

УДК 531.578.46

Индикационные свойства снежной толщи (по результатам экспериментальных исследований зимой 2011/12 г. в центральной части Восточно-Европейской равнины)

© 2013 г. Л.М. Китаев¹, Р.А. Чернов¹, В.А. Аблеева², Е.Д. Коробов³¹Институт географии РАН, Москва;²Приокско-Террасный государственный природный биосферный заповедник, пос. Данки, Московская обл.;³Центрально-Лесной государственный природный биосферный заповедник, п/о Заповедник, Тверская обл.*lkitaev@mail.ru**Статья принята к печати 17 апреля 2013 г.*

Приземная температура воздуха, растительные сообщества, снегозапасы, стратиграфия снежной толщи.
Air temperature, plant communities, snow storage, snow thickness stratigraphy.

На основе экспериментальных наблюдений исследованы локальные и региональные различия в формировании снежного покрова, обусловленные ландшафтными условиями центральной части Восточно-Европейской равнины (Московская и Тверская области). Определены различия в снегозапасах для ельников и лиственных массивов, связанные с особенностями растительного покрова. Установлены различия в стратиграфии снежной толщи, обусловленные особенностями растительных комплексов, хронологией изменений приземной температуры воздуха и снегонакопления.

Пространственно-временная изменчивость характеристик снежного покрова определяется особенностями метеорологического режима в конкретных ландшафтных условиях. Свойства снега можно использовать для оценки и местного микроклимата, и региональной физико-географической обстановки. Продолжительность залегания снежного покрова, толщина снега и запасы воды в нём позволяют типизировать региональные особенности окружающей среды, поэтому в снеговедении существуют понятие и термин «снежность зим» [2, 3, 5, 6, 10]. Не менее информативна для оценки ландшафтных особенностей и стратиграфия снежной толщи — её структура и текстура, а также морфологические особенности снежных кристаллов [1, 4, 6, 7, 11, 12]. Цель выполненных исследований — изучение индикационных свойств снежного покрова. Более конкретная задача — установить на локальном и региональном уровнях связь снегонакопления с характером растительности и изменениями приземной температуры воздуха.

Исходные материалы и методы исследований

Экспериментальные исследования изменчивости метеорологических характеристик и особенностей снежного покрова выполнены в центральном районе Восточно-Европейской равнины. Объекты для исследований: Приокско-Террасный государственный природный биосферный запо-

ведник (ПТЗ) (расположен в Серпуховском районе Московской области), а также примыкающий к пойме склон долины р. Ока; Центрально-Лесной государственный природный биосферный заповедник (ЦЛЗ) (находится в Нелидовском районе Тверской области), а также юго-западная оконечность Валдайской возвышенности, на водоразделе верховьев рек Волга и Западная Двина. Заповедники расположены на расстоянии около 350 км друг от друга; их ориентация — юго-запад — северо-восток, поэтому различия в характеристиках снежного покрова могут быть индикатором как локальных, так и региональных ландшафтных особенностей.

В период с декабря по апрель 2011/12 г. проведены наблюдения за приземной температурой воздуха и осадками в соответствии с методиками гидрометеослужбы. По стандартным же методикам измерены характеристики снежного покрова: толщина снега по стационарным рейкам на характерных участках; толщина и плотность снега с пересчётом запаса воды в нём — снегомерными маршрутными наблюдениями в ельниках (преобладание хвойных пород), лиственных массивах (преобладание лиственных пород) и на открытых участках. Снегомерные маршруты, протяжённостью 2 км каждый, во всех случаях проходили на типичных для заповедников практически плоских пространствах с небольшим генеральным уклоном, отсутствием существенных перепадов высот

