень устойчивости очагов сильной аридизации, хотя границы ареала подвержены некоторым изменениям в течение вегетационного сезона.

Сравнение рис. 2а и 2б дает представление о тенденции аридизации, обусловленной пастбищной дигрессией в период 2005–2009 гг. по отношению к периоду 2000–2004 гг. Повышенная аридизация не отмечалась севернее 46.5° с. ш. в первый период. Во второй период

наблюдалось ее распространение почти до 47° с. ш. Наиболее сильной она была в восточной части трансекты.

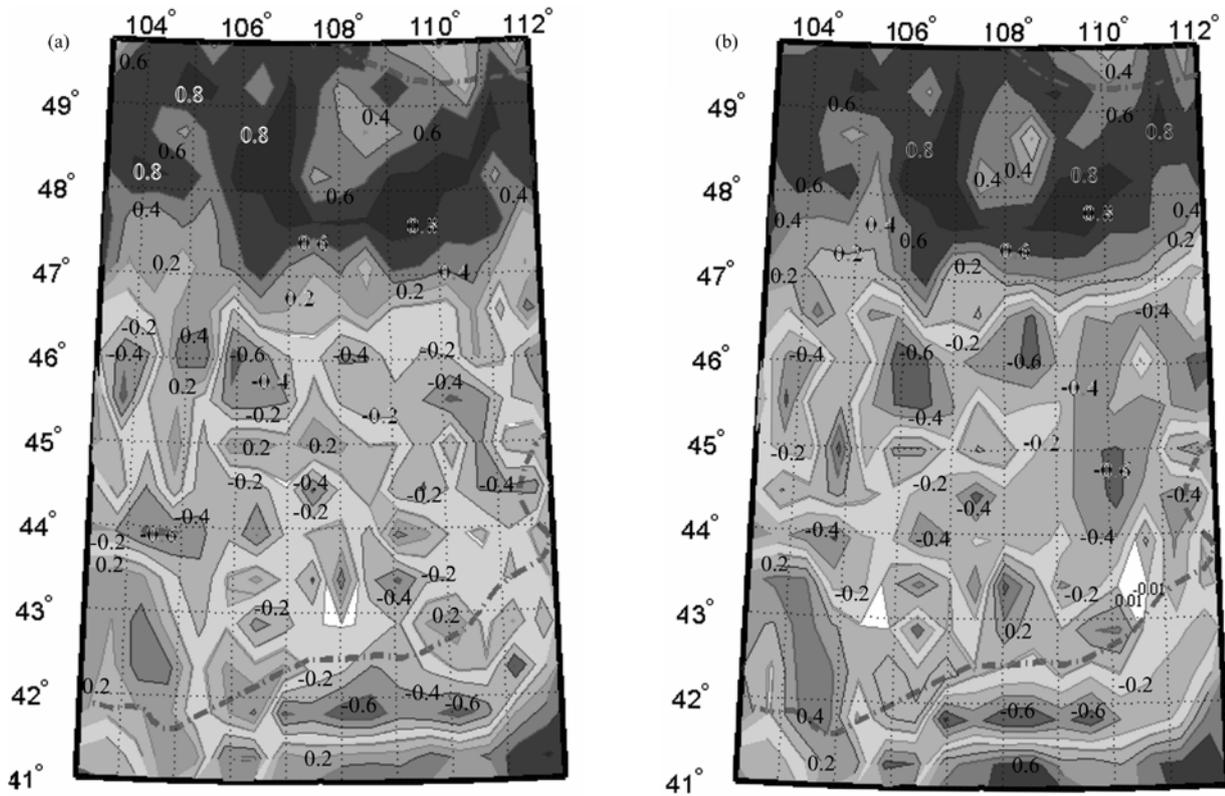


Рис. 2. Распределение районов с положительной и отрицательной корреляцией между альбедо и температурой поверхности в августе: (а) 2000–2004 гг., (б) 2005–2009 гг.

Важно отметить, что очаговость аридизации возросла во второй период. Одновременно произошло расширение областей с отрицательной корреляцией между альбедо и температурой поверхности в восточной и центральной частях трансекты и усиление отрицательной корреляции. Более высокий коэффициент корреляции свидетельствует об интенсификации аридизации. Отмеченные тенденции увеличения интенсивности и расширения площади аридизации в период 2005–2009 гг. по сравнению с периодом 2000–2004 гг. характерны для всего вегетационного сезона.

Усиление аридизации в период 2005–2009 гг. по сравнению с 2000–2004 гг. подтверждается изменением вегетационного индекса (NDVI). Сравнение среднего за сезон (май–сентябрь) NDVI для этих двух периодов показывает уменьшение вегетационного индекса в центральной части трансекты (44–47° с. ш., 107–112° в. д.), т. е. в тех же районах, где отмечается усиление отрицательной корреляции между альбедо и температурой поверхности. Значение вегетационного индекса NDVI, равное 0.19 и соответствующее сильно деградированным пастбищам, во второй период 2005–2009 гг. продвигается на север до 47° с. ш., что подтверждает аридизацию этих территорий, обусловленную сильной пастбищной дигрессией.

Таким образом, пастбищная дигрессия, которую можно рассматривать как первую фазу антропогенного опустынивания, усиливает аридизацию в условиях отсутствия многолетнего отрицательного тренда региональных осадков. Усиление происходит за счет формирования устойчивого радиационного типа терморегулирования поверхности и мезомасштабной положительной обратной связи альбедо-осадки. В последние пять лет отмечалось распространение аридизации до 47° с. ш. и ее усиление в сухих степях.

Данный вывод находится в полном соответствии с результатами, полученными в ходе полевых работ по оценке состояния пастбищных экосистем, проведенных в южной части Центрального аймака (сомон Баян-Унджул), практически на всей территории Среднегобийского

аймака и в северной части Южно-Гобийского аймака (сомон Булган). Многолетние исследования, проведенные в сомоне Баян-Унджул Центрального аймака, показали, что надземная фитомасса в мелкoderновиннозлаковых и ковыльных сообществах в 1970-х гг. составляла 10–16 ц/га, в настоящее время на этих же пастбищах надземная фитомасса не превышает 4 ц/га (Казанцева и др., 1988, 2008). На карте растительности МНР, подготовленной известными ботаниками Монголии и России Б. Дашнямом и А.А. Юнатовым в 1974 г., и кормоботанической карте, изданной в 1981 г., практически во всех сообществах сухой степи Среднегобийского аймака, занимающей его северную половину, среднегодовой летний поедаемый запас кормов в зависимости от типа пастбищ (тырсово-змеевковый, тырсово-змеевково-холоднопопынный, тырсово-змеевково-разнотравный с караганой мелколистной, тырсово-вострецово-осочковый и др.) варьировал от 5.3 ц/га до 8.4 ц/га. Самые последние результаты, полученные в процессе исследований в 2009 г., показали, что надземная фитомасса в изученных сообществах изменялась в основном в пределах 0.4–4.3 ц/га (Гунин и др., 2009).

В то же время статистические данные показывают, что с начала 90-х гг. XX века в Монголии наблюдается постоянный рост поголовья скота. Так, в Среднегобийском аймаке количество скота возросло по сравнению с началом 1990-х гг. в 1.4 раза и составило на начало 2009 г. 2040.6 тыс. голов, что привело к перевыпасу и деградации пастбищ. Это в свою очередь и явилось катализатором для усиления аридизации приземного мезоклимата и опустынивания пастбищных экосистем.

ЛИТЕРАТУРА

Гунин П.Д., Энх-Амгалан С., Ганболд Э., Данжалова Е.В., Баясгалан Д., Цэрэнханд Г., Голованов Д.Л., Петухов И.А., Дробышев Ю.И., Концов С.В., Бажа С.Н., Андреев А.В., Хадбаатар С., Ариунболд Э., Пурэвжав Г. Особенности деградации и опустынивания пастбищных экосистем Монголии (на примере Среднегобийского аймака) // Ботаникийн хурээлэнгийн эрдэм шинжилгээний бүтээл. 2009. № 21. С. 104–128.

Золотокрылин А.Н. Климатическое опустынивание. М.: Наука, 2003. 246 с.

Казанцева Т.И., Бажа С.Н., Гунин П.Д., Данжалова Е.В., Оюунцэцэг О., Дробышев Ю.И., Ариунболд Э., Эрдэнэбаатар Д. Аридизация климата и опустынивание пастбищных экосистем в южной части бассейна Селенги // Глобальные и региональные особенности трансформации экосистем Байкальского региона: Мат-лы Рос.-Монг. симпозиума. Улан-Батор. 9–11 сентября 2008. С. 68–74.

Казанцева Т.И., Гордеева Т.К., Даваажамц Ц. Продуктивность // Сухие степи Монгольской Народной Республики. Ч. 2. Л., 1988. С. 146–155, 193–201.

Gunin P.D., Vostokova E.A. (Eds.). Ecosystems of Mongolia. The Atlas. Moscow: General Scientific Edition, 2005. 48 pp.

Land Processes Distributed Active Archive Center <https://lpdaac.usgs.gov/lpdaac/products>

Otterman J. Baring high-albedo soils by overgrazing: hypothesized desertification mechanism // Science. 1974. Vol. 186, № 4163. P. 531–533.

EVOLUTION OF XEROPHYTE STEPPES OF THE SOUTH-EASTERN TRANSBAIKALIA UNDER GLOBAL WARMING

ЭВОЛЮЦИЯ КРИОКСЕРОФИТНЫХ СТЕПЕЙ ЮГО-ВОСТОЧНОГО ЗАБАЙКАЛЬЯ В УСЛОВИЯХ ГЛОБАЛЬНОГО ПОТЕПЛЕНИЯ

N.D. Davydova

Sochava Institute of Geography, SB RAS, Irkutsk, Russia, davydova@irigs.irk.ru

At the beginning of the new millennium sharp changes in climatic parameters on the steppe territory of the South-Eastern Transbaikalia are observed. Resulting from the reduction of mean annual precipitation quantity by 100 mm and from the reduction of negative mean annual temperature by 1.2° C, directional effects of cryo-

xerophyte steppes toward aridization are noted. Provided the continuation of the current trend, recurrence of the similar natural situation, existing on the territory far back in the past is possible, which corresponds to the second half of the Older *Dryas* on the Holocene range.

Познание последствий и закономерностей глобального изменения климата стало особенно актуально в последние 30 лет в связи с необычайно быстрым увеличением температуры в приземном слое атмосферы. Многие исследователи такой феномен связывают с увеличением концентрации парниковых газов в атмосферном воздухе в индустриальный период (Изменения климата..., 2002). Есть и другие предположения и концепции.

Вопрос о причине возникновения современного потепления является предметом спора и высказывания различных точек зрения, как это было в начале XIX века, когда Эммануил Кант высказал мнение, что жизнь на Земле должна прекратиться вследствие непрерывной потери воды Землю, т.е. усыхания. Большая работа по анализу ситуации на фактическом материале была проведена Л.С. Бергом (1958), который пришел к выводу, что климат в историческое время остается или постоянным, или даже замечается некоторая тенденция к изменению в сторону большей влажности. Все это он связывал с факторами внеземного происхождения. В настоящее время эффект потепления и его последствия проявляется, вероятно, в результате наложения антропогенных и космических факторов.

Изучение реакции геосистем на изменение климата проводилось на территории степей Онон-Аргунского междуречья (Сочава, 1964), которые являются продолжением степей Монголии и Китая и находятся на стыке трех физико-географических областей (горной Южносибирской, горной Байкало-Джугджурской, Центральноазиатской). Вследствие развития криоксерофитных степей в условиях дефицита влаги и недостаточной обеспеченности теплом, они рассматриваются нами как чуткий индикатор на глобальные изменения лимитирующих факторов природной среды — тепла и влаги. В результате региональных экспедиционных исследований, а также режимных наблюдений на ключевом участке Харанорского физико-географического стационара, действовавшего с 1961 по 1980 гг., получены новые материалы за период 2001–2009 гг. Объект расположен в отрогах Нерчинского хребта, представляя собой трансекту длиной 760 м и шириной 100 м, ориентированной с ЮЗ на СВ, с вершинами 837.78 м и 843.34 м.

Наблюдения ведутся в сопряженных рядах фаций: I — элювиальной типчаково-хамеродосовой вершины сопки; II — трансэлювиальной красоднево-пижмовой склона северной экспозиции; III — элювиально-аккумулятивной разнотравно-злаковой днища пади; IV — трансэлювиально-аккумулятивной вострцово-тырсовой нижней части склона южной экспозиции; V — трансэлювиальной разнотравно-тырсовой южного склона; VI — элювиальной тырсово-пижмовой древней (неогеновой) поверхности выравнивания.

В полевых условиях использовались в основном традиционные методы: ландшафтно-геохимический, описательный, сравнительно-географический, стационарные. В лаборатории применялись методы количественного химического анализа с применением спектрометров фирмы Perkin Elmer Optima 2000 DV и Analyst 400.

Количественные данные получены по ряду индикативных параметров, характеризующих условия среды и соответствующее этому состояние компонентов геосистем. Для оценки климата анализировались такие показатели, как атмосферные осадки, влажность почвы, температура воздуха и почвы. Группа оценочных параметров ответных реакций геосистем включала: жизненное состояние растительного покрова, видовое его разнообразие, проективное покрытие, запасы надземной и подземной фитомасс, а также физическое состояние поверхности почв, морфологические и физико-химические ее свойства, подвижное вещество.

В последнее десятилетие прошлого века климат степей Юго-Восточного Забайкалья стал существенно меняться в сторону потепления (Баженова, Мартынова, 2003). В начале нового тысячелетия проявилось также резкое снижение количества атмосферных осадков (рис.). Воздушные массы, несущие влагу, в большинстве случаев не достигают данной территории.

Возможно, это связано с усилением в этом районе антициклональной деятельности вследствие глобальных изменений температуры (Будыко, 2002).

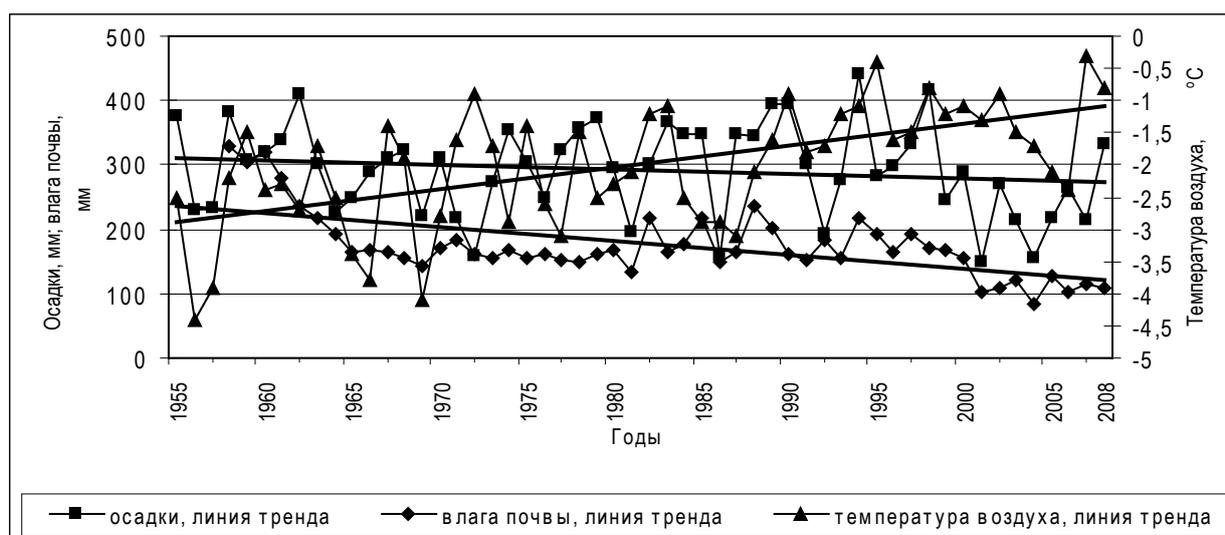


Рис. Гидротермические показатели Онон-Аргунской степи: 1 — атмосферные осадки, 2 — запасы влаги в слое почвы 0–100 см, 3 — среднегодовая температура воздуха

В результате анализа натуральных данных многолетних исследований на территории Онон-Аргунского междуречья, выявлены признаки изменения степных геосистем как во внешнем облике, так и на уровне ландшафтно-геохимических процессов. Это связано со снижением годового количества атмосферных осадков на 100 мм и уменьшением отрицательной среднегодовой температуры (-2.7°C) на 1.2°C (рис.). За период 2001–2007 гг. среднегодовое количество поступающей влаги составило 220 мм против среднего многолетнего — 320 мм. Указанные отклонения гидротермических показателей от нормы позволили отыскать на временной шкале голоцена периоды со сходными климатическими условиями. Наиболее близок к современной ситуации, складывающейся на территории Онон-Аргунского междуречья, временной отрезок (по аналогии с Монголией), соответствующий на шкале голоцена (по Иванову, 2006) второй половине позднего дриаса (DR-3) и предбореала (PB-1). Прежде всего, это касается количества выпадающих атмосферных осадков. Отклонения температуры значительно ниже и соответствуют в большей мере субатлантическому периоду (SA-2).

Установлен тренд снижения влагообеспеченности территории, которая проявляется в уменьшении запасов влаги в почвах (см. рис.) и водоемах, вплоть до исчезновения малых озер атмосферного питания. На их месте образуются солончаки преимущественно сульфатно-содового и содово-сульфатного засоления. Дефицит влаги также идентифицируется по усыханию древесных насаждений (лесополос, парков, отдельных видов деревьев), а также по увеличению ксерофильных видов в составе растительных сообществ, уменьшению высоты и плотности травостоя, снижению продуктивности степей и урожайности сельскохозяйственных культур. Это негативно сказывается и на жизни людей.

В результате исследований (Давыдова, Дубынина, 2003) выявлена взаимосвязь природных (глобальное изменение климата) и антропогенных (выпас, пожары) факторов, имеющих однонаправленный характер воздействия на степные растительные сообщества, которые ведут к перестройке их коренной структуры. Она протекает на фоне всеобщего дефицита влаги и проявляется в увеличении роли видов ксерофитов (ковыля сибирского, тонконога стройного, пижмы сибирской, ириса тигрового и мечевидного, востреца ложнопырейного, полыней Гмелина и метельчатой, караганы мелколистной, лапчаток и др.).