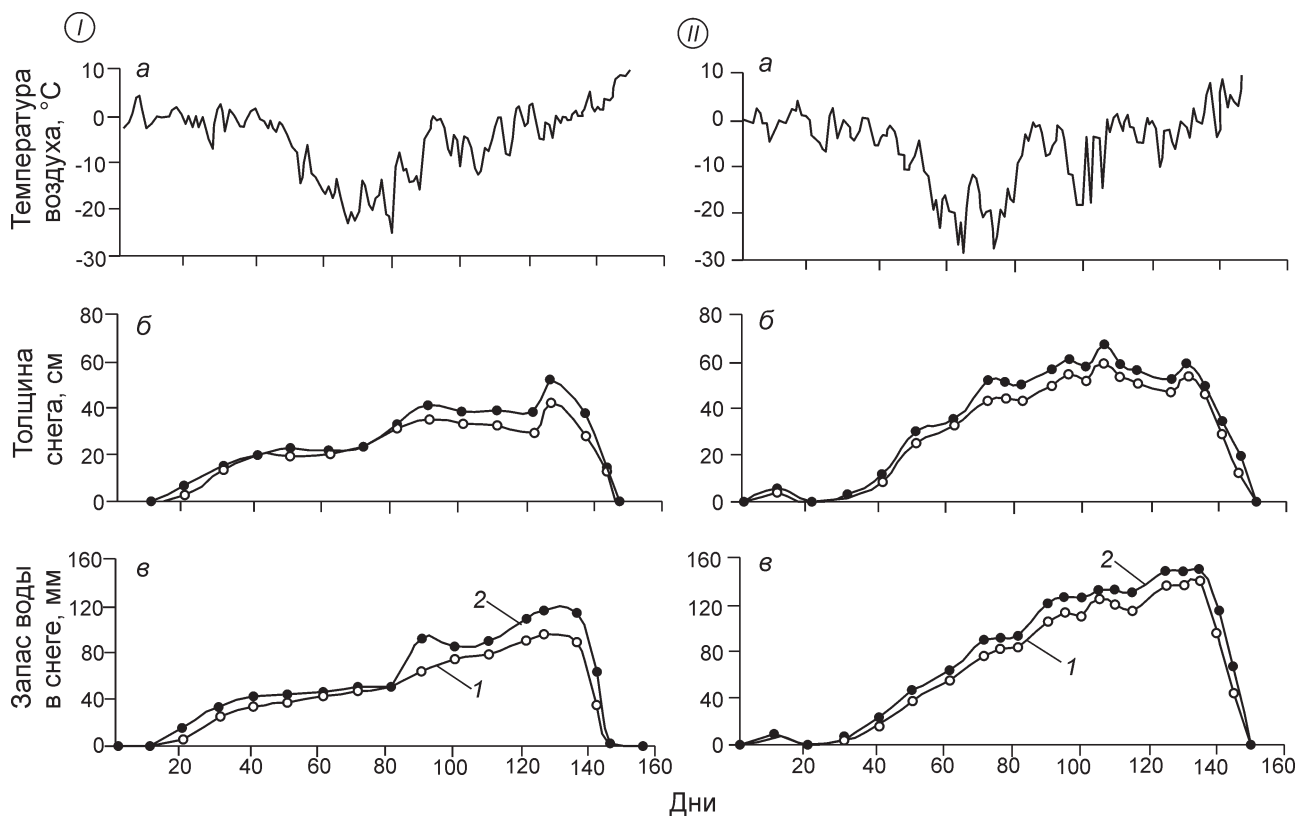


Рис. 1. Посуточные изменения метеорологических характеристик зимы 2011/12 г.:

a – приземная температуры воздуха, °С; *б* – толщина снежного покрова, см; *в* – снегозапасы, мм, для Приокско-Террасного (I) и Центрально-Лесного (II) заповедников; 1 – ельник; 2 – лиственный лес

Fig. 1. Daily variability in winter 2011/12:

a – air temperature °С; *б* – snow depth, cm; *в* – snow storage, mm, for reserves in Moscow region (I) and in Tver’ region (II); 1 – spruce; 2 – deciduous forest