Вследствие торможения процессов миграции химических элементов в условиях иссушения отмечено некоторое накопление растворимых солей и снижение содержания гумуса в верхнем горизонте (0–5; 0–10 см) черноземов, глубокопромерзающих, мучнисто-карбонатных и лугово-черноземных почв. Полученные сведения согласуются с общей концепцией почвоведения, что

переход почв степи к условиям меньшей увлажненности сопровождается ростом засоленности, увеличением карбонатности и снижением гумусированности. Процесс преобразования может протекать по схеме: черноземы — каштановые и светлокаштановые почвы — солонцы.

Следовательно, в случае длительного сохранения прихода влаги в геосистемы на современном уровне, развитие настоящих и луговых степей Юго-Восточного Забайкалья станет осуществляться по пути их трансформации в сухие степи.

ЛИТЕРАТУРА

Баженова О.И., Мартыанова Г.Н. Оценка изменений геоэкологических условий субаридных районов Сибири при современном потеплении климата // География и природные ресурсы. 2003. № 4. С. 51–58.

Берг Л.С. Вопрос об изменении климата в историческую эпоху // Избранные труды. Т. II. М.: Изд-во АН СССР, 1958. С. 5–75.

Будыко М.И. Глобальное потепление // Изменения климата и их последствия. СПб: Наука, 2002. С. 7–12.

Давыдова Н.Д., Дубынина С.С. Растительный покров как индикатор аридизации степей Юго-Восточного Забайкалья // Устойчивое землепользование в экстремальных условиях. Улан-Удэ, 2003. С. 8–11.

Иванов И.В. Динамика атмосферного увлажнения и эволюция почв аридной области умеренного пояса севера Евразии в голоцене // Генезис и эволюция почв. М.: Наука, 2006. С. 7–34.

Изменения климата и их последствия. СПб: Наука, 2002. 269 с.

Сочава В.Б. Онон-Аргунская степь как объект стационарных физико-географических исследований // Алкучанский Говин. М.; Л., 1964. С. 3–23.

CLIMATICALLY INDUCED CHANGES IN PLANT COMMUNITIES: FLUCTUATIONS AND SUCCESSIONS

КЛИМАТОГЕННЫЕ ИЗМЕНЕНИЯ РАСТИТЕЛЬНОСТИ: ФЛУКТУАЦИИ И СУКЦЕССИИ

O.A. Anenkhonov

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

Importance of separating such terms as “fluctuations” and “successions” for assessing of consequences of climatically induced vegetation changes is emphasized. Analyzing terms (e.g. fluctuation, succession, chronosequence, successional threshold) commonly applying for vegetation dynamics performance, we assume that they are relevant to holistic concept. In case of vegetation dynamics going as described by individualistic concept, the phenomenological immanence of above mentioned terms disappears. Besides, we conclude that chronosequence analysis gives opportunity to reveal dynamic process as a succession properly. In order to determine the direction of dynamic process, analysis of ecological groups and functional plant types is appropriate.

Вопросы динамики растительного покрова представляют собой одно из актуальнейших направлений современной науки о растительности. Такое положение во многом связано с пристальным вниманием мирового сообщества к экологическим проблемам, вызванным изменениями в климатической системе Земли (Sala et al., 2000; и др.). Процессам климатогенной динамики растительности посвящена обширная литература (Fingerprints of Climate Change, 2001; Hampton et al., 2008; и мн. др.), тем не менее, знания о климатогенных процессах в разных типах растительности все еще весьма недостаточны.

По Б.М. Миркину и Л.Г. Наумовой (1998), флуктуации — разногодичные изменения фитоценозов, важнейшая их черта — относительная обратимость. Сукцессии представляют собой направленные и, как правило, необратимые изменения сообществ. Для разграничения

флуктуаций и сукцессий Т.А. Работнов (1992) предложил «норму восстановления», равную 10 годам. Этот критерий в определенной мере находит подтверждение в литературе (Borner et al., 1994; Inouye, Tilman, 1995; и др.). Однако в случае динамики растительных сообществ под воздействием глобальных и относительно постепенных изменений климата различие флуктуаций и сукцессий сильно осложнено. Между тем ответ на этот вопрос имеет значение для понимания того, имеем ли мы дело с обратимыми или необратимыми последствиями воздействия климатических изменений на растительный покров и, соответственно, какого растительного покрова нам следует ожидать в будущем? Исходя из этого, можно прогнозировать, какие модели использования экосистем, ландшафтов следует развивать в хозяйственной и природоохранной деятельности, какие потери следует предполагать? Какие меры следует предпринимать, чтобы климатические изменения не накладывались на антропогенные как эффект синхронизации? Эти предпосылки требуют выработки *формальных* градаций, разделяющих динамический процесс в растительности на этапы. Для этого используется термин «хроносиквенс», позволяющий исключать «климатический шум» межгодовых колебаний (Bakker et al., 1996; и др.). Переход сообществ через формальный порог между хроносиквенсами можно расценивать в качестве индикатора необратимости процесса, т.е. принятия его уже в качестве сукцессии. Теоретически такой порог — это «точка невозврата» при расширении «амплитуды колебаний» параметров сообществ. Собственно процесс флуктуаций наглядно описал Т.А. Работнов (1984). Как мы полагаем, данную им характеристику флуктуаций можно обобщить: изменения сообществ осуществляются путем роста/снижения парциальной активности видов и/или групп видов в сообществах. Следовательно, «порог» — такое изменение, при котором существенно и необратимо меняются параметры активности «ключевых» видов/групп видов, определяющих функционирование сообщества. Все эти положения уместны при реализации механизма сукцессии по типу цепей (холистическая концепция). В случае же реализации динамики растительности по пути, описываемому индивидуалистической концепцией, проявляется континуальность связи флуктуаций и сукцессий. При этом такие понятия, как «порог» и «сукцессионный шаг», уже неприменимы, грань между понятиями «флуктуация» и «сукцессия» стирается, а степень условности понятия «хроносиквенс» повышается.

Очевидно, что для оценки функционального состояния сообществ релевантным показателем является продукция фитомассы. Таким образом, в качестве «ключевых» следует расценивать те виды/группы видов, которые вносят наибольший вклад в продуцирование фитомассы, а динамика их продуктивности в состоянии быть показателем, отражающим сукцессионные изменения сообщества.

В англоязычной литературе при описании сукцессий растительности распространено использование понятия «паттерны», подразумевающего состояние состава и структуры сообщества (или комбинаций сообществ) в тот или иной период его существования, в масштабе, выбираемом в зависимости от задач исследования (Kershaw, 1974; и др.). По нашему мнению, в качестве паттернов для разграничения флуктуационной и сукцессионной динамики можно принять синтаксоны растительности. Для оценки климатогенной динамики растительности показателен анализ соотношений между экологическими группами, а также между функциональными типами растений (Woodward, Cramer, 1996; Esther et al., 2010; и др.). Климатическая «чувствительность» указанных групп растений позволяет рассматривать их в качестве индикаторов *направленности* климатогенной сукцессии. Относительно малые изменения будут индцироваться изменениями на низших уровнях синтаксономии, а глубокие — на уровне синтаксонов высокого ранга.

Для расчетов результатов климатогенных сукцессий уже разработаны многочисленные подходы. Так, показаны возможности применения марковских и немарковских цепей при анализе климатогенных сукцессий (Логофет, 2010; и др.), предложен подход с использованием моделирования сукцессии по типу фазовых переходов (Исаев и др., 2010). Количественный анализ флуктуаций возможен, в частности, с использованием коэффициентов автокорреляции (Миркин и др., 1989), разработаны и компьютерные программы. В работе J.P. Bakker et al.

(1996) упомянуты методы учета динамических процессов без разделения их на флуктуации и сукцессии. Имеются и методы для выявления различий между трендами и флуктуациями (Huisman et al., 1993; и др.).

Bakker J.P. et al. (1996) отмечают, что наиболее подходящим для разделения трендов (сукцессий) и флуктуаций все же остается метод постоянных пробных площадок. В связи с этим, мы считаем, что необходимо заложить репрезентативную сеть площадок: 1) в экотонных зонах, таких как, например, лесостепь; 2) в условиях среды, отражающих зональные типы на равнинах и ландшафтообразующие типы в крупных горных системах. Программа таких исследований может включать изучение экологических групп и функциональных типов на этих площадках во времени. При этом для отражения сукцессионных процессов в растительности будет важным учет динамики продуктивности «ключевых видов» на фоне таковой всего сообщества, а для оценки направленности процесса можно анализировать динамику участия в сообществе экологических групп и функциональных типов растений. Наличие синтаксономических «адресов» для заложенных пробных площадок сделает возможным оценивать масштабы и глубину динамических процессов в растительности и осуществлять экстраполяции как географического, так и прогнозного плана. Несомненно, что для реализации такой программы необходима широкая кооперация, согласованные методически и методологически действия, обмен информацией и регулярное обсуждение результатов наблюдений.

Таким образом, климатические изменения вызывают разномасштабные динамические процессы в растительности. Часть из них представляют собой флуктуации и сукцессии как таковые с феноменологической точки зрения, часть же может быть отнесена к тем или к другим по степени различия хроносиквенсов.

Работа выполнена в рамках проекта РФФИ № 10-04-91159_ГФЕН_а.

ЛИТЕРАТУРА

- Исаев А.С., Суховольский В.Г., Хлебопрос Р.Г.* Метамоделные подходы к описанию критических явлений в лесных экосистемах // *Лесоведение*. 2010. № 2. С. 3–13.
- Логофет Д.О.* Марковские цепи как модель сукцессии: новые перспективы классической парадигмы // *Лесоведение*. 2010. № 2. С. 45–59.
- Миркин Б.М., Розенберг Г.С., Наумова Л.Г.* Словарь понятий и терминов современной фитоценологии. М., 1989. 223 с.
- Миркин Б.М., Наумова Л.Г.* Наука о растительности (история и современное состояние основных концепций). Уфа, 1998. 413 с.
- Работнов Т.А.* Луговоедение. 2-е изд. М., 1984. 320 с.
- Работнов Т.А.* Фитоценология. 3-е изд. М., 1992. 350 с.
- Bakker J.P., Olff H., Willems J.H., Zobel M.* Why do we need permanent plots in the study of long-term vegetation dynamics? // *J. of Vegetation Science*. 1996. Vol. 7. P. 147–156.
- Bornette G., Amoros C., Beffy C.C., Beffy J.L.* Succession and fluctuation in the aquatic vegetation of two former Rhône River channels // *Vegetatio*. 1994. Vol. 110. P. 171–184.
- Esther A., Groeneveld J., Enright N.J. et al.* Sensitivity of plant functional types to climate change: classification tree analysis of a simulation model // *J. of Vegetation Science*. 2010. Vol. 21. № 3. P. 447–461.
- Fingerprints of climate change — adapted behavior and shifting species ranges / Ed. by Walter G.-R., Burda C.A., Edwards P.J. New York, 2001. 338 p.
- Hampton S.E., Izmet'eva L.R., Moore M.V., et al.* Sixty years of environmental change in the world's largest freshwater lake – Lake Baikal, Siberia // *Global Change Biology*. 2008. Vol. 14. P. 1–12.
- Huisman J., Olff H., Fresco L.F.M.* A hierarchical set of models for species responses analysis // *J. of Vegetation Science*. 1993. Vol. 7. P. 693–706.
- Inouye R.S., Tilman D.* Convergence and divergence of old-field vegetation after 11-yr of nitrogen addition // *Ecology*. 1995. Vol. 76. P. 1872–1887.

Kershaw K.A. Quantitative and dynamic plant ecology. 2-nd Edition. N-Y., 1974. 508 p.

Sala O.E., Chapin III S., Armesto J.J., et al. Global Biodiversity Scenarios for the Year 2100 // *Science*. 2000. Vol. 287. P. 1770–1774.

Woodward F.I., Cramer W. Plant functional types and climatic changes: Introduction // *J. of Vegetation Science*. 1996. Vol. 7, № 3. P. 306–308.

VARIABILITY AND STABILITY OF STEPPE ECOSYSTEMS OF TRANSBOUNDARY TERRITORY OF THE UBSUNURSKY HOLLOW UNDER THE INFLUENCE OF CLIMATIC AND ANTHROPOGENOUS FACTORS

ИЗМЕНЧИВОСТЬ И УСТОЙЧИВОСТЬ СТЕПНЫХ ЭКОСИСТЕМ ТРАНСГРАНИЧНОЙ ТЕРРИТОРИИ УБСУНУРСКОЙ КОТЛОВИНЫ ПОД ВЛИЯНИЕМ КЛИМАТИЧЕСКИХ И АНТРОПОГЕННЫХ ФАКТОРОВ

S.S. Kurbatskaya

Ubsu-Nur center of the biospheres research of the Republic Tuva and SB RAS, Kyzyl, Russia, ubsunur_center@mail.ru

Changes of steppe ecosystems under the influence of climatic and anthropogenous factors are tracked at isolation from a pasture and at a pasturable mode. Efficiency and phytomass stocks were thus measured in dynamics, the humus in soil along with change of an amount of precipitation and temperatures of air within 15 years. For 15 years of supervision the steppe has passed some stages successions from a static condition to digression, dying off of valuable fodder plants, then change by their weeds and, at last, steppe restoration, return to an initial condition of herbage of different-grasses-cereal community.

Убсунурская котловина — уникальный объект природы в центре Азиатского континента. Замкнутый бассейн озера Убсу-Нур, обрамленный высокими и средними горами, расположен на стыке южной тайги и северных пустынь и является трансграничной территорией России и Монголии.

Климат Убсунурской котловины отличается исключительно высокой контрастностью, обусловленной ее положением в Центре Азии, и является переходным от восточносибирского к центральноазиатскому. В этой котловине бывают резкие, наибольшие на Земле, контрасты годовых и суточных температур, малое количество осадков, устойчивая и продолжительная зима с сильными морозами и жаркое лето. Амплитуда абсолютных температур воздуха составляет в среднем 83.7°C.

В Убсунурской котловине (Российская часть), в пределах буферной и охранной зон кластеров биосферного заповедника «Убсунурская котловина», на трансграничной территории проводится мониторинг состояния и изменения степных экосистем под воздействием климатических и антропогенных факторов. Изменяемыми параметрами служат динамика изменения продуктивности и запаса растительного вещества степных экосистем, гумуса каштановых почв при различных климатических условиях и разной пастбищной нагрузке.

Экспериментальные мониторинговые участки выбраны на разных вариантах сухой степи: сухая песчаная карагановая (Цугер-Элисс-8), сухая настоящая (Ончалан-7), опустыненная (Торе-Холь-6) степи. На каждом варианте степей заложен участок, изолированный от выпаса, и участок, находящийся в пастбищном режиме.

Наблюдения ведутся с 1994 года. На мониторинговых участках нами прослежены следующие параметры: динамика чистой первичной продукции и запасов растительного вещества надземной и подземной частей растений; определялись содержание гумуса в почве и почвенная влага. Общий запас растительного вещества состоит из надземной и подземной частей растений. Надземные части растений разделялись на живую (G) и мертвую массы, состоящую из ветоши (D) и опада (L). Подземные органы, взятые с глубины до 20 см, также разделялись на живые (R) и мертвые (V) корни по общеизвестным методикам. Измерения

параметров проводились через каждые 3 года с начала эксперимента. В эксперименте учитывались метеорологические данные метеостанции Эрзин.

Результаты наблюдений. Степи Южной Тувы за последние десятилетия претерпели многочисленные катаклизмы при их хозяйственном использовании. Девяностые годы стали социальным экспериментом в степных пастбищных экосистемах. Этот процесс нашёл своё отражение в современной динамике растительности: дигрессионный процесс сменился восстановительным, за исключением локальных территорий вблизи водопоев и поселений.

В таблице 1 отражены динамика изменения продуктивности и запасов фито- и мортмассы растительного вещества в течение 15-летнего периода наблюдений.

На каждом варианте степей только с 4-го года наблюдений в огороженных участках (изолированных от выпаса) накапливается мёртвая растительная масса — ветошь. С этого времени доля мёртвых корней в подземной массе начинает расти, появляются мёртвые дернинки злаков (тонконога, типчака) и разнотравья, начинается деградация растительного покрова. На пастбищных участках степей живая зеленая масса начинает преобладать с 1998 г. В это же время было отмечено, что заповедные участки степи также деградировали, как и при чрезмерном использовании. Последующие годы показали, что происходящий процесс является одним из этапов развития степи.

Таблица 1. Динамика изменения продуктивности, запасов фитомассы и гумуса почв в различных вариантах степей при изоляции от выпаса и пастбищном режиме, г/м²

Степи	Опустыненная степь (Тере-Холь-6)					Сухая настоящая степь (Ончалаан-7)					Сухая карагановая степь (Цугер-Элисс-8)				
	НФМ*		ПФМ**		Г у - мус, %	НФМ		ПФМ		Г у - мус, %	НФМ		ПФМ		Г у - мус, %
	1	2	1	2		1	2	1	2		1	2			
1994	106		440		1.36	253		830		1.84	126		1241		1.79
1997	87	96	1416	1734	1.1	165	206	2309	2537	2.1	227	224	1663	2131	1.98
2000	168	131	1634	1337	1.44	414	447	3196	1861	1.95	235	277	2249	1650	1.89
2003	71		1866		2.56	141	47	323	2183	2.41	199	75	411	2531	2.45
2006	142		2092		1.96	348	1041	1597	794	2.38	203	502	1662	512	2.4
2009	180		714		1.88	304		935		2.89	213	183	1332	1010	1.58

Примечание: * — надземная фитомасса; ** — подземная фитомасса; 1 — пастбищный режим; 2 — заповедный режим

Погодные условия 1988, 1994, 1997, 2000, 2002 гг. характеризовались как неблагоприятные. Годовая сумма осадков была незначительной, среднегодовая температура воздуха колебалась от –3 до –5.2°C (табл. 2). Зимы были очень суровыми, по сравнению с предыдущими годами (с 1985 г.).

Таблица 2. Среднегодовые температуры воздуха и суммы осадков

Годы	1985	1988	1992	1994	1997	2000	2002	2003	2005	2006	2008	2009
Осадки, мм	253.3	166.5	187.5	132.6	130.7	149.0	115.1	266.2	214.7	156.7	122.3	193.1
Температура, °C	–2.7	–3.2	–3.9	–3.0	–5.2	–4.1	–5.3	–3.0	–2.9	–	–	–3.6

В 2000 году отмечено увеличение общего запаса фитомассы на пастбищных участках, а на заповедных участках, за исключением участка Цугер-Элисс, наблюдалось его уменьшение. В структуре растительной массы огороженных участков мортмасса значительно преобладала над живой, наблюдалось отмирание ценных кормовых растений ковыля и тонконога, полыни холодной, а также тимьяна, вместо растений появились бурые подушечки дернинок. На пастбищных участках в основном преобладала живая масса над мертвой, что свидетельствует о хорошем состоянии степи.