и с растительными комплексами, типичными для южно-таёжной подзоны. Для исследования стратиграфии снежной толщи при прохождении снегомерных маршрутов закладывалось 3–6 шурфов. В ЦЛЗ и ПТЗ измерения проводились соответственно 4–7 и 20 марта 2012 г. в период максимальных снегозапасов. Для анализа использованы суточные данные толщины снега и приземной температуры воздуха, пентадные и декадные данные снегомерных съёмок по толщине снега и снегозапасам, а также сведения о структуре и текстуре снежной толщи на конец периода с максимальными снегозапасами (6 марта 2012 г. для ЦЛЗ и 20 марта для ПТЗ).

Индикационные свойства толщины снежного покрова и снегозапасов

Рис. 1 и таблица иллюстрируют различия в сезонной изменчивости характеристик снежного покрова на разных по характеру растительности участках заповедных территорий на

Соотношение снегозапасов ельников (числитель) и лиственных массивов (знаменатель) Приокско-Террасного и Центрально-Лесного заповедников

Характеристики снегозапасов	Приокско-Террасный заповедник	Центрально-Лесной заповедник
Толщина, см	43/53	47/51
Соотношение толщины	0,81	0,93
Снегозапасы, мм	95/117	138/148
Соотношение снегозапасов	0,81	0,93

фоне сезонных изменений приземной температуры воздуха с 1 декабря до момента схода устойчивого снежного покрова – 18 апреля в ПТЗ и 25 апреля в ЦЛЗ. Повсеместно в ельниках толщина снега и снегозапасы меньше, чем в лиственных массивах. В ПТЗ максимальные толщина снега и снегозапасы зафиксированы 5 апреля: в ельнике – соответственно 43 см и 95 мм, в лиственном массиве – 53 см

и 117 мм (соотношение для толщины и снегозапасов в обоих случаях составляло 0,81). В ЦЛЗ максимальные толщина снега и снегозапасы установлены 10 апреля: в ельнике — соответственно 47 см и 138 мм, в лиственном массиве — 51 см и 148 мм (соотношение для толщины снега и снегозапасов в обоих случаях составляло 0,93). Полученные соотношения снегозапасов для ельников и лиственных массивов соответствуют ранее опубликованным результатам исследований и подчёркивают значимость типа растительности для метеорологического режима территории: в ельниках в значительной степени проявляется перехват снега кронами хвойных деревьев с последующим его испарением [3, 8, 9].

Различие снегозапасов в заповедниках — увеличение в направлении с юго-востока к северо-западу в 1,3–1,5 раза — может быть связано с ростом в этом направлении осадков и с уменьшением испарения с поверхности снега в течение зимы из-за понижения сезонной приземной температуры воздуха: в ПТЗ сумма этого параметра за зиму составила $-721,5$ °С, минимальная $-25,1$ °С (13 февраля); в ЦЛЗ сумма за зиму равна $-821,2$ °С, минимальная $-28,8$ °С (3 февраля). Разница в пять дней в наступлении максимума снегозапасов также иллюстрирует меридиональные различия регионального температурного фона зимнего периода. Общее увеличение к северу твёрдых осадков приводит к нивелированию в том же направлении соотношения снегозапасов в ельниках и лиственных массивах: 0,81 — на юге (ПТЗ); 0,93 — на севере (ЦЛЗ).

Индикационные свойства стратиграфии снежной толщи

Исследования стратиграфия снежной толщи приурочены к местам снегомерных маршрутов, которые проходят в ельниках, лиственных массивах и на открытых участках обоих заповедников. Сроки исследования соответствуют датам проведения снегосъёмки в конце периода максимальных снегозапасов: 20 марта в ПТЗ и 6 марта в ЦЛЗ. При шурфовании (3–6 шурфов на снегомерный маршрут) выделялись характерные по размеру зерна слои снежной толщи. В каждом из них фиксировалось наличие или отсутствие глубинной изморози, определялась плотность снега с последующим расчётом послойного снегозапаса. Общее для снежной

толщи обоих заповедников — отсутствие ледяных прослоек в снежной толще и ледяной корки на почве, так как зимой 2011/12 г. оттепелей не было. Средняя толщина снега в момент шурфования в ПТЗ составляла 33–42 см, в ЦЛЗ — 58–67 см, причём меньшие значения толщины снега отмечались в ельниках, а максимальные — в лиственных массивах. Различия в толщине снега, как уже отмечалось, связаны с локальными и региональными особенностями растительности и метеорологического режима.