Наблюдения за динамикой почвенного гумуса показали общее увеличение содержания гумуса в каштановых почвах всех трех экспериментальных участков. Почвенный гумус, как и все другие компоненты экосистемы, подвержен изменениям, являясь динамичным элементом экосистемы.

Последующий год наблюдений (2003) был многоснежным с теплой зимой и достаточно сухим, количеством осадков в сухой степи не превышало 266 мм. В мае обильно цвели эфемеры — тюльпан одноцветковый и касатик русский. К этому времени пастбищная нагрузка была почти полностью снята. Общий запас фитомассы во всех вариантах степей с заповедным режимом был ниже, чем на пастбищных (табл. 1). На заповедных участках продолжалось отмирание злаков (тонконога на 90%, типчака — 50%, ковыли — 50%) и разнотравья (тимьяна монгольского и змееголовника двуцветного), и развитие сукцессионного процесса. На участке Цугер-Элисс, на месте отмерших злаков активно поселялись горноколосник русский, солянка холмовая, липучка незабудковая, карагана карликовая и ирис Лоча. На огороженных участках растительность была разрежена, проективное покрытие уменьшилось до 50–55%, по сравнению с первоначальными 70%.

Начиная с 2005 года, на огороженных участках происходило вытеснение рудеральных и сорных растений и восстановление настоящих степей, полностью восстановившихся в 2006 и 2007 годах. Об этом можно судить по увеличению обилия житняка и других злаков, исчезновению солянки холмовой, липучки незабудковой, редкими стали кохия простертая и горноколосник.

В 2009 году наблюдалось обилие узлов кущения и уменьшение чистой первичной продукции и общего запаса растительного вещества, причина пока не выяснена.

В заключение можно констатировать, что главным образом на огороженных участках прослежены следующие этапы сукцессии растительности: 1 — статическое состояние (до 1997 г.); 2 — накопление мертвой органической массы (опада и ветоши) в надземной и подземной частях растений (до 2000 г.); 3 — состояние дигрессии на заповедных участках — отмирание доминирующих злаков и разнотравья и выпадение их из травостоя, заселение сорными видами мест выпавших степных растений в 2003 г.; 4 — выпадение сорных растений, обильное появление злаков, восстановление степей при заповедном режиме (2006–2007 гг.).

DUST STORMS IN CENTRAL ASIA

Leah Orlovsky, Rodica Indoitu, Nikolai Orlovsky

*Jacob Blaustein Institutes for Desert Research, Ben-Gurion University of the Negev,
Israel, orlovsky@bgu.ac.il*

Introduction. Dust/sand storms are common events in the arid and semi-arid regions of Central Asia. Until not long ago, dust/sand storms were generally seen as local phenomena in the arid and semiarid areas, although sometimes at a large scale, but in the last three decades the world has become concerned about the global dust storm phenomena. Regardless of their size or strength, dust storms sources usually are associated with topographical lows located in arid regions with annual rainfall under 200–250 mm. Dust/sand storms (DS) are common phenomena that occur in the arid and semi-arid regions of Central Asia (O'Hara et al., 2000). Our study concerns the plain areas of Turkmenistan, Uzbekistan and Kazakhstan, which have many common natural and socio-economic characteristics. The deserts of the region are characterized by strong winds, scarcity of vegetation cover, long dry summers and frequent repetition of soil and atmospheric droughts (Dedova et al., 2006; Orlovsky et al., 2005). This vast region, covered by a great variety of desert types, represents a significant source area of mineral and salt aerosols in Central Asia, along with the Gobi and Taklimakan Deserts.

The majority of the scientific observations on dust storm processes in this region were executed during the USSR epoch, mainly before 1980. Romanov (1960) was the first to classify and analyze the frequency and duration of DS for the period 1951–1955 at 40 meteorological stations located all over Middle Asia. Orlovsky (1962) published the analysis of frequency and duration, as well spatial-temporal distribution of DS for Turkmenistan (Orlovsky et al., 2005). In the 1970s a number of researchers (Chirkov, 1970;

Klimenko and Moskaleva, 1979; Sapojnikova, 1970) concluded that DS activities over the arid territories of USSR are unevenly distributed due to the large variety of soil surfaces, and increase their frequency from the south to north. Zolotokrylin (1996) studied the geographic distribution of dust storms in Turanian lowland by observations from 65 meteorostations for the period of 1936–1985. He revealed the location of the stable dust emission sites in Turkmenistan and Eastern Aral Sea confined with the large sandy massifs. Starting in 1960s the Central Asian region is being experienced major land use changes. During a short time one of the major consequences of the land management/use transformations were the increase of dust storms frequencies for the entire Middle Asian territory. As a result of the Aral Sea level drop, new dry areas occurred which became active hotspots of dust storm outbreaks (Galaeva and Idrysova, 2007; Wiggs et al., 2003).

Dust storms occurring in Central Asian natural and anthropogenic deserts, transport large amounts of material for long distances and significantly affect agricultural activities and human health. Agricultural activities mainly suffer from the intensification of the salinization process of the soils, mineralization increase of surface and ground waters, degradation of pastoral vegetation and decrease of agricultural crops. A powerful source of dust and salt is the newly dried bottom of the Aral Sea, which for millions of years was the receiver of the salts of the Aral basin, and for the last three-four decades served as accumulator of fertilizers, pesticides, herbicides and other chemicals washed from the irrigated massifs of the region (Dedova et al., 2006; Galaeva and Idrysova, 2007; Orlovsky and Orlovsky, 2001). Orlovsky et al. (2005) analyzed the source regions, transportation trajectories and deposition regions of dust storms in the Aral Sea region; they defined the products of Aeolian erosion carried from the dried bottom of the Aral Sea as white dust storms.

In this paper we discuss the results of the statistical analysis of data sets collected in 1936–2000. The research was conducted in the three Central Asian countries: Turkmenistan, Uzbekistan and southern Kazakhstan. Dust storm observations were made at meteorological stations located in particular areas of interest. The data includes the dust database collected at almost 400 meteorological stations (MS) for the periods 1936–1960 and 1936–1980, and 1980–2000.

Results. The vast expanse of deserts across Central Asia experience dust storms of different frequencies, intensities and durations. Due to the great variety and abundance of loose material available for transportation, the frequency of DS events varies over a wide range of 5 to 100 days of DS/year (Dedova et al., 2006; Galaeva and Idrysova, 2007; Shardakova and Usmanova, 2006). Compared to international data, these numbers point to the fact that Central Asia is one of the regions most affected by dust storms in the world. For instance, one of the major source regions of DS are the Sahel-Sudan region and China. During the 1971–1973 droughts in the Sudan-Sahel region, DS occurrences reached a maximum of 80 days of DS/year (Goudie and Middleton, 2006; Middleton, 1985). Respectively in China during the last century, the number of DS occurrences varied from 10 to 60 days of DS/year (Goudie and Middleton, 1992).

Detailed observations of data obtained during the period of 1936–1960 at up to 366 meteorological stations through Central Asia reveal that at that time the region was suffering from frequent DS outbreaks. The mean frequencies of DS increase from the Northern Province, with around 30 DS days/year, to the Southern Province, where this number becomes much higher. In the Northern Province there were two large centers with high frequencies of DS: the Naryn and Voljsko-Uralsk sands in the North of the Caspian Sea, and sandy and clayey Kyzylkum desert of the eastern region of the Aral Sea. The maximum number of days with DS was registered at Komsomoletz MS (38days/year) on the solonchak deserts of the northeastern shore of the Caspian Sea. Other hotspots of DS frequencies are the northern areas of the Aral Sea, at Aralsk MS (35days/year), and Kyzyl-Orda MS with 33days/year.

In the Southern Province the major DS source area is the Karakum Desert, which covers almost entirely the territory of Turkmenistan. During 1936–1960 DS outbreaks over Turkmenistan were spread from west to east, appearing as a “belt” of very high DS frequencies. During the time, unanimously the researchers have been considering the Karakum Desert as the most active source of dust and sand storms in Middle Asia (Orlovsky et al, 2005; Romanov, 1960; Sapojnikova, 1970). The sources with numerous DS events were stretching from the Pricaspian sands in the west, with

the maxima at Kurzugul — 81 days/year, Molla-Kara — 71 days/year, Nebit-Dag — 60 days/year, Djebel — 41 days/year, Bugdaily — 62 days/year, Aydin — 52 days/year, and Yazkhan — 49 days/year. Further, the so called “belt” was persisting through the Central Karakum Desert (Erment — 56 days/year, Bokhordok — 48 days/year, Uch-Adji and Cheshme — 50 days/year, Repetek — 62 year), up to the Amu-Darya River valley, in the east.

To ascertain how DS frequency and extent was changing for the time after 1960 we used the means for 1936–1980. Respective data was plotted into a map, which shows significant changes of DS activities over the entire region compared to the period previous to 1960. It is obvious that after 1960 DS occurred less frequently, less than 30 days/year, and the major source regions shrunk considerably. The spatial pattern of DS for the period 1960–1980 indicates increasing occurrences of DS at two observation sites. The strongest increases of DS events were registered in the southern part of Balkash region at Bakanas MS and in the northern region of Aral Sea, at Chelkar. At Balkash DS frequency increased on average from 47 to 55 days of DS/year, respectively at Chelkar MS the data shows an increase of DS events from 55 to 60 days of DS/year. Easy to notice from the map 1936–1980, the main change of the northern Caspian Sea source area of DS activities was its shifting to the east.

The frequency and area changing of DS for the time after 1980 was displayed using the averages of days with DS 1970–2000. Compared to the previous decades, the years following 1980 show the most visible evidence of considerable DS frequency decrease during the last century. The entire region suffered mainly from DS outbreaks less than 10 days/year. The major hotspots of DS outbreaks in the previous decades, diminished considerably after 1980s. A new major source area of DS for the last decades of the 21-century, was the northern areas of the Aral Sea. At the Aral Sea MS the number of DS events almost doubled, from less than 40 days in the previous decades, to an average of 64 days with DS/year during 1980–2000.

Conclusions. Analysis of data on dust storms for the last century demonstrated the clear downward trend of dust storm frequency in Central Asia. The significant decreasing trend was most obvious over the Karakum Desert where DS occurrences reduced from an average of more than 30 days per year to less than 20 days per year. Analysis of the spatial distribution of dust storms suggested four main source areas of dust storm occurrences, which during the time suffered changes such as shifting and shrinking their spots. The main spatial changes were obvious in the Northern Caspian deserts, where DS occurrence areas shrunk significantly, and also suffered a few hundred kilometers shift to the east. The Karakum and Kyzylkum Deserts, as well the south Balkhash Lake area, suffered important surface reduction of the major source areas of DS activities. As the all hotspots of highest DS activities showed decreasing trend of dust emissions, the new Aralkum Desert became very active in the last two decades of the 20th century. The significant decreasing trend of dust storm frequency could be easily explained by the recovery of deserts ecosystems due to reduced anthropogenic activities in the region after 1980s. But as it was mentioned by a large number of researchers, the decreasing trends of DS frequencies were registered worldwide; so the human impact on Aeolian activities in Central Asia may be not a single and/or major factor.

Acknowledgements. Funding for this research was provided by European Commission in the framework of the CALTER project “Long Term Ecological Research program for Monitoring Aeolian Soil Erosion in Central Asia (INCO-CT-2005-516721).

REFERENCES

Chirkov Y.A. Repetition of dust storms over the USSR territories and the possibility of their prediction (Повторяемость пыльных бурь на территории СССР и возможность прогноза их возникновения) // Тр. Гидрометцентра СССР. 1970. № 69. С. 109–119. (in Russian)

Dedova T.V., Semeonov O.F., Tuseeva N.B. Division of Kazakhstan territory by the repetition of very strong dust storms, and based on meteorological observations, remote sensing images and GIS // Т.В. Iskakov, Medeu A.R. (eds.). Republic of Kazakhstan. Environment and Ecology. Almaty, 2006. (In Russian).

Galaeva O.S., Idrysova V.P. Climatic characteristics of dust storms in Circum-Aral region (Климатические особенности пыльных бурь Приаралья) // Hydrometeorology and Ecology.

2007. N 2. P. 27–39. (In Russian).

Goudie A.S., Middleton N.J. The changing frequency of dust storms through time // *Climatic Change*. 1992. N 20. P. 192–225.

Goudie A.S., Middleton N.J. Changing Frequencies of Dust Storms // D. Czeschlik (ed.). *Desert Dust in the Global System*. Springer, Heidelberg, Germany, 2006.

Klimenko L.V., Moskaleva L.A. Repetition of dust storms over USSR territories (Повторяемость пыльных бурь на территории СССР) // *Meteorologia and hydrologia*. 1979. N 9. P. 93–97. (In Russian).

Middleton N.J. Effect of drought on dust production in the Sahel // *Nature*. 1985. N 316. P. 431–434.

O'Hara S.L., Wiggs G.F.S., Mamedov B., Davidson G., Hubbard R.B. Exposure to airborne dust contaminated with pesticide in the Aral Sea region // *The Lancet*. 2000. N 355. P. 627–628.

Orlovsky L., Orlovsky N. White sandstorms in Central Asia // Y. Youlin, V. Squires and L. Qi, (eds.). *Global alarm: dust and sand storms from the world's drylands*. United Nations, 2001.

Orlovsky L., Orlovsky N., Durdiev A. Dust storms in Turkmenistan // *J. of Arid Environments*. 2005. N 60. P. 83–97.

Romanov N.N. Dust Storms of Middle Asia (Пыльные бури в Средней Азии). SAMFV, Tashkent, 1960. (In Russian).

Sapojnikova S.A. Map of dust storm frequency over the southern territories of USSR and their adjoining territories (Карта-схема числа дней с пыльными бурями в южной зоне СССР и на примыкающих к ней территориях) // *Тр. НИИАК*. 1970. N 65. С. 61–68. (In Russian).

Shardakova L.Y., Usmanov L.V. Analysis of dust storms in the Aral Sea region // *Problems of desert development*. 2006. N 3. P. 30–34. (In Russian).

Wiggs G.F., O'Hara S.L., Wegerdt J., Van Der Meer J., Small I., Hubbard R. The dynamics and characteristics of aeolian dust in dryland Central Asia: possible impacts on human exposure and respiratory health in the Aral Sea basin // *The Geographical Journal*. 2003. N 169. P. 142–157.

Zolotokrylin A.N. Dust storms in Turanian lowland (Пыльные бури на Туранской низменности) // *Proceedings of the Russian Academy of Sciences. Geographical Series*. 1996. N 6. P. 48–54. (In Russian).

MONGOLIAN HERBS: ORIGIN AND DIRECTIONS OF STRUCTURAL AND FUNCTIONAL SPECIALIZATION

ТРАВЫ МОНГОЛИИ: ПРОИСХОЖДЕНИЕ И НАПРАВЛЕНИЯ СТРУКТУРНО-ФУНКЦИОНАЛЬНОЙ СПЕЦИАЛИЗАЦИИ

Yu.V. Gamalei¹, S.N. Sheremet'ev¹, Sh. Tsooj², Ts. Shiirevdamba³

¹ *Komarov Botanical Institute RAS, Saint-Petersburg, Russia, ygamalei@mail.ru*

² *Institute of Botany MAS, Ulaanbaatar, Mongolia*

³ *Ministry of Nature, Environment and Tourism, Ulaanbaatar, Mongolia*

The results of researches along the programs of Mongolian-Russian biological expeditions are shown the full domination of cryophilous C_3 herbs in the flora of Mongolian steppes and deserts. Their content is 95% from the total list of Mongolian herbs. The number of xerophilous species is not more than 3.5 %. The materials of global C_4 floras cartography support the position of north interface of massive localization of C_4 herbs below south interface of Mongolia (42°) (Sage et al., 1999). On the composition of leading plant families the steppe floras of Mongolia is similar with meadow-steppe floras of temperate and arctic zones of Eurasia. The similarity is explained by equal origination and perhaps historical continuity. The plant productivity and other functional parameters show that the steppe flora of Mongolia can be stayed in the sequence of cold biomes. Desert flora is related to the group of extreme biomes on the both climate factors.

Климат кайнозоя и эволюция трав. Большинство ныне существующих видов трав возникло в неогене под контролем дифференцированных по широтам изменений климата

планеты. Их становление связано с прогрессирующими тенденциями похолодания климата в высоких широтах и его аридизации в низких (полярно-экваториальный градиент изменений климата: Salzmann et al., 2008). В соответствии с особенностями изменений климата в неогене существовали две линии эволюции трав: в направлении криофитов в высоких широтах и ксерофитов — в низких. Обе отличаются ярко выраженной структурно-функциональной спецификой (Гамалей, 2008; Гамалей, Шереметьев, 2009). В данной работе предпринята попытка разложить травяную флору Монголии на эти составляющие по структурным признакам видов.

Становление трав высоких широт ассоциировано с усилением ригидности цитоскелета, блокадой его сократительным аппаратом эндоплазматической сети распределения фотосинтатов, элиминацией плазмодесм и переходом на компенсаторное распределение фотосинтатов через апопласт. В ходе эволюции трав холодного климата модифицировались пищевой тракт и тип клеточного питания. Энергетические затраты на апопластный транспорт фотосинтатов стали настолько велики, что вызвали редукцию роста клеточных систем и сокращение онтогенеза. Так в неогене возникли травы, новая группа биоморф.

Переход на апопластное распределение фотосинтатов имел следствием пучок направлений эволюции, приведший к нескольким вариантам экологической специализации трав. Травам холодного климата свойственна та из них, которая отражает адаптогенез в направлении загрузки флоэмы фотосинтатами через апопласт и интенсификации апопластного транспорта. Альтернативная линия специализации связана с адаптогенезом к аридным условиям и высокому уровню инсоляции. Появление осмотически-активных сахаров в апопласте в качестве вторичного эффекта сформировало осмотический механизм контроля за состоянием устьичных апертур. Виды с апопластным транспортом фотосинтатов отвечают на водный дефицит немедленным их сокращением. Это оказалось положительным свойством в условиях незначительного водного дефицита, но при остром дефиците привело к закрытому состоянию апертур в течение большей части суток. Опосредованная через дефицит воды блокада устьичного газообмена вызвала CO_2 голодание листьев. Для трав жарких аридных областей проблема разрешилась благодаря коронарной анатомии мезофилла: их адаптивным ответом на аридизацию климата и CO_2 голодание стали механизм предварительного связывания и концентрирования CO_2 в тканях листа и кооперативный C_4 фотосинтез.

Альтернативные линии эволюции трав к дефициту тепла и влажности привели к формированию в неогене двух групп географически и климатически разобценных таксонов (табл. 1). По числу атомов углерода в первичных продуктах фотосинтеза их совокупности обозначаются как C_3 и C_4 травы. В качестве структурного маркера трав первой группы (криофитов) может быть использован апопластный лабиринт в зоне контакта мезофилла и терминальной флоэмы. Вторая группа (ксерофиты) легко диагностируется по признакам коронарной анатомии и дифференциации хлоропластов в тканях короны. Для их классификации по гербарным коллекциям удобно пользоваться биохимическими тестами, в частности, индексом изотопной дискриминации (Ryankov et al., 2000, 2001).

Таксономический состав, возраст и география двух групп трав и производных травяных экосистем. На настоящий момент к продвинутой группе C_3 криофитов по тестовому признаку отнесены представители 21 семейства, 270 родов, 1692 видов (табл. 1). Продвинутый C_4 синдром, характерный для ксерофитов и диагностируемый по коронарной структуре мезофилла, обнаружен у представителей 18 семейств, 487 родов, 7300 видов. Полный список исследованных таксонов представлен в нескольких обзорных работах по той и другой группе трав (Pate, Gunning, 1969; Sage et al., 1999; Гамалей, 2008). Возраст обеих групп по самой общей оценке датируется миоценом. Представление о возрасте группы C_3 криофитов базируется на палеоботанических данных о времени появления наиболее представительных для нее семейств. Пионеры этой группы появляются в конце олигоцена (23–27 млн лет), ее состав продолжает расширяться в течение всего неогена. Оценка возраста C_4 ксерофитов делается параллельно несколькими методами. По совокупности данных появление первых C_4 трав датируется 5–7 млн

лет. Далее их группа имела возможность расширяться по мере увеличения площади аридных территорий планеты. Обе группы трав могут иметь независимые таксономические корни на разных континентах, особенно тех, которые достаточно удалены друг от друга просторами Мирового океана. Например, на континентах Старого и Нового Света они представлены разными группами таксонов (Гамалей, Шереметьев, 2009). Тем не менее, их глобальное распределение имеет сходные на разных континентах ограничения, связанные с климатическими особенностями экотопов в период таксоногенеза. C_3 травы полностью доминируют в травяных экосистемах, расположенных выше 40-х широт, биомы с их наиболее высокой концентрацией — луга, степи, тундры. C_4 травы слагают травяные экосистемы аридных зон в широтах ниже 40-х, биомы с их доминированием — саванны, пампы, солончаки. В травяных биомах экваториальной зоны их участие составляет 100%, в промежутке между 35-й и 40-й параллелями обоих полушарий — 20–30%, выше 40-й исчезают полностью (0%) (Sage et al., 1999).

Таблица 1. Группы C_3 криофитов и C_4 ксерофитов миоценовой генерации

Криофитная флора			Ксерофитная флора		
Семейство	Ч и с л о , род/вид	Тестовый Признак	Семейство	Число, род/вид	Тестовый Признак
<i>Apiaceae</i>	4/9	Терминальная флоэма с апопластным лабиринтом в спутниках ситовидных элементов	<i>Aizoaceae</i>	5/30	Коронарный мезофилл с дифференциацией хлоропластов по индексу гранальности в тканях короны
<i>Asteraceae</i>	58/900		<i>Amaranthaceae</i>	11/250	
<i>Balsaminaceae</i>	2/18		<i>Asteraceae</i>	7/37	
<i>Boraginaceae</i>	24/63		<i>Boraginaceae</i>	1/9	
<i>Cistaceae</i>	5/12		<i>Brassicaceae</i>	2/4	
<i>Crassulaceae</i>	3/12		<i>Capparaceae</i>	1/2	
<i>Dipsacaceae</i>	7/32		<i>Caryophyllaceae</i>	1/50	
<i>Fabaceae</i>	90/350		<i>Chenopodiaceae</i>	45/550	
<i>Frankeniaceae</i>	1/2		<i>Cyperaceae</i>	28/1300	
<i>Gentianaceae</i>	21/75		<i>Euphorbiaceae</i>	1/200	
<i>Geraniaceae</i>	2/28		<i>Hydrocharitaceae</i>	1/1	
<i>Hydrophyllaceae</i>	5/18		<i>Molluginaceae</i>	1/3	
<i>Linaceae</i>	1/5		<i>Nyctoginaceae</i>	3/25	
<i>Plantaginaceae</i>	2/7		<i>Poaceae</i>	372/4600	
<i>Plumbaginaceae</i>	8/17		<i>Polygonaceae</i>	1/80	
<i>Primulaceae</i>	3/6		<i>Portulacaceae</i>	2/70	
<i>Rubiaceae</i>	5/15		<i>Scrophulariaceae</i>	1/5	
<i>Scrophulariaceae</i>	20/67		<i>Zygophyllaceae</i>	4/33	
<i>Solanaceae</i>	3/9				
<i>Tamaricaceae</i>	1/3				
<i>Valerianaceae</i>	5/44				
Всего 21	270/1692	C_3 травы	Всего 18	487/7300	C_4 травы

Время становления и экспансии производных травяных биомов отстоит на несколько млн лет от времени формирования слагающих их видов. В качестве периода экспансии биомов, производных от C_3 трав, рассматривается весь миоцен, плиоцен и плейстоцен. Становление и экспансия биомов, производных от C_4 трав, датируются концом миоцена, чаще плиоценом и плейстоценом. Несмотря на дифференцированную по зонам локализацию процессов похолодения и аридизации климата, на отдельных континентах допускаются региональные различия в инициации и темпах развития этих процессов. Различия могут отражаться на возрасте и составе конкретных таксонов, времени и степени их участия в формировании соответствующих биомов на конкретных континентах.

Особенности территории, климата и рельефа Монголии. Территория Монголии занимает положение между 42° и 52° северной широты. Согласно вышеприведенным данным большая часть ее территории попадает в зону доминирования C_3 трав. Линия раздела ареалов C_3 и C_4 трав проходит по южной границе Монголии, т. е. во флоре ее южной пустынной части с чисто теоретических позиций возможно небольшое (20–30%) участие C_4 трав или C_3/C_4

промежуточных их вариантов. Общая приподнятость рельефа до 1500–2000 м должна вызывать дополнительное смещение факторов климата в сторону более холодного, сказывающегося отрицательно на распространении C_4 трав. Среднегодовая изотерма $+4^{\circ}\text{C}$ (линия мерзлотного круга), приближаясь в Скандинавии, в зоне влияния Гольфстрима, к линии полярного круга (67°), в центре Евразийского континента опускается к югу почти до 40-й широты, проходя вдоль южной границы Монголии (42°с. ш.). По ее конфигурации нет никаких оснований сомневаться в справедливости оценки монгольских степей и пустынь в качестве холодных, сочетающих ту или иную степень аридности с явлением мерзлотности почв. Присутствие отдельных C_4 видов в их флоре возможно, но должно рассматриваться скорее как редкое, если не исключительное явление, а наличие сплошной C_4 флоры — вовсе исключено климатическими условиями.

Соотношение C_3 и C_4 трав во флоре Монголии. Широко развернутые в 80–90-х годах региональные исследования распространения C_4 видов дали возможность создать карты локального их участия во флорах всех континентов (Sage et al., 1999). На глобальной карте географического распространения C_4 растений их участие показано в цифровой форме, цифры отражают процент числа C_4 видов от общего числа видов флоры. Для территории Монголии на этой карте приведены две цифры — 3% (район Долины Озер) и 35% (южная часть Заалтайской Гоби). Обе свидетельствуют о сравнительно низком участии C_4 видов во флоре Монголии, что вполне соответствует представлениям о холодной специфике ее климата. Вторая цифра явно завышена. Ее происхождение известно. В 80-е годы в соответствии с тематикой Совместной Советско-Монгольской комплексной биологической экспедиции проводилось обследование флоры Заалтайской Гоби на предмет выявления и типологии C_4 трав по признакам анатомии листьев и биохимии первичных продуктов фотосинтеза. Исследования были стационарными и ограничивались по этой причине флорой оазиса Эхийн-Гол, где располагалась полевая лаборатория. В результате среди представителей флоры оазиса было обнаружено и детально описано 27 видов C_4 трав, что от общего числа видов (237) составило 11.4%. В 90-е годы усилиями группы В.И. Пьянкова, сотрудничавшей с американским исследователем С. Black, эта цифра увеличилась до 35%, и, видимо, через последнего попала в американскую литературу и на указанную карту. В наших и в последующих исследованиях В.И. Пьянкова полученные цифры характеризовали численность C_4 трав во флоре оазиса Эхийн-Гол, который имеет длительную историю богарного земледелия. Его флора обогащена многими видами сорных растений, среди которых процент C_4 трав довольно высок. По этой причине данные для оазиса Эхийн-Гол не могут считаться представительными ни для территории Заалтайской Гоби, ни, тем более, для территории Монголии в целом. Предпринятое позже более обстоятельное обследование всей территории Монголии (Pyankov et al., 2000) дало на порядок более низкую цифру — 3.5% (80 видов от 2300).

Заключение. Результаты 30-летних исследований трав Монголии показали, что во флоре ее степей и пустынь доминирует группа криофитных C_3 трав. Они составляют не менее 95% от общего списка трав Монголии. Ксерофитная C_4 флора по числу видов не превышает 5%. Материалы глобального картирования C_4 флор (Sage et al., 1999) подтвердили, что южную границу Монголии (42°с. ш.) можно рассматривать в качестве северной границы массового распространения C_4 трав. По составу ведущих семейств степные флоры Монголии близки к лугово-степным флорам умереннохолодной и арктической зоны Евразии. Сходство объяснимо общностью происхождения и исторической непрерывностью. По функциональным параметрам и продуктивности степную флору Монголии вполне обоснованно ставить в ряд холодных биомов, а пустынную — в ряд экстремальных по обоим климатическим факторам.

ЛИТЕРАТУРА

- Гамалей Ю.В. Травы холодных и жарких равнин // Ботан. журн. 2008. Т. 93, № 8. С. 1161–1187.
- Гамалей Ю.В., Шереметьев С.Н. C_4 -травы Старого и Нового Света // Ботан. журн. 2009. Т. 94, № 12. С. 1753–1770.
- Pyankov V.I., Gunin P.D., Tsoog S., Black C. C_4 plants in the vegetation of Mongolia: their natural

occurrence and geographical distribution in relation to climate // *Oecologia*. 2000. V. 123. P. 15–31.

Pyankov V.I., Ziegler H., Kuz'min A.N., Edwards G.E. Origin and evolution of C_4 photosynthesis in the tribe Salsoleae (Chenopodiaceae) based on anatomical and biochemical types in leaves and cotyledons // *Plant Syst. Evol.* 2001. V. 230. P. 43–74.

Sage R.F., Wedin D.A., Li M. The biogeography of C_4 photosynthesis: patterns and controlling factors / R.F. Sage, R.K. Monson (eds.). *C4 Plant Biology*. San Diego, 1999. P. 313–373.

Salzmann U., Haywood A.M., Lunt D.J., Valdes P.J., Hill D.J. A new global reconstruction and data-model comparison for the Middle Pliocene // *Global Ecol. Biogeogr.* 2008. V. 17. P. 432–447.

ZONAL CHANGES OF STRUCTURAL-FUNCTIONAL PARAMETERS IN PLANT LEAVES OF MONGOLIA

ЗОНАЛЬНЫЕ ИЗМЕНЕНИЯ СТРУКТУРНО-ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ ПАРАМЕТРОВ ЛИСТЬЕВ РАСТЕНИЙ МОНГОЛИИ

L.A. Ivanov, L.A. Ivanova, D.A. Ronzhina

Botanical garden-institut UB RAS, Ekaterinburg, Russia, Leonid.Ivanov@botgard.uran.ru

Specific leaf mass (SLM), leaf thickness, carbon and nitrogen content were studied in 680 plant species in 27 regions of Mongolia with different aridity degree. The analysis of average SLM for each region showed 6 periods of SLM changes in central Mongolia linked to vegetation subzones of steppe and desert. Minimal SLM was found at south boundary of each subzone, maximal SLM - at north part of each subzone that was connected with defined means of climatic aridity index. Mapping of aridity indexes corresponding to minimal SLM showed that isoline of plant leaf parameters which are characteristic for desert steppe (aridity index $I=19.9$) moved to $47^{\circ}45' N$ (Ulan-Bator) during last 30 years.

Глобальное изменение климата является основным фактором, влияющим на состояние и развитие растительных экосистем. На международном симпозиуме «Изменения климата и окружающей среды Центральной Азии» (2003) было отмечено, что если глобальная средняя годовая температура приземного воздуха увеличилась за 100 лет на $0.6^{\circ}C$, то в районах Центральной Азии — на 1.5-2.0 градуса. В связи с этим особую актуальность приобретает оценка состояния растительных ресурсов данного региона. Одним из подходов для решения данной задачи является анализ структурно-функциональных параметров растений. В частности показано, что толщина листа, удельная поверхностная плотность листа (УППЛ или сухой вес единицы площади листа), содержание углерода и азота тесно связаны с функциональными характеристиками растения — уровнем нетто-фотосинтеза (Field, Mooney, 1986) и относительной скоростью роста (Shipley, Vu, 2002). С другой стороны показана их связь с климатическими факторами — среднегодовой температурой воздуха, потенциальной эвапотранспирацией, уровнем солнечной радиации и индексом аридности (Wright et al., 2004; Иванов и др., 2008). Такой интегральный листовый параметр, как УППЛ, используется в глобальных моделях растительности Земли (Wright et al., 2005). В работе (Иванов и др., 2009) показано, что характер изменения УППЛ вдоль градиента аридности Северной Евразии связан с зональным распределением растительности. На южных границах растительных подзон наблюдались минимальные значения УППЛ растений.

На территории Монголии нами было исследовано 680 видов растений из 27 районов Монголии с разной степенью аридности климата. У растений измеряли УППЛ, толщину листа, содержание углерода и азота. Климатические данные за последние 30 лет взяты из базы данных “Global Climate Data, ver. 2.01” (C.J. Willmott, K.Matsuura and D.R Legates; <http://climate.geog.udel.edu/~climate>).

Анализ средних для каждого района исследований значений УППЛ показал, что в центральной части Монголии в направлении с юга на север в пределах степной и пустынной зон существует шесть периодов изменения УППЛ (табл.). В южной части подзоны отмечены минимальные значения, а в районе северных границ — максимальные значения УППЛ.

Таблица. Значения УППЛ на южной и северной границах подзон растительности

Зональный тип растительности	УППЛ, мг/дм ²	
	юг подзоны	север подзоны
Экстрааридные пустыни	734	1140
Настоящие пустыни	849	1141
Остепненные пустыни	694	1327
Опустыненные степи	707	1009
Дерновиннозлаковые степи	653	867
Разнотравно-дерновиннозлаковые степи	614	914

Основываясь на этих исследованиях и используя климатические данные с шагом в 0.5 градуса, мы провели картирование значений индексов аридности, соответствующих низким значениям УППЛ (рис.).

Анализ картосхемы показал, что изолиния ($I=19.9$), соответствующая северной границе опустыненных степей, продвинулась в центральной Монголии практически до г. Улан-Батор — $47^{\circ}45'$ с. ш. Однако, согласно зонально-поясному расчленению растительного покрова Монголии, эта территория относится к сухим злаковым степям (Волкова, 1992). Казанцева и др. (2008), проводя мониторинговые исследования в сомоне Унджул, показали, что в сравнении с 1974 г частично изменился доминантный состав растительных сообществ, уменьшилось участие видов разнотравья, резко снизились общее проективное покрытие и величина надземной массы (в 6–10 раз). Фитоценотические показатели отдельных сообществ «стали близки к таковым в сообществах пустынных степей».



Рис. Схема расположения изолиний индекса аридности, соответствующих резким снижениям значений УППЛ на территории центральной части Монголии

Таким образом, растительные сообщества из сомона Унджул, которые, согласно картированию, относятся к сухим степям, в настоящее время по ряду своих свойств (разнообразие видов, фитомасса, УППЛ) соответствуют опустыненным степям.

Работа выполнена при финансовой поддержке гранта РФФИ № 10-05-00297.

ЛИТЕРАТУРА

Волкова Е.А. Зонально-поясные закономерности распределения растительности Монголии // Изв. РГО. 1992. Т. 124, №6. С. 489–498.

Иванов Л.А., Иванова Л.А., Ронжина Д.А. Закономерности изменения удельной плотности листьев у растений Евразии вдоль градиента аридности // ДАН. 2009. Т. 428, № 1. С. 135–138.

Иванов Л.А., Ронжина Д.А., Иванова Л.А. Изменение листовых параметров как показатель смены функциональных типов степных растений вдоль градиента аридности // Физ. раст. 2008. Т. 55, № 3. С. 332–339.

Казанцева Т.И., Бажга С.Н., Гунин П.Д., Данжалова Е.В., Оюунцэцэг О., Дробышев Ю.И., Ариунболд Э., Эрдэнэбаатар Д. Аридизация климата и опустынивание пастбищных экосистем в южной части бассейна Селенги // Глобальные и региональные особенности трансформации экосистем байкальского региона: Мат-лы Российско-Монгольского симпозиума. Улан-Батор, 2008. С. 68–74.

Field C.B., Mooney H.A. The photosynthesis-nitrogen relationships in wild plants // On the economy of plant form and function. Cambridge, 1986. P. 25–55.

Shipley B., Vu T.-T. Dry matter content as a measure of dry matter concentration in plant and their parts // New Phytol. 2002. V. 153. P. 359–364.

Wright I.J., Reich P.B., Cornelissen J.H.C., Falster D.S., Groom P.K., Hikosaka K., Lee W., Lusk C.H., Niinemets Ü., Oleksyn J., Osada N., Poorter H., Warton D.I., Westoby M. Modulation of leaf economic traits and trait relationships by climate // Global Ecology and Biogeography. 2005. V. 14, N 5. P. 411–421.