В ПТЗ выделяются четыре характерных по структуре слоя снежной толщи; в ЦЛЗ, при большей мощности снежной толщи, — шесть. Число слоёв и структура снега соответствующих слоёв в шурфах по одному снегомерному маршруту (типу ландшафта) схожи. Слои, имеющие наибольшую мощность, расположены, как правило, в средней части стенки шурфов. Везде отмечаются увеличение размера кристаллов с глубиной, а также глубинная изморозь — от поверхности почвы до глубины от трети до половины мощности толщи. Таким образом, разница приземной температуры воздуха и температуры снежной толщи при отсутствии оттепелей в течение зимнего периода была достаточной для процесса интенсивной сублимационной перекристаллизации. Сходное расположение глубинной изморози по глубине (от поверхности почвы до глубины от трети до половины мощности толщи) при существенной разнице толщины снега в ПТЗ и ЦЛЗ может быть связано с региональным распределением значений приземной температуры воздуха: с юго-востока на северо-запад в 1,5–1,7 раз увеличивается толщина снега, но зимняя сумма приземной температуры воздуха снижается с $-721,5$ до $-821,2$ °С.

По каждому шурфу толщина слоёв пересчитывалась в относительные величины путём отнесения этой толщины к общей толщине снега; маркеры кривых на графиках рис. 2 отнесены к середине слоя. Это позволяет оценить распределение по глубине плотности снега и снегозапасов в выделенных слоях, сравнить данные по шурфам, заложенные в каждом маршруте, и проанализировать особенности снежной толщи на разных участках. Так, в ПТЗ послойное распределение плотности снега и снегозапасов достаточно равномерно по глубине для каждого шурфа, пройденного на лесных участках. Вместе с тем на открытом участке отмечается