Wright I.J., Reich P.B., Westoby M., Ackerly D.D., Baruch Z., Bongers F., Cavender-Bares J., Chapin T., Cornelissen J.H.C., Diemer M., Flexas J., Garnier E., Groom P.K., Gulias J., Hikosaka K., Lament B.B., Lee T., Lee W.J., Lusk C., Midgley J.J., Navas M.-L., Niinemets Ü., Oleksyn J., Osada N., Poorter H., Foot P., Prior L., Pyankov V.I., Roumet C., Thomas S.C., Tjoelker M.G., Veneklaas E.J., Villar R. The worldwide leaf economics spectrum // Nature. 2004. V. 428. P. 821–827.

COMPLEMENTARITY OF FUNCTIONAL AND GROWTH PROCESSES IN MONGOLIAN PLANTS

СОПРЯЖЕННОСТЬ ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ И РОСТОВЫХ ПРОЦЕССОВ У РАСТЕНИЙ МОНГОЛИИ

N.N. Slemnev¹, S.N. Sheremetiev¹, Sh. Tsooj², A. Altantsooj², Ts. Munkhzul², A.V. Stepanova¹, K.E. Chebotareva¹, M. Samjid², Yu.V. Gamalei¹

¹Komarov Botanical Institute RAS, Sankt-Petersburg, Russia, nnslemnev@mail.ru

²Institute of Botany, MAS, Ulaanbaatar, Mongolia

Informative potential of photosynthesis as a possible indicator of biological and ecological characteristics of plants was analyzed. Normalized parameters of photosynthesis were worked out for comparative aims. These parameters reflect the adaptive capacity of plants related to environment. This adaptive capacity appears in complementarity of integrative parameters of photosynthesis and annual biomass growth.

В ходе многолетних комплексных полевых исследований в Монголии (1970–1988, 1996–1997, 2003–2009 гг.) выявлена роль фотосинтеза и водообмена в индикации экологических и биологических свойств растений, главным образом доминантов (Слемнев, 1990; Шереметьев, 2005; Цоож, 2008). По интегральным параметрам процессов определены адаптационные нормы реакции растений на ведущие факторы среды, устойчивость к их экстремальным режимам, уточнен фитоценотический статус видов при совместном обитании в сообществах и пр. (Слемнев, 2000; Цоож, Слемнев, 2008).

Фотосинтез — главный из физиологических процессов, поставляющих ассимиляты для роста растений. Тем не менее, о взаимосвязи фотосинтеза с продукцией фитомассы имеются противоречивые результаты и представления (Семихатова, Заленский, 1979; Ничипорович, 1982). Отсутствие связи наблюдается в тех вариантах анализа, когда она устанавливается путем сопоставления интегральной величины годового прироста фитомассы с единичными дифференциальными значениями интенсивности фотосинтеза. Поэтому для приведения к интегральной размерности фотосинтеза в вегетационной динамике были разработаны нормированные показатели: реализация максимальной фотосинтетической способности —

$P_{\text{фс}}$, % (отношение среднего за вегетацию растений дневного максимума фотосинтеза к потенциально возможному для вида); истинная $P_{\text{фс}} - P_{\text{и}}$, % (отношение средней за тот же период интенсивности усвоения CO_2 к фотосинтетическому потенциалу) (Слемнев, 1990).

Впервые положительная сопряженность между $P_{\text{и}}$ и годичным приростом зеленой надземной фитомассы по материалам исследований в 1970–1972 гг. установлена для кустарников (*Brachanthemum gobicum*, *Haloxylon ammodendron*, *Nitraria sibirica*, *Zygophyllum xanthoxylon*) в брахантемово-реомюроевой пустыне Северной Гоби. Впоследствии подобная линейная сопряженность ($R = 0.92$) была получена для полукустарничка *Anabasis brevifolia* по данным исследований в 1977–1983 гг. (включая опыты с поливом — 10 вегетационных сезонов) в остепненной пустыне Заалтайской Гоби. Вектор погодичных изменений обоих показателей детерминировался увлажненностью почвогрунтов (Слемнев, Цоож, 1988; Слемнев и др., 1988). Поскольку пустынные полудревесные виды обитают в аридной обстановке в разреженных фитоценозах, следовало выяснить — свойственны ли выявленные закономерности растениям из экосистем с более благоприятной увлажненностью, с полидоминантным составом сообществ в конкурентной среде обитания.

В центральной части поймы р. Орхон в разнотравно-костровом сообществе в вегетационной динамике с 1980 по 1983 гг. валовая урожайность трав также увеличивалась линейно — от 1.9 до 5.6 т/га вместе с повышением количества осадков и средних для 4 видов-доминантов значений $P_{\text{фс}}$ — 36–66% (Цоож, 1992).

В прирусловой части поймы у растения-доминанта разнотравно-вострещевого луга *Leymus chinensis* в экспериментально заданных условиях зависимость годичного прироста надземной фитомассы от $P_{\text{фс}}$ описывается экспоненциальной кривой (рис. 1). Незначительное превышение прироста в варианте П (полива) над контролем и меньшая его величина в варианте П+NPK (полив + минеральная подкормка) в сравнении с вариантом NPK связаны с обострением конкуренции за влагу между *L. chinensis* и *Carex duriuscula* (видов со сходной жизненной стратегией) после скудного влагозарядкового весеннего полива (80 мм) и последующей засухи. При этом конкуренция в верхних горизонтах почвы, где сосредоточены корневища востреща и осоки, достигала такой остроты, что влаги и элементов минерального питания не оставалось для нормального развития других видов сообщества. В поливных вариантах из состава сообществ выпало более 30% видов разнотравья.

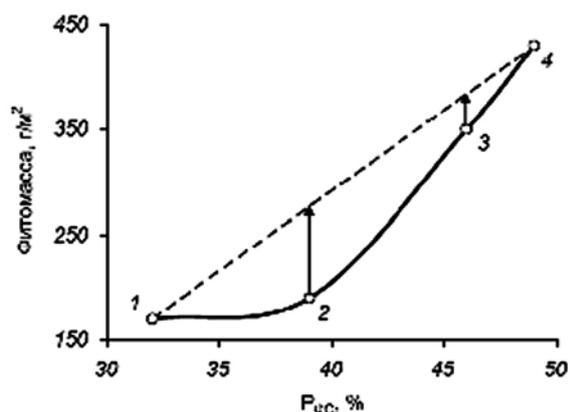


Рис. 1. Зависимость годичного прироста надземной фитомассы от реализации максимальной фотосинтетической способности ($P_{\text{фс}}$) у *Leymus chinensis* в разных вариантах опытов с поливом (П) и минеральной подкормкой (NPK). 1 — контроль, 2 — П, 3 — П+NPK, 4 — NPK

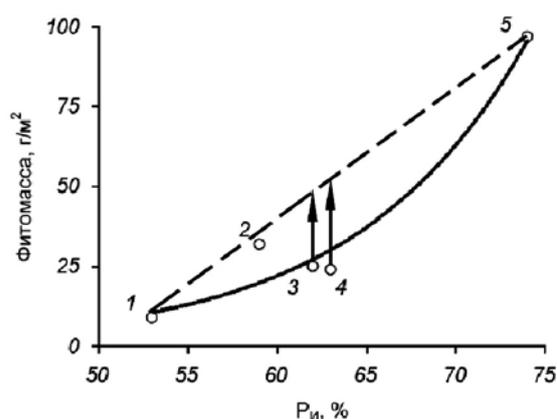


Рис. 2. Зависимость годичного прироста надземной фитомассы от истинной реализации максимальной фотосинтетической способности ($P_{\text{и}}$) у растений осоково-разнотравно-монгольскополевцевого сообщества. 1 — *Carex athrerodes*, 2 — *Thalictrum simplex*, 3 — *Poa angustifolia*, 4 — *Anemone dichotoma*, 5 — *Agrostis mongolica*.

На обоих рисунках стрелками показан предполагаемый прирост надземной фитомассы

В притеррасной части поймы у растений осоково-разнотравно-монгольскополевицевого сырого луга прирост надземной фитомассы отдельных видов положительно коррелирует с P_{II} (рис. 2). Здесь, при более высоких значениях P_{II} величины фитомассы у *Poa angustifolia* и *Anemone dichotoma* меньше, чем у *Thalictrum simplex*. Это также явно свидетельствует о конкуренции между видами за водный ресурс в полидоминантном сообществе (95 видов) в засушливый 1987 г. Можно предполагать, что в обоих сообществах та часть ассимилятов, которая могла быть использована на прирост надземной части при оптимальном увлажнении, была направлена на прирост корней для поддержания конкурентной способности вида.

При полной невозможности прогнозировать запас влаги в почвах или годовую сумму осадков математические модели связи $P_{ФС}$ и P_{II} с важнейшими экологическими факторами имеют теоретическое и практическое значение. По этим моделям можно прогнозировать потенциальный годичный прирост фитомассы в сообществах, так как в природных условиях средняя за вегетационный период реализация фотосинтетического потенциала имеет предел, не превышающий 80–90%.

Поиск сопряженности функциональных и ростовых процессов у растений был продолжен в 2009 г. в рамках 2-летнего «Проекта» по определению возраста стержнекорневых трав и факторов, определяющих структуру, динамику формирования и величину годичного прироста вторичной ксилемы главного корня. Исследования проводили у модельных видов: *Rhaponticum uniflorum*, *Sanguisorba officinalis*, *Stellera chamaejasme*) в горном луговостепном сообществе и *Medicago falcata* в древесно-кустарниковом питомнике. Ниже приведены предварительные результаты первого года исследований.

В дневной динамике потенциальной интенсивности фотосинтеза (ПИФ) модельных видов во все сроки исследований довольно часто наблюдалась полуденная депрессия, которая сопровождалась в эти же часы снижением содержания воды в листьях и увеличением интенсивности транспирации. Количественно депрессию отражает нормированный показатель: реализация дневного максимума фотосинтеза — $P_{ДМ}$, % (отношение средней дневной интенсивности фотосинтеза к максимальной). Подобная динамика физиологических функций определяется температурой воздуха, которая в супероптимальном режиме у разных видов в разной степени ингибирует CO_2 -газообмен. Это подтверждается тесной положительной сопряженностью величин $P_{ДМ}$ с теплоустойчивостью фотосинтеза у разных видов растений (Слемнев, Цоож, 1988; Цоож, 2008).

В ходе вегетации динамика показателей фотосинтеза растений луговостепного сообщества имеет сходный характер. Весной и ранним летом фотосинтез стержнекорневых трав в разной степени ограничен дефицитом влаги в почве и высокими температурами воздуха. Полная реализация фотосинтетического потенциала ($P_{ФС}$) наблюдается в короткий период в середине августа после выпадения обильных осадков. Однако по средним за период вегетации нормированным параметрам фотосинтеза исследованные травы различаются значительно. Самые большие значения $P_{ФС}$ и P_{II} — 74 и 50% свойственны *Stellera chamaejasme*, а самые малые — *Sanguisorba officinalis* — 66 и 36%. У *Rhaponticum uniflorum* эти значения составляют соответственно 65 и 41%. В равных условиях почвенного увлажнения величины $P_{ФС}$ характеризуют конкурентную способность растений в борьбе за водный ресурс. В свою очередь эта способность определяется экологическими свойствами растений. *Stellera chamaejasme* — типичный прерийный (степной) ксерофит с высоким осмотическим потенциалом. Поэтому в засушливые периоды вегетации *S. chamaejasme* более конкурентноспособный вид в борьбе за влагу, чем луговой эумезофитный вид *Sanguisorba officinalis* и даже луговостепной мезоксерофитный *Rhaponticum uniflorum*. Интегральный показатель P_{II} отражает реакцию растений на совместное влияние влажности почвы и температуры воздуха. С точки зрения долевого участия данных факторов среды в депрессии фотосинтеза в ходе вегетации растений разница между значениями $P_{ФС}$ и P_{II} представляет долю влияния супероптимальных температур воздуха. Доля влияния дефицита влаги в почве представляет собой разность между абсолютной реализацией фотосинтетического потенциала (100%) и величинами $P_{ФС}$.

Поиск сопряженности между параметрами фотосинтеза, водного режима и годичным

приростом вторичной ксилемы корня будет возможен (в сравнительном плане) только после второго года исследований. Что касается донорно-акцепторных связей между надземной и подземной частями растений, то косвенно их характеризует динамика отношения фитомассы этих органов. По изменению данных параметров за два срока наблюдений (22.06 и 11.07 2009 г.) очевидное переключение транспорта ассимилятов в корни отмечено только у *Stellera chamaejasme*. У других видов оно наступает несколько позже. Эти отличия связаны с феноритмотипом луговостепных модельных видов. *S. chamaejasme* относится к весенне-летней группе, тогда как два других вида по феноритмотипу — летне-осенние.

Таким образом, интегральные параметры фотосинтеза дополняют и подчеркивают экологические, биологические и фитоцентрические свойства исследованных видов. Однако следует заметить, что экологическая сущность луговостепного ксеромезофитного *Medicago falcata* в условиях питомника маскируется дополнительным увлажнением. Величины нормированных показателей фотосинтеза люцерны серповидной выше, чем у модельных видов горного луговостепного сообщества.

Исследования проведены при финансовой поддержке РФФИ (грант 09-04-90206_Монг-а).

ЛИТЕРАТУРА

Ничипорович А.А. Физиология фотосинтеза и продуктивность растений // Физиология фотосинтеза. М.: Наука, 1982. С. 7–33.

Семихатова О.А., Заленский О.В. Об изучении газообмена в исследованиях продукционного процесса растений // Ботан. журн. 1979. Т. 64, № 1. С. 3–10.

Слемнев Н.Н. Экология фотосинтеза в связи с закономерностями жизнедеятельности растений степей и пустынь Монголии: Автореф. дис. ... докт. биол. наук. Л., 1990. 36 с.

Слемнев Н.Н. Реакция фотосинтеза на температуру среды у растений аридных экосистем Гоби (Монголия) // Ботан. журн. 2000. Т. 85, № 5. С. 63–77.

Слемнев Н.Н., Цоож Ш. Дневные и вегетационные изменения фотосинтеза растений // Пустыни Заалтайской Гоби: Характеристика растений-доминантов / Ред. Ю.В. Гамалей, П.Д. Гунин, Р.В. Камелин, Н.Н. Слемнев. Л.: Наука, 1988. С. 142–159.

Слемнев Н.Н., Казанцева Т.И., Якунин Г.Н. Связь фотосинтеза и первичной биологической продуктивности растений // Там же. С. 180–184.

Цоож Ш. Фотосинтетическая деятельность растений основных экосистем Монголии: Автореф. дис. ... докт. биол. наук. Улаанбаатар, 2008. 58 с.

Цоож Ш., Слемнев Н.Н. Фотоценозид ургамлын эзлэх байрыг фотосинтезийн узуулэлтээр тогтоох боломж // Ботаникийн хурээлэнгийн эрдэм шинжилгээний бүтээл. Улаанбаатар, 2008. № 20. С. 94–103. На монг. яз.

Шереметьев С.Н. Травы на градиенте влажности почвы. М., 2005. 270 с.

GLOBAL WARMING CAUSES GROWTH REDUCTIONS IN *LARIX SIBIRICA* IN THE WESTERN KHENTEY, NORTHERN MONGOLIA

Ch. Dulamsuren, M. Hauck, Ch. Leuschner

Department of Plant Ecology, Albrecht von Haller Institute of Plant Sciences, University of Göttingen, Germany, dchoima@gwdg.de

Central Asia and the semiarid parts of north-eastern Asia were subject to 20th-century warming far above the global average. Since forests of this regions occur at their drought limit, they are particularly vulnerable to climate change. We studied the regional variation of temperature and precipitation trends and its effects on tree growth and forest regeneration in Mongolia. Tree-ring series from more than 2300 trees of Siberian larch (*Larix sibirica*) collected in four regions of Mongolia's forest zone were analyzed and related to available weather data (Dulamsuren et al., 2010a, b, c). Climate trends underlie a remarkable regional variation leading to contrasting responses of tree growth in taiga

forests even within the same mountain system. Within a distance of a few hundred kilometers (140 to 490 km), areas with recently reduced growth and regeneration of larch alternated with regions where these parameters remained constant or even increased. Reduced productivity could be correlated with increasing summer temperatures and decreasing precipitation; improved growth conditions were found at increasing precipitation, but constant summer temperatures. Measurements of the shoot water potential during the growing season exhibited daily minimum water potentials close to the point of zero turgor for extended periods. The drought stress indicated by these results is in line with the current low annual increment. Isotope analyses ($\delta^{13}\text{C}$) corroborated these conclusions. An effect of increasing winter temperatures on tree-ring width or forest regeneration was not detectable. Since declines of productivity and regeneration are more widespread in the Mongolian taiga than the opposite trend, a net loss of forests is likely to come, as strong increases in temperature and regionally differing changes in precipitation are predicted for the 21st century.

REFERENCES

Dulamsuren Ch., Hauck M., Khishigjargal M., Leuschner H.H., Leuschner C. Diverging climate trends in Mongolian taiga forests influence growth and regeneration of *Larix sibirica* // *Oecologia*. 2010a. doi: 10.1007/s00442-010-1689-y (in press).

Dulamsuren Ch., Hauck M., Leuschner C. Recent drought stress leads to growth reductions in *Larix sibirica* in the western Khentey, Mongolia // *Global Change Biology*. 2010b. doi: 10.1111/j.1365-2486.2009.02147.x (in press).

Dulamsuren Ch., Hauck M., Leuschner C. Climate response of tree-ring width in *Larix sibirica* growing in the drought-stressed forest-steppe ecotone of northern Mongolia // *Annals of Forest Science*. 2010c. (in press).

REGRESSION MODEL OF PHYTOMASS DYNAMICS SOME STEPPE COMMUNITIES OF EASTERN MONGOLIA

РЕГРЕССИОННАЯ МОДЕЛЬ ДИНАМИКИ ФИТОМАССЫ НЕКОТОРЫХ СООБЩЕСТВ СТЕПЕЙ ВОСТОЧНОЙ МОНГОЛИИ

L. Jargalsaikhan

Institute of Botany MAS, Ulaanbaatar, Mongolia, l_jaga_cj@mail.ru

In this paper we consider the results used for predicting the dynamics of phytomass, one of the widely common in the study of complex systems approaches-regression modeling.

The above dependence clearly demonstrates that the studied communities characterized by the following pattern: 1—the amount of spring rainfall is the main factor determining the magnitude of the maximum summer green phytomass and the period of its occurrence; 2)— decadal amount of precipitation and air temperature does not have an immediate effect on the growth of phytomass, and the time required for effects on vegetation of these abiotic factors; 3— the integral amount of precipitation and temperature during the growing season determines the seasonal dynamics of green phytomass; 4— for our equation the mean relative prediction error $S_j \leq 0.1$, i.e. forecast should be considered as rather accurate.

В настоящей работе рассматриваются результаты прогнозирования динамики фитомассы с помощью широко используемого при исследовании сложных систем подхода — регрессионного моделирования.

Модель линейного множественного регрессионного анализа имеет следующий вид:

$Y = a_0 + \sum_{i=1}^N a_i X_i$, где a_i — коэффициент регрессии, N — общее число анализируемых факторов X_i , влияющих на поведение результирующего признака Y . В геоботанике большее применение нашло вычисление эмпирического показателя удельного веса влияния (γ_i) каждого из факторов X_i по методике И.Я.Лиёпы (1971):

$$\gamma_i = \frac{|a_i C_{YX_i}| R^2}{\sum_{i=1}^N |a_i C_{YX_i}|} \gamma_i = \frac{|a_i C_{YX_i}| R^2}{\sum_{i=1}^N |a_i C_{YX_i}|}, \quad R^2 = \frac{M \sum_{i=1}^N |a_i C_{YX_i}|}{M \sum_{j=1}^M Y_j^2 - (\sum_{j=1}^M Y_j)^2} R^2 = \frac{M \sum_{i=1}^N |a_i C_{YX_i}|}{M \sum_{j=1}^M Y_j^2 - (\sum_{j=1}^M Y_j)^2},$$

$$C_{YX_i} = \frac{M \sum_{j=1}^M Y_j X_{ij} - \sum_{j=1}^M Y_j \sum_{j=1}^M X_{ij}}{M^2}, \quad C_{YX_i} = \frac{M \sum_{j=1}^M Y_j X_{ij} - \sum_{j=1}^M Y_j}{M^2},$$

где C_{YX_i} , C_{YX_i} — коэффициент ковариации между результирующим признаком Y и фактором X_i , R — коэффициент множественной корреляции. Достоверность показателя γ_i проверяется по критерию Фишера: эмпирическое значение определяется по формуле:

$$F_i = \frac{\gamma_i(M-N-1)}{1-\sum_{i=1}^N \gamma_i} F_i = \frac{\gamma_i(M-N-1)}{1-\sum_{i=1}^N \gamma_i},$$

а теоретическое $F_{st} F_{st}$ — по таблицам критерия Фишера со степенями свободы $\nu_1 = 1$ и $\nu_2 = M - N - 1$. Если $F_i > F_{st}$, то воздействие фактора X_i считается существенным, и его влияние на изменение Y оценивается величиной γ_i (в %). После того, как завершено построение регрессионных прогнозирующих моделей, производится оценка качества прогнозирования путем вычисления степени отличия предсказанных значений от экспериментальных данных. Для двух рядов данных: $\{\bar{Y}_i, i = 1, N\}$, $\{\bar{Y}_i, i = 1, N\}$ — значения, полученные в результате прогноза по некоторому предиктору, и эмпирические значения $\{Y_i, i = 1, N\}$, $\{Y_i, i = 1, N\}$ средняя относительная

ошибка прогноза вычисляется по уравнению: $S_1 = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N |(Y_i - \bar{Y}_i) / \bar{Y}_i|$, $S_1 = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N |(Y_i - \bar{Y}_i) / \bar{Y}_i|$. О качестве прогнозирования можно судить по величине S_1 для модельного уравнения: если $S_1 > 0.2$, то прогноз неудачен, если $0.1 < S_1 < 0.2$ — прогноз удовлетворителен, если $S_1 < 0.1$, то прогноз следует признать достаточно точным (Розенберг, 1985).

В настоящее время уже хорошо известно, что «каждое сообщество имеет свой собственный климат, определяющийся в значительной степени составом и строением самого же сообщества» (Сукачев, 1928).

В зоне сухих степей, к которым относится Восточная Монголия, основными факторами, определяющими функционирование растительных сообществ и формирование зеленой фитомассы, являются количество осадков и температурный режим (Жаргалсайхан, 2008). Из таблицы 1 следует, что существует вполне выраженная корреляция между летними максимумами фитомассы, сроками их наступления, количеством весенних осадков и суммой температур.

Таблица 1. Корреляционная матрица между весенними погодными показателями и максимумами количества зеленой фитомассы и сроками их наступления

Показатели	Временные интервалы, месяцы	Максимальная фитомасса			Срок наступления максимума		
		1	2	3	1	2	3
осадки	IV	0.45	0.66	0.43	-0.38	-0.11	-0.22
	V	0.27	0.46	0.22	-0.33	-0.52	-0.40
	VI	0.43	0.72	0.74	0.01	-0.68	-0.33
	IV+V	0.39	0.63	0.07	-0.49	-0.51	-0.44
	IV+V+VI	0.56	0.82	0.65	-0.64	-0.75	-0.63
	V+VI	0.46	0.76	0.57	-0.09	-0.56	-0.41
температура	IV	-0.16	-0.02	-0.43	-0.12	-0.08	-0.02
	V	-0.13	-0.06	-0.33	-0.05	-0.53	-0.38
	VI	-0.51	-0.59	-0.30	-0.12	-0.30	-0.18
	IV+V	-0.32	-0.04	-0.32	-0.18	-0.56	-0.35
	IV+V+VI	-0.63	-0.55	-0.50	-0.23	-0.01	-0.35

Примечание. 1 — ковыльно-разнотравно-пижмовое сообщество; 2 — ковыльно-разнотравно-вострцовое сообщество; 3 — разнотравно-крупноковыльное сообщество.

Количество максимальной фитомассы хотя и зависит от суммы осадков за апрель, май и июнь ($r = 0.56; 0.82; 0.65$), но различно для каждого сообщества. Это обусловлено различиями в рельефе мест произрастания, их почвенных условий и, что наиболее значимо, структурой растительного сообщества. Отрицательная корреляция с температурой ($r = -0.63; -0.55; -0.50$) объясняется тем, что обычно в дни выпадения осадков температура понижается. То есть, в годы с жаркой, и соответственно, сухой весной количество максимальной фитомассы невелико, а в годы с влажными и прохладными веснами, она образуется в большем размере. Между суммой весенних осадков (IV+V+VI) и сроками наступления максимумов наблюдается более тесная отрицательная зависимость ($r = -0.64; -0.75; -0.63$). Отсюда вытекает заключение, что во влажные весны максимум зеленой фитомассы достигается быстрее, а в годы с меньшим увлажнением этот период удлиняется.

Таблица 2. Корреляционная матрица подекадных погодных показателей и количества фитомассы

Показатели		Фитомасса, ц/га		
		1	2	3
Осадки, мм	P_i	0.05	0.15	0.01
	P_{i-1}	0.38	0.41	0.57
	P_{i-2}	0.83	0.85	0.88
	P_{i-3}	0.98	0.92	0.93
Температура, °C	T_i	0.58	0.59	0.61
	T_{i-1}	0.65	0.80	0.78
	T_{i-2}	0.77	0.81	0.76
	T_{i-3}	0.67	0.77	0.74

Примечание. i — нумерация декад (начиная от третьей декады апреля); 1 — ковыльно-разнотравно-пижмовое сообщество; 2 — ковыльно-разнотравно-вострецовое сообщество; 3 — разнотравно-крупноковыльное сообщество.

В таблице 2 показана корреляция между подекадными погодными показателями и количеством фитомассы. Из нее следует, что на размер укоса определенной декады сильно влияет количество осадков ($r = 0.98; 0.92; 0.93$), выпавших в предыдущие декады (особенно 2–3 декады тому назад), и температуры ($r = 0.77; 0.81; 0.76$) предшествующих декад (1–2 декады назад).

Таким образом, выпавшие осадки и температура воздуха не оказывают мгновенного эффекта на прирост фитомассы, требуется определенное время для воздействия на растительность этих биотических факторов.

Таблица 3. Коэффициенты корреляции между суммарными метеорологическими факторами и количеством зеленой фитомассы

Сообщество	Факторы	X_1	X_2	X_3
Пижмовое	Y	0.949	0.958	0.948
Вострецовое	Y	0.932	0.934	0.936
Крупноковыльное	Y	0.870	0.904	0.878

Примечание. Y — фитомасса; X_1 — фактор времени (до укоса), начиная от 1-го мая; X_2 — фактор количества осадков до укоса, начиная от 1-го мая; X_3 — фактор суммы среднесуточных температур, начиная с 1-го мая.

Из таблицы 3 видно, что совокупность различных метеорологических факторов оказывает прямое влияние на формирование зеленой фитомассы. Для исследованных сообществ эта зависимость описывается приведенными ниже множественными регрессионными уравнениями.

Для ковыльно-разнотравно-пижмового сообщества: $\bar{Y}\bar{Y} = 0.9638 + 0.3313X_3 + 0.0594X_2 - 0.0179X_1$. В этой зависимости множественный корреляционный коэффициент $R = 0.956$, а коэффициент детерминации $D = 0.92$. При вычислении по методу И.Я. Лица (1971) получаем следующие доли влияния переменной X : $X_1 = 36.4\%$, $X_2 = 18.2\%$, $X_3 = 37.3\%$. Из этого следует, что нам удалось учесть 91.9% всех факторов, влияющих на формирование фитомассы. Средняя относительная ошибка вычислений составляет 0.091.

Для ковыльно-разнотравно-вострещового сообщества: $\bar{Y}\bar{Y}=8.5698-0.49497X_3 + 0.025X_2 + 0.0301X_1$. Здесь множественный корреляционный коэффициент $R=0.89$, коэффициент детерминации $D=0.79$, а доли влияния переменных составили: $X_1=30.2\%$, $X_2=13.4\%$, $X_3=35.7\%$. Доля учтенных факторов составила 79.3%. Средняя относительная ошибка вычислений 0.13.

Для разнотравно-крупноковыльного сообщества: $\bar{Y}\bar{Y}=17.83-0.928X_3+0.071X_2-0.0444X_1$. В этом сообществе множественный корреляционный коэффициент был $R=0.93$, коэффициент детерминации $D=0.87$, а доли влияния переменных — $X_1=41.0\%$, $X_2=8.7\%$, $X_3=37.8\%$. Доля этих факторов составила 87.5%, а ошибка вычислений 0.1.

Выводы. Вышеописанные зависимости наглядно демонстрируют, что для изученных сообществ характерны следующие закономерности:

- 1) количество весенних осадков является основным фактором, определяющим величину максимума летней зеленой фитомассы и срока его наступления;
- 2) декадная сумма выпавших осадков и температуры воздуха не оказывают мгновенного эффекта на прирост фитомассы, требуется определенное время для воздействия на растительность этих абиотических факторов;
- 3) интегральная сумма осадков и температур за период вегетации определяет сезонную динамику зеленой фитомассы.
- 4) в нашем уравнении средняя относительная ошибка прогноза $S_1 \leq \leq 0.1$, то есть прогноз следует признать достаточно точным.

ЛИТЕРАТУРА

Жаргалсайхан Л. Динамика пастбищной растительности степных экосистем Восточной Монголии: Автореф. дис. ... канд. биол. наук. М., 2008. 27 с.

Лиена И.Я. Показатель удельного веса влияния факторов воздействия // Уч. зап. Латв. гос. ун-та. 1971. Т. 159. С. 36–40.

Розенберг Г.С. Анализ структуры и динамики сложных систем на ЭВМ (с примерами из фитоценологии). Уфа, 1985. 81 с.

Сукачев В.Н. Растительные сообщества. Введение в фитоценологию. Изд. 4. Л.; М., 1928. 232 с.

HALOPHYTIC ECOSYSTEMS IN THE ARID ZONE OF TRANSBAIKALIA BECOMING DRYER: EVIDENCES FROM C-4 PLANTS INVASION

N.K. Badmaeva¹, T.E. Tkachuk², D.V. Sandanov¹

¹*Institute of General and Experimental Biology SB RAS, Ulan-Ude, Russia, badmayevan@mail.ru*

²*Transbaikal State Pedagogical University, Daursky State Nature Biosphere Reserve, Chita, Russia, tetkachuk@yandex.ru*

Modern tendencies of natural environment's change become stable and mostly have got a negative direction. Global warming takes a special place among these processes (Manabe, Wetherald, 1975; Stevart, 1984; Gruza, Rankova, 2009). Many researchers predict a rapid reduction of precipitation and soil humidity (Kimball, Idso, 1983; Herry, 1996). Therefore one of the most common tendencies of biosphere change is climate aridization and extension of dry regions (Pyankov, Mokronosov, 1993). These processes also lead to increasing of saline territories. In conditions of cryoarid climate of Zabaikalye among dry steppe complexes saline soils with specific halophytic vegetation are widely distributed.

Local flora of the model plots in Ivolginskaya, Barguzinskaya and Uldza-Toreyskaya cryoaridic depression was studied. Within local flora partial halophytic flora we examined and C4-species of plants with Kranz anatomical structure of leaves were revealed.

Ivolginskaya depression occupies the north part of Selenginskoe midland and is presented by a

vast stripe spread from south-west to north-east, from Uzur-Kuzun (low mountains which separate it from Orongoyskaya valley) to the Selenga river. On north-west this depression is bounded by low spurs of Khamar-Daban ridge, on south — by Ganzurinskiy ridge.

Existing complex of soil' formation natural factors of Ivolginskaya depression is a hollow character of relief, a special type of water soil regime, a superficial level of groundwater (from fresh hydrocarbonate to sulphate-chloride waters with high mineralization) promote the wide formation of saline soils at the bottom of depression (Mitupov, 1973). The least saline soils are spread on diluvium slopes and also in zone of drainage influence of the Selenga river.

Soils with medium degree of salification are mainly formed on sandy or sandy loam deposits. Soils with maximum salinification dominate at the right bank of the Ivolga river on the deposits with heavy granulometric composition. Solonchaks (saline lands) are mainly distributed in small parts, but sometimes occupy bigger territories of the depression. These soils are usually formed in low elements of relief with superficial level of groundwater (on the edge of wetlands), in the hollows with strongly expressed micro relief, in small outflow hollows, which are periodically inundated by surface waters and along slopes of ranges surrounding the valley.

Barguzin intermontane depression is one of the typical hollows in Baikal groove. This depression covers the Barguzin river basin. The most northern steppes of Eurasia are distributed here. Studies were carried out on the model plots of the Barguzin hollow near Alginskoe, Gudzhirchan, Alashun lakes. Relic solonchaks (extra salted soils) are the typical formations of soil cover of the Barguzin depression. They were formed by retrogression and evaporation of small late-pleistocene lakes started after permafrost melting caused by climate warming in the beginning of Holocene (about 10 thousands years ago). This process lead to a large concentration of salt in the place of former lake cavities (Dzyuba et al., 1999). The soils have soda, sulfate, and seldom chloride salinification (Chernousenko, Yamnova, 2004).

Uldza-Toreyskaya outflow depression is a superficial intermontane cavity of depressive character. Its central part is occupied by two big soda lakes Zun-Torey and Barun-Torey, which are connected with each other (Lokot' et al., 1991). The main part of this territory is a plain with acetabuliform small depressions, which are covered by solonchaks and salt lakes.

The climate of Zabaikalye is ultra continental with frequent droughts during a vegetative period. Maximum of precipitation is observed in July and August. Spring (especially April and May) is cold, windy, and dry. The main factors which determine peculiarity of climate are the character of general circulation of atmosphere, high elevation, long distance from oceans, direction of main ridges and mountain-hollow relief.

We determined the aridity index of De Martonne^a of studied depressions (Table 1).

Table 1. Climatic data for the geographical regions of Transbaikalia

Place	January average Temperature (°C)	July average temperature (°C)	Average annual temperature (°C)	Sum of temperatures > 10°C	Annual precipitation (mm)	Average aridity index ^a
Ivolga	-25.0	19.0	-1.1	1800	234	26.2
Barguzin	-29.0	18.2	-2.8	1700	254	35.2
Torei	-27.0	20.0	-2.1	1990	213	26.9

^a — De Martonne aridity index, $I = P/T+10$, where P is annual precipitation (mm), T —Average annual temperature (°C).

The data showed that Ivolginskaya and Uldza-Toreyskaya depressions are the most arid and also have large territories of salt soils. Barguzin steppes are characterized by colder climate.

On the base of long-term data of meteo-station of Ulan-Ude for the last 50 years of the XX century from the trends of climate change were revealed. During this period the stable increase of temperature is observed. Increase of average annual air temperature is about 1.5°C (Smirnova, 2004).

The total number of local floras types of Ivolginsky Valley Barguzinskaya and UldzaToreyskoy hollows is 323, 308 and 336 species of higher plants. Halophytic flora is 112, 131 and 137 species

respectively (Fig. 1).

Within local and partial flora we selected forest, steppe, and azonal floristic complexes and anthropophytes.

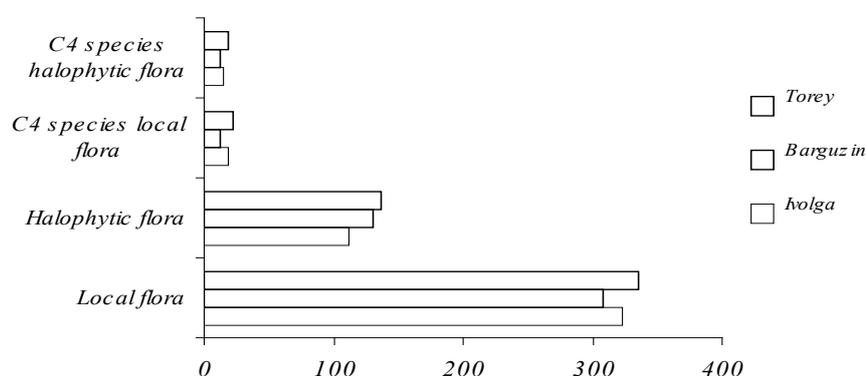


Fig. 1. Species richness of local and halophytic flora of Transbaikalia

According to Preston coefficient of similarity the closest to partial halophytic and local flora of Ivolga depressions is flora of Barguzin depressions. A high coefficient the similarity of these depressions can be explained by contacts between mountain ridges and Siberian taiga. Steppe species with Asian area are mostly presented in flora of Ivolginskaya and Uldza-Toreyskaya depressions. Barguzinskaya depression has a forest-steppe species with Eurasian area in steppe floristic complex. Barguzinskaya depression also didn't have many C4-species of plants. As it was mentioned other two depressions are more arid and have vast territories of saline soils and a lot of C4-species of plants in local and partial halophytic flora. The total amount of species with cooperative photosynthesis is not high and is about 6% from whole floristic composition of local flora in Ivolginskaya and Uldza-Toreyskaya depressions, and 3.8% – in Barguzinskaya depression. However, the most part of C4-species of local floras are included in halophytic flora. It is necessary to point out the edaphic differentiation of C4-species. Plants with Cranz anatomical structure of leaves grow on the saline soils.

Probably, the number of C4-species will increase according to aridization of the territories. About 45 years ago some C4-species were not indicated in steppe of Western Zabaikalye (Reschikov, 1961). It is known that botanical studies didn't take place in Ivolginskaya depression but the list of steppe flora in presented by M.A. Reschikov for whole territory of Western Zabaikalye.

The most part of C4-species are anthropophytes, annual, and biennial plants. This group of plants has R-strategy (Grime, 1979; Markov, 1986). They have an ability to very fast development and fructification and occupy open territories. It can be assumed that existence of some C4-species is connected with migration processes. Probably, all these tendencies are a result of aridization of this territories in the process of global warming.

Work was supported by a grant RFBR 05-04-97256-r_baikal_a

REFERENCES

- Manabe S., Wetherald R. The Effects of Doubling the CO₂ Concentration on the Climate of a General Circulation Model // *J. Atmospheric Sci.* 1975. V. 32. P. 3–15.
- Stewart D.W. Atmospheric Carbon Dioxide and Canadian Agriculture // *Climatolog. Bull.* 1984. V. 18. P. 3–14.
- Gruza G.V. and Rankova E.Ya. Assessment of the coming climate changes over the Russian Federation territory // *Meteorology and Hydrology.* 2009. V. 11. P. 15–29.
- Kimball B.A., Idso S.B. Increasing atmospheric CO₂: Effects on crop yield, water-use and climate // *Agriculture Water Management.* 1983. № 7. P. 55–72.
- Herry N. Le Houeron. Climate change, drought and desertification // *J. of Arid Environments.* – 1996. V. 34. P. 133–185.

Pyankov V.I., Mokronosov A.T. Basic tendencies in changes of the Earth's vegetation in relation to global warming of the climate // *Russian J. Plant Physiology*. 1993. V. 40, № 4. P. 451–466.

Mitupov Ch.Tz. Saline soils Ivolginsky Valley: Abstract. Dis ... cand. biol. science. Moscow: MGU, 1973. 24 p.

Dzuba A.A., Tulokhonov A.K., Abidueva T.I., Kulagina N.V., Chernykh L.A. Paleogeographical aspects of forming of salt lakes in Barguzinsky valley // *Geography and Natural Resources*. 1999. V. 2. P. 66–73.

Chernousenko G.I., Yamnova I.A. About the genesis of soil salinity in the Western Part of Transbaikalia Region // *Soil Science*. 2004. V. 4. P. 399–414.

Smirnova I.I. About changes of a climate of a steppe zone Republic Buryatiya for last 50 years // *Materials of conference of young scientists of the Siberian federal district (on July, 7-11th 2004)*. Ulan-Ude, 2004. P. 68–69.

Reschikov M.A. Steppes of the Western Transbaikalia. M: AN USSR, 1961. 174 p.

Grime J.P. Plant strategies and vegetation processes. V. XI. Chichester, UK, 1979. 222 p.

Markov M.V. The population biology of plants. Kazan: KSU, 1986. 109 p.

Lokot' L.I., Strizhova T.A., Gorlacheva E.P., et al. Sodium Lakes of Transbaikalia: Ecology and Production. Novosibirsk: Nauka, 1991. 216 p.

THE UKOK PLATEAU LANDSCAPES AND THEIR HISTORICAL PAST

ЛАНДШАФТЫ ПЛОСКОГОРЬЯ УКОК И ИХ ИСТОРИЧЕСКОЕ ПРОШЛОЕ

A.B. Glebova

The St.-Petersburg State University, St.-Petersburg, Russia, a_glebova@mail.ru

For ages, the Ukok Plateau has served as a pass for people migrating from steppes of Central Asia to the west. The process of land development by the human has always been dependent on landscape features. The article presents the landscape structure characteristics of the Ukok Plateau, as well as the analysis of the archaeological monuments distribution by the type of landscape.

Плоскогорье Укок расположено на высотах 2200–2500 м над уровнем моря. Несмотря на суровые климатические условия, в разные исторические времена эту территорию осваивали представители многих культур. С древних времен до наших дней дошли многочисленные археологические памятники, среди которых встречаются курганы, поминальные сооружения, петроглифы и т. д. В распределении этносов по территории практически всегда ведущая роль принадлежала ландшафтным факторам. В данной работе был проведен анализ распределения археологических памятников по различным таксонам ландшафтов плоскогорья Укок и его окрестностей в разные исторические времена.

Археологическая карта была составлена на основе археологической базы данных, которая собиралась по литературным источникам (Археологические памятники..., 2004; Древние культуры..., 1994). По описаниям, данным в источниках, с помощью ГИС-технологий (формат Mapinfo) было привязано к местности более 400 археологических памятников. Привязка осуществлялась по топографическим картам с масштабом 1:200 000. Расположение памятников уточнялось по карте–схеме (Археологические памятники..., 2004). Для каждого археологического памятника в базе данных приведены следующие сведения: название, координаты, время сооружения, тип, ландшафт, в котором он расположен, а также указана точность привязки: точная (координаты определены с помощью GPS) и вербальная привязка. Все типы археологических памятников были разделены на восемь групп: курганный могильник; одиночный курган; комплекс погребальных сооружений; петроглифы; каменные оградки, выкладки, насыпи; земляная насыпь; грунтовое погребение; жилищно-хозяйственный комплекс.

На рисунке 1 приведено соотношение типов археологических памятников. Из всех обсуждающихся памятников 30% составляют каменные оградки, выкладки и насыпи, 27%

— курганные могильники, 21% — одиночные курганы, 13% — петроглифы, 7% — комплексы погребальных сооружений и менее 1% — жилищно-хозяйственные комплексы, грунтовые погребения, земляные насыпи (рис. 1). Большое количество памятников, расположенных на плоскогорье Укок, археологами на данный момент не датировано.



Рис. 1. Соотношение типов археологических памятников

Современные ландшафтные обстановки не соответствуют существовавшим во время сооружения археологических памятников, поэтому при реконструкции того или иного времени прошлых эпох приходится учитывать эти изменения. Амплитуда ландшафтных изменений в высокогорьях была незначительной, что позволило провести анализ распределения памятников по ландшафтам без специальных палеогеографических карт.

Современные ландшафты плоскогорья Укок и его окрестностей разнообразны. На рисунке 2 представлены соотношения типов ландшафтов. Наибольшее распространение имеют тундровые ландшафты — 36%, преимущественно эквипленизированные глубокорасчлененные высокогорья с травяными и мохово-лишайниковыми тундрами (рис. 2). Тундрово-степные занимают 24% от общей площади. Среди них преобладают палеогляциальные равнины с сочетанием кустарничковых тундр и степей, а также эквипленизированные глубокорасчлененные высокогорья с сочетанием травяных тундр и степей. Гляциально-нивальные ландшафты занимают 16% территории и встречаются на хребте Табын-Богдо-Ола. Степные ландшафты, главным образом пролювиальные равнины с сухими степями охватывают 9% площади. Остальным ландшафтам принадлежит менее 3% площади.

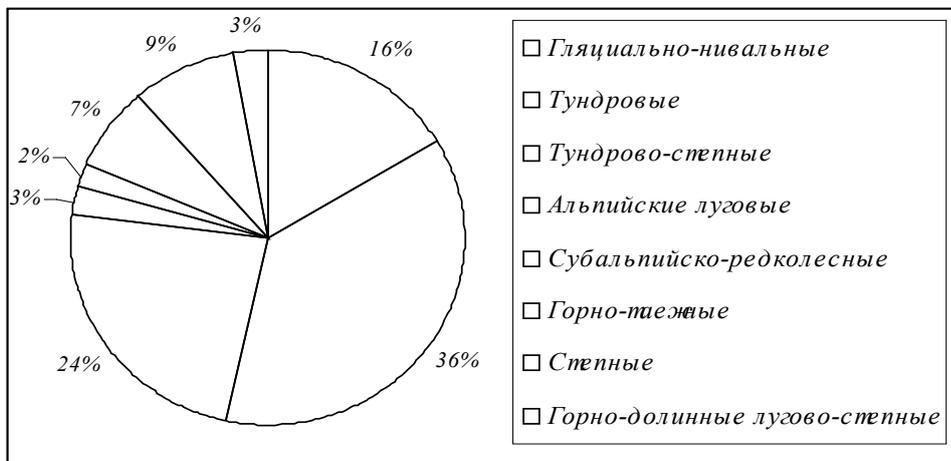


Рис. 2. Соотношение типов ландшафтов плоскогорья Укок и его окрестностей

Памятники каменного века на плоскогорье Укок представлены наскальными рисунками (Калгутинский рудник). Это изображения лошадей, быков или бизонов (Археологические памятники..., 2004). В энеолите (III–начало II тыс. до н. э.) на территории плоскогорья существовала афанасьевская культура, к памятникам которой относятся курганы и каменные насыпи. Археологами было обнаружено только три памятника этого времени, которые в основном расположены в тундрово-степных ландшафтах (рис. 3). Бронзовый век (II тыс. до н. э.–VIII в. до н.э.) представлен незначительными находками, среди которых большинство — это курганы и петроглифы, в основном встречающиеся в тундрово-степных и степных ландшафтах. В раннескифское время (VIII–середина VI вв. до н. э.) на Укоке, как и на всей территории Горного Алтая, обитали представители майэмирской культуры. Они соорудили курганные могильники, одиночные курганы, комплексы поминальных сооружений, оставили после себя и петроглифы. На сегодняшний день археологами датировано 50 археологических объектов этого времени, большинство из которых встречается на палеогляциальных равнинах с сочетанием мохово-лишайниковых тундр и степей и кустарниковых тундр и степей. Скорее всего, с этого времени численность населения начинает постепенно возрастать. На следующем историческом этапе, в скифское время (VI–начало II в. до н. э.) здесь существовали представители двух культур пазырыкской и кара-кобинской (Археологические памятники..., 2004). Оставленные ими памятники — это комплексы курганов, одиночные курганы, погребальные сооружения. Они расположены преимущественно в тундрово-степных и степных ландшафтах. Как показывают палинологические исследования, в окрестностях Ак-Алахинского кургана около 2,5 тыс. лет назад была степь. Пыльца деревьев (сосна, ель, береза) составляет около 6%. Сосна, ель и береза произрастали, вероятно, в более низких местах, близких к границе леса. В составе палиноспектров необычным является присутствие небольшого количества пыльцы дуба, тогда как в настоящее время в пределах 100 км и более дубы не встречаются. Остальная пыльца отражает степной ландшафт: постоянно встречается пыльца: полыни, маревых, гвоздичных, некоторых представителей семейства сложноцветных. Представители злаковых и осоковых присутствуют в виде фрагментов листьев и стеблей. Такой состав растительности позволяет говорить о более увлажненных степных районах (Шох, 2000). Судя по оставленным памятникам, численность населения в это время продолжала возрастать. Возможно, это было связано с изменением климатических условий в сторону увлажнения. Памятников гунно-сарматского времени (II в. до н. э.–V н. э.) на плоскогорье немного. Они встречаются в тундрово-степных и степных ландшафтах. Скорее всего, численность населения в это время сократилась, что было связано как с природными, так и с военно-политическими факторами. Большинство памятников древнетюркского времени (VI–XI вв. н. э.) — это каменные оградки и насыпи, также встречаются курганные могильники и одиночные курганы. Большая часть памятников расположена в тундрово-степных ландшафтах, главным образом, на эквипленизированных глубокорасчлененных высокогорьях с сочетанием травяных тундр и степей и палеогляциальных равнинах с сочетанием кустарничковых тундр и степей. По сравнению с предыдущим историческим периодом численность населения, скорее всего, возросла, что, возможно, было связано с улучшением климатических условий в сторону потепления и увлажнения. Археологических данных, относящихся к монгольскому времени (XII–XIV вв.), позднему средневековью (XV–XVII вв.) и этнографическому времени, мало. Известно, что люди, жившие в эти времена, также осваивали территорию Укока. Оставленные ими памятники, в основном, встречаются в тундрово-степных и степных ландшафтах.

Картирование археологических памятников показало, что во все времена наиболее освоенными были высокогорные палеогляциальные равнинные с сочетанием кустарничковых тундр и степей и пролювиальные равнинные с сухими степями ландшафты.

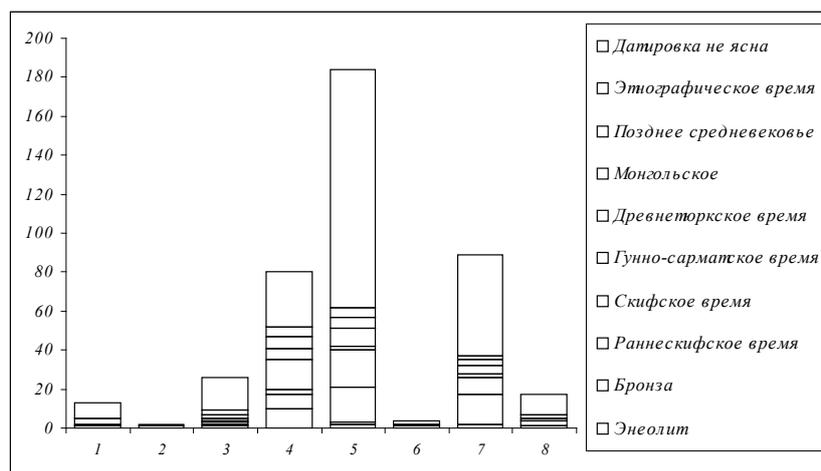


Рис. 3. Распределение археологических памятников по типам ландшафтов плоскогорья Укок

Ландшафты: 1 — эквипленизированные глубококорасчлененные высокогорные с травяными тундрами, 2 — эквипленизированные глубококорасчлененные высокогорные с сочетанием лишайниково-моховых тундр и степей, 3 — высокогорные палеогляциальные равнинные с сочетанием лишайниково-моховых тундр и степей, 4 — эквипленизированные глубококорасчлененные высокогорные с сочетанием травяных тундр и степей, 5 — высокогорные палеогляциальные равнинные с сочетанием кустарничковых тундр и степей, 6 — глубококорасчлененные с елово-лиственничными лесами, 7 — высокогорные пролювиальные равнинные с сухими степями, 8 — V-образные и дренированные долины рек тундрово-степные

Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ 09-05-00838.

ЛИТЕРАТУРА

Археологические памятники плоскогорья Укок (Горный Алтай) / Отв. ред. акад. В.И. Молодин. Материалы по археологии Сибири. Вып. 3. Новосибирск, 2004.

Древние культуры Бертекской долины. Горный Алтай, плоскогорье Укок. / Отв. ред. член-корр. РАН В.И. Молодин. Новосибирск, 1994. 223 с.

Шох В. Первые результаты палеоботанических исследований // Феномен Алтайских мумий. Новосибирск, 2000. С. 250–255.

EVALUATION OF THE PLANT COVER OF THE EASTERN AIMAG

ОЦЕНКА РАСТИТЕЛЬНОГО ПОКРОВА ВОСТОЧНОГО АЙМАКА

ДОРНОД АЙМГИЙН УРГАМЛАН НӨМРӨГИЙН ТӨЛӨВ БАЙДЛЫН ҮНЭЛГЭЭ

I. Tuvshintogtokh, D. Enkhmaa, Ts. Battseren, Ch. Mungunchimeg

Institute of Botany MAS, Ulaanbaatar, Mongolia

Восточный аймак находится на крайнем востоке страны и занимает площадь в 212.8 тыс. кв. км. Средняя температура января на территории аймака -20°C , а июля — 20°C , среднегодовая сумма осадков достигает 247 мм. По ботанико-географическому районированию территория аймака относится к Нумругскому лугово-степному, Восточно-Монгольскому степному, Монголо-Даурскому лесо-степному районам (Өлзийхутаг, 1989).

Полевые исследования проводились в 2008–2009 гг. Авторами проведено 208 геоботанических описаний и 75 укосов. Для оценки растительного покрова мы провели классификацию растительности Восточного аймака по эколого-фитоценологическому принципу и разработали карту растительности в масштабе 1:500000. Также нами использованы космические снимки данного аймака, сделанные в августе 2008 и 2009 гг. В качестве критериев оценки растительного покрова нами использованы: видовой состав и состав доминантов, проективное покрытие, урожайность, участие видов-индикаторов дигрессии и

однолетников (*Artemisia frigida*, *A. adamsii*, *Potentilla bifurca*, *P. acaulis*, *Ephedra sinica*, *Cleistogenes squarrosa*, *Carex duriuscula*, *Chenopodium viride*, *Ch. acuminatum*, *Ch. aristatum*, *Salsola collina*, *Axyris amaranthoides*). Было выделено 5 степеней дигрессии: I степень — климаксовые растительные сообщества, II степень — растительные сообщества со слабым антропогенным влиянием (площади с нарушенностью 1 и 2 степени занимают 39.95% территории). 34.51% площади приходится на III степень дигрессии, которая соответствует средней антропогенной нагрузке на растительный покров. Остальные 26.51% территории аймака относятся к сильно дигрессионным IV и V степеням, когда в видовом составе отмечается 4–10 видов, а 80–100% растительного покрова создают виды-индикаторы дигрессии. Хотя результаты исследований в аймаке не катастрофичны по сравнению с центральными и западными аймаками, но всё же, пока не поздно, требуются особые меры по рациональному использованию пастбищ.

Дорнод аймаг нь 123,5 мян ам км нутаг дэвсгэртэй бөгөөд Монгол орны зүүн хязгаарт оршино. Физик газарзүйн мужлалтын хувьд тус аймгийн ихэнх нутаг нь Дорнод Монголын талын их мужид багтах бөгөөд ерөнхийдөө д.т.д 560–990 орчим метр өндөртэй ухаа гүвээт талын байдалтайгаараа онцлог юм. Нутгийн зүүн хэсгээр орших Хянганы нурууны салбар уулс нь 1000–1500 метр өндөр өргөгдсөн. Баруун хойд хэсэгт Хэнтийн нурууны захын уулс 1300 м өндөртэй Эрээний нуруу оршино. Аймгийн нутгийн баруун хэсэг нь Хэнтийн нурууны захын намхан уулс толгодтой (Монголын Газарзүйн ..., 2007). Н. Өлзийхутагийн (1986) Монгол орны ургамал — газарзүйн мужлалаар Монгол Дагуурын уулын ойт хээрийн тойрог, Хянганы нутаг хээрийн тойрог, Дорнод Монголын хээрийн тойрогт тус тус хамаардаг.

Дорнод аймгийн ургамлан нөмрөгт нөлөөлөх гол хүчин зүйлс нь цаг уурын өөрчлөгдөл, бэлчээрийн талхлагдал, түймэр байна. Монгол орны бүх нутгаар дунджилсан жилийн дундаж агаарын температур сүүлийн 60 жилд 1.9°C-аар дулаарсан байна (Уур амьсгалын өөрчлөлтөнд сав шим тогтолцоо, мал аж ахуй өртөх, дасан зохицохуй, 2005). Жилийн дулаан улиралд агаарын температур огцом нэмэгдэж байгаа боловч түүнийг дагаад хур тунадас зохих хэмжээнд өсөж чадахгүй байгаа нь Монгол оронд тохиолдож байгаа хуурайшил, гандалтын гол шалтгаан болно. Монгол орны зүүн бүсэд хур тунадасны бага зэргийн өсөлт нь нийлбэр ууршицын өсөлтөөс 5–6 дахин бага байх юм (Нацагдорж, 2008).

2009 оны байдлаар Дорнод аймаг нийт 1450.7 мянган толгой мал тоологдсон нь улсын нийт малын 3.3% болж байна (Статистикийн бюллетень, 2009). Энэ үзүүлэлт бусад аймгуудтай харьцуулахад өндөр биш ч гэсэн сүүлийн жилүүдэд малчид суурин болон гол горхи зэрэг газрын эрэг хөвөө орчмын бэлчээрийг жилийн дөрвөн улирлын турш тухайн газар нутгийг эргэж сэргэн ургах чадварыг алдагдал нь ашиглаж байна. Сумын төвийн эргэн тойрон 5–10 км, аймгийн төвийн эргэн тойрон 25–40 км-ийн газар нутаг хэт ашиглагдан доройтож жил бүр ургамлын тусгаг бүрхэц буурах, зүйлийн тоо цөөрч, нэг наст болон хог ургамал ихсэж байна (Ариунгэрэл, 2001).

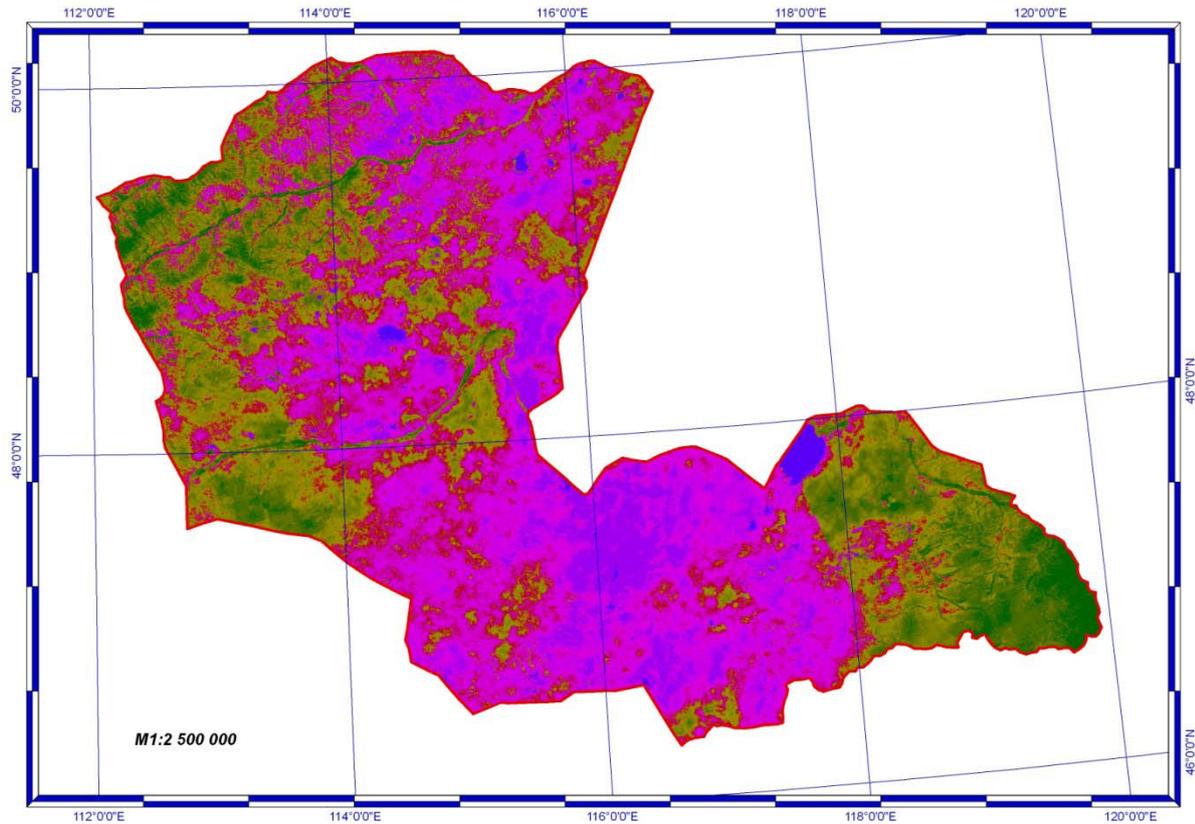
Монгол орны тал хээрийн түймрийн ихэнх хувь нь Дорнод Монголд гарч ургамлан нөмрөг доройтох, хуурайших бас нэг шалтгаан болж байна (Түвшинтогтох, Ургамал, 2007).

Энэхүү өгүүлэлд байгаль цаг уур, нийгэм эдийн засгийн нөхцөл байдлаас үүдэн ургамлан нөмрөгт үзүүлж байгаа сөрөг нөлөөллийг илрүүлэн, Дорнод аймгийн нөмрөгийн төлөв байдлыг үнэлсэн судалгааны дүнгээс толилуулж байна.

Бид хээрийн судалгааг 2008 онд Монгол-Оросын хамтарсан биологийн экспедици, 2008–2009 онд Говийн бэлчээр төслийн хүрээнд тус тус явуулж, нийт 208 ширхэг геоботаникийн бүрэн бичиглэл, 950 уут ургацын дээж цуглуулсан. Геоботаникийн бичиглэлийг 10 м X 10 м талбайд үйлдэж, өвслөг ургамлын арвийг О. Друдегийн хувиараар, сөөгний арвийг бодгалийг тоолох аргаар тус тус тооцож, тусгагийн бүрхэц, өндөр, үзэгдэлзүйн үе шатыг тогтоосон болно. Ургацын дээжийг 2008–2009 онд тус бүр 50 талбайд 10 давталттай 1 м голдочтой тойргоос газрын гадаргууд шүргүүлэн хайчлах замаар авсан.

Ургамлан нөмрөгийн төлөв байдалд үнэлгээ хийхдээ бид сүүлийн 2 жил хийсэн 208 бичиглэлийг экологи-фитоценологийн зарчимаар ангилж, Дорнод аймгийн ургамалжлын 1:500000 хэмжээст зургийг зохион ашигласан. Мөн 2008, 2009 онуудын 8 дугаар сарын сансрын

зурагт боловсруулалт хийх замаар ашигласан болно. Ургацын индексийг нийт 20 ангид ангилж боловсруулсан (зураг 1).



Зураг 1. Дорнод аймгийн 2008–2009 оны 8 дугаар сарын ургацыг Ургамалжлын индексээр ангилсан дүн

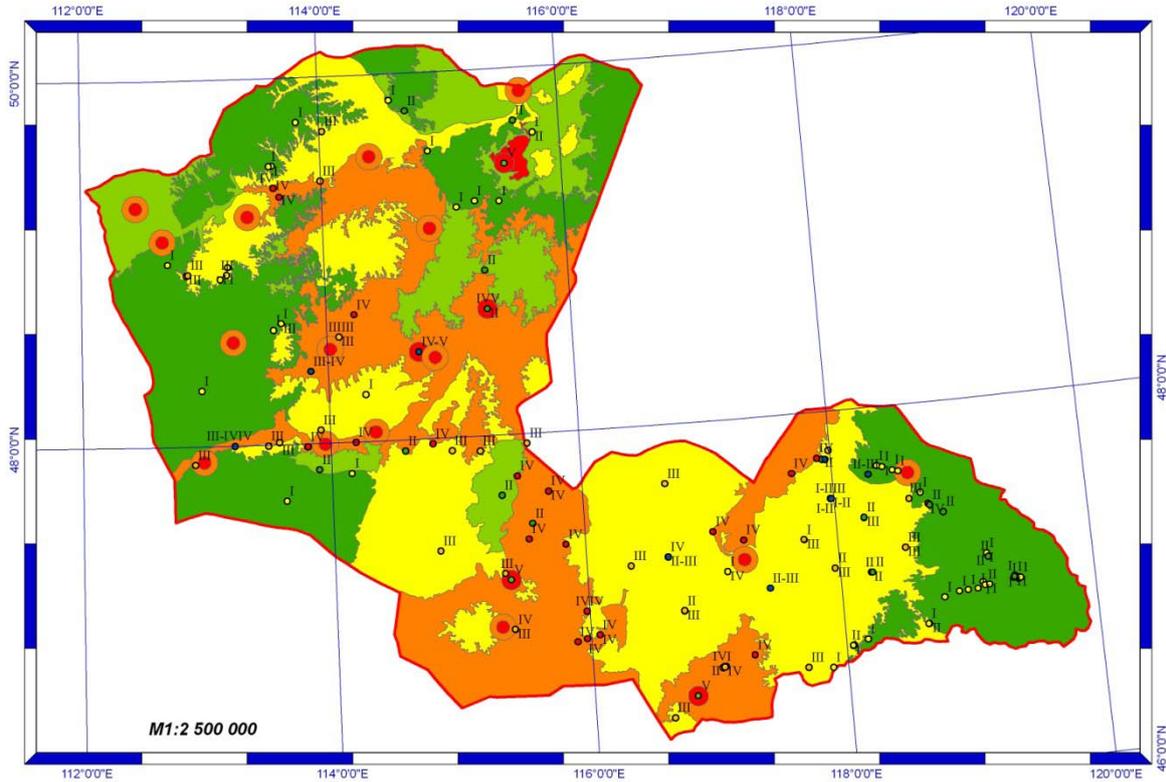
Бид ургамлан нөмрөгийн төлөв байдлыг үнэлэхдээ дараах үзүүлэлтүүдийг шалгуур болгон авсан. Үүнд:

1. Ургамал бүлгэмдлийн ангилаа
2. Ургамал бүлгэмдлийн тусгагийн бүрхэц, хагдны бүрхэц
3. Ургамал бүлгэмдлийн зонхилогч ургамал, зүйлийн баялаг
4. Ургацын хэмжээ
5. Талхлагдлын индикатор зүйлүүдийн бүлгэмдэл дэх оролцоо
6. Нэг наст ургамлуудын бүлгэмдэл дэх оролцоо
7. Аймаг, сумдын төв, суурингуудын байршил

Ургамлан нөмрөг доройтоход бүлгэмдлийн тусгагийн бүрхэц буурах, зүйлийн тоо цөөрөх, үндсэн ургамлуудын оролцоо буурч, нэг наст болон талхлагдлын индикатор ургамлуудын оролцоо нэмэгдэж, ургацын хэмжээ буурдаг болохыг олон арван судлаачид хэдийн тогтоогоод байна.

Талхлагдлын индикатор ургамлууд ургамалжлын бүс бүслүүр, хэвшинж бүрд нэлээд ялгаатай байдаг. Дорнод аймгийн хувьд бид ургамлын нөмрөгийн доройтлын индикатор ургамал болгон дараах зүйлүүдийг сонгож авсан. Үүнд: *Artemisia frigida*, *A. adamsii*, *Potentilla bifurca*, *P. acaulis*, *Ephedra sinica*, *Cleistogenes squarrosa*, *Carex duriuscula*, *Caragana* нэг наст ургамлуудаас *Chenopodium viride*, *Ch. acuminatum*, *Ch. aristatum*, *Salsola collina*, *Axyris amaranthoides*.

Дээрх шалгуур үзүүлэлтүүдийг үндэслэн ургамлан нөмрөгийг өөрчлөгдлийн түвшингээр 5 зэрэглэлд хувааж, зурагласан болно (зураг 2).



Зураг 2. Дорнод аймгийн ургамлан нөмрөгийн үнэлгээ

Доорх хүснэгтэд ургамлан нөмрөгийн үнэлгээний 5 зэрэглэлийг бүлгэмдлийн тусгагийн бүрхэц, зүйлийн баялаг, доройтлын индикатор ургамлуудын бүлгэмдэл дэх оролцоо зэргийг харьцуулан үзүүлэв.

Дорнод аймгийн ургамлан нөмрөгийн төлөв байдлын үнэлгээ

Зэрэглэл	Бүлгэмдлийн тусгагийн бүрхэц	Зүйлийн тоо	Доройтлын индикатор ургамлуудын Эзлэх хувь	Талбайн хэмжээ		
				Кв км	Хувиар	
I	Өөрчлөгдөөгүй буюу сайн	(40) 60–90%	(26) 35–48	0	35314	28.59%
II	Бага өөрчлөгдсөн	50–80%	22–41	0–20%	12798	10.36%
III	Дунд өөрчлөгдсөн	30–65%	15–27	20–50%	42632	34.51%
IV	Доройтсон	20–60%	6–15	50–80%	31078	25.16%
V	Хэт доройтсон	55–70%	4–10	80–100%	1678	1.35%
Нийт					123500	100%

I — зэрэглэл. Өөрчлөгдөөгүй гэдэг нь хүний үйл ажиллагааны нөлөө бараг илрээгүй климаксийн шатанд байгаа ургамал бүлгэмдлүүд юм. Энд голдуу Хянган, Хэнтийн салбар уул нуруудад тархах үетэнт, алаг өвст, зүр өвст нугын хээр, уулын хээр хамаарч байна. Уулс, цав толгодын орой, энгэр хажуугийн чулуурхаг үетэнт, алаг өвст уулын хээрийн бүлгэмдлийн тусгагийн бүрхэц бага (40%), зүйлийн баялаг харьцангуй цөөвтөр (26) хэдий ч гадны ямар нэгэн нөлөөнд бага өртсөн тул энэ зэрэглэлд оруулсан. I, II зэрэглэлийн хоорондын ялгаа бага

ерөнхийдөө доройтлын индикатор ургамлуудын оролцоогоороо ялгаатай. Энэ хоёр зэрэглэлд Дорнод аймгийн нийт газар нутгийн 39.95% хамаарч байна.

III зэрэглэлд хүний үйл ажиллагааны шууд ба шууд бус нөлөө тод илэрсэн, цаг уурын өөрчлөлтөнд эмзэг тал газрын хээрийн бүлгэмдлүүд багтана. Энд голдуу том хялганат хээрийн олон хувилбарууд багтана. Нийт газар нутгийн 34.51% буюу гуравны нэгийг эзэлж байна.

Үлдсэн 26.51% нь ургамал нөмрөгийн хувьд доройтсон байна. Үүнд хүний төрөл бүрийн үйл ажиллагааны нөлөө, бэлчээрийн талхлагдал, олон жилийн ган, хөрсний элэгдэл зэргийн улмаас ургамал бүлгэмдэл өөрчлөгдөж, үндсэн ургамлуудын эзлэх хувь багасаж энэ орон зайг нэг наст болон доройтлын индикатор ургамлууд эзлэн ургаж, хоёрдогч бүлгэмдлүүдийг бий болгожээ. Хазаар өвст, харганат, таанат зэрэг зүйлийн бүрэлдэхүүн ядмаг, ургамал нөмрөг тачир сийрэг бүлгэмдлүүд багтана. Ихэнхдээ үлийн цагаан оготны колони ихтэй. Төв суурингийн эргэн тойрон 6–10 км, нуур, уст цэгүүдийн орчим үндсэн ургамал бүлгэмдэл үндсээрээ устаж дан нэг настууд болон зээргэнэ, харгана, улалж, имт гичгэнэ зэрэг цөөн зүйлийн ургамлаас бүрдсэн бүлгэмдэл зонхилж байна.

Дорнод аймаг нь малын тоо толгой харьцангуй цөөн, газар нутаг том, хүн амын төвлөрөл багатай тул Төвийн болон Баруун бүсийн аймгуудтай харьцуулахад ургамлан нөмрөгийн доройтол харьцангуй бага байна гэж бид дүгнэж байна. Дорнод аймгийн хувьд ургамал нөмрөгийг доройтуулж буй гол шалтгаан нь бэлчээрийн талхлагдлын зэрэгцээ цаг уурын хуурайшил болж байгаа нь харагдаж байна. 1975 онд хэвлэгдсэн Монгол орны ургамалжлын зурагтай харьцуулахад хазаар өвст (Монгол орны..., 1975), таанат хээр тэлж, зүр өвст хээрийн тархац ихээхэн хумигдсан байгаа нь ургамлан нөмрөг нэлэнхүйдээ ихээхэн хуурайшиж байгаагийн илрэл болно.

НОМЗҮЙ

Ариунгэрэл Д. Дорнод аймгийн зарим ургамлын бүлгэмдэл дэх бэлчээрийн эрүүл ахуйн урт хугацааны мониторинг // Дорнод монголын экосистем 1-р дэвтэр. 2001. Х. 131–136.

Монгол орны ургамалжлын зураг 1:1500000 хэмжээст (1975)

Монголын Газарзүйн нэрийн товч толь бичиг Ш. Шагдар 2007. Х. 159–162.

Нацагдорж Л. Монгол орны уур амьсгалын хуурайшил ба цөлжилт // Монгол орны геоэкологийн асуудал. 2008. № 7. Х. 194–212.

Өлзийхутаг Н. Монгол орны ургамлын аймгийн тойм. УБ., 1989.

Статистикийн бюллетень. 2009 оны 12-р сар. УБ., 2009.

Tuvshintogtokh I., Urgamal M. Fire effect on Productivity and Community Dynamics of Mongolian grassland // International Forest Fire News (IFFN) No. 36 (January-July 2007, 67-75), ISSN 1029-0864 (web)

Уур амьсгалын өөрчлөлтөнд сав шим тогтолцоо, мал аж ахуй өртөх, дасан зохицохуй (зөвлөмж) Ус цаг уурын хүрээлэн. УБ: Адмон, 2005.