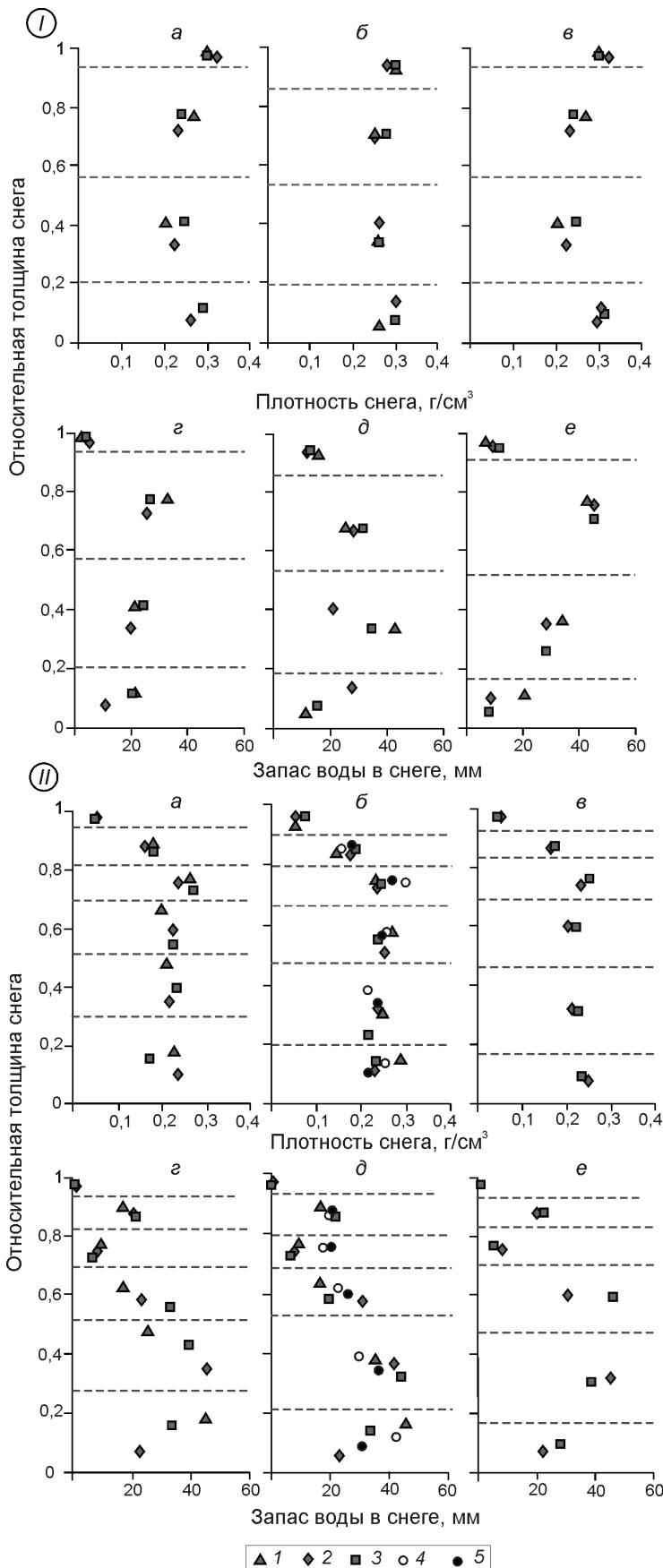


Рис. 2. Стратиграфия снежной толщи зимой 2011/12 г. в относительных значениях толщины снега. Послойная плотность снега (г/см^3), послойные снегозапасы (мм) в ельнике (а, з), на открытых пространствах (б, д), в лиственных массивах (в, е) для Приокско-Тerrasного (I) и Центрально-Лесного (II) заповедников; горизонтальные линии – осреднённые границы слоёв. 1–5 – номера шурфов

Fig. 2. Stratigraphy of snow in winter 2011/12 in relative thicknesses of the snow cover.

Layer's snow density, g/cm^3 , and snow storage, mm, in spruce (a, z), in open area (б, д), in deciduous forest (в, е) in Moscow region (I) and in Tver' region (II); horizontal lines – averaged layer boundaries. 1–5 – pits by the numbers

существенная неоднородность снегозапасов в слоях середины снежной толщи. По-видимому, здесь происходят более резкие по сравнению с лесными массивами колебания приземной температуры воздуха, ветрового переноса и испарения с поверхности снега [5, 8, 9].

В ЦЛЗ максимальные значения плотности снега характерны для верхней трети снежной толщи. У поверхности почвы плотность снега в разных шурфах заметно различается. Большое разнообразие значений плотности снега и снегозапасов характерно для открытых участков, что также, по-видимому, есть следствие более резких по сравнению с лесными массивами колебаний приземной температуры воздуха, ветрового режима и испарения с поверхности снега. Основной вклад в общие снегозапасы везде вносят горизонты средней части снежной толщи, имеющие максимальную мощность. В нижней части снежной толщи разброс значений плотности снега и снегозапасов везде увеличивается (см. рис. 2).

Особенности отражения стратиграфией снежной толщи метеорологических условий зимнего периода иллюстрирует рис. 3, на котором представлены осреднённые по шурфам каждого снегомерного маршрута послойные плотность снега и снегозапасы. Осреднённая толщина слоёв отнесена к осреднённой общей толщине снега в соответствии с рис. 2. Если принять, что стратиграфия снежной толщи отвечает хронологии изменчивости температурного режима зимы и соответственно снегонакопления,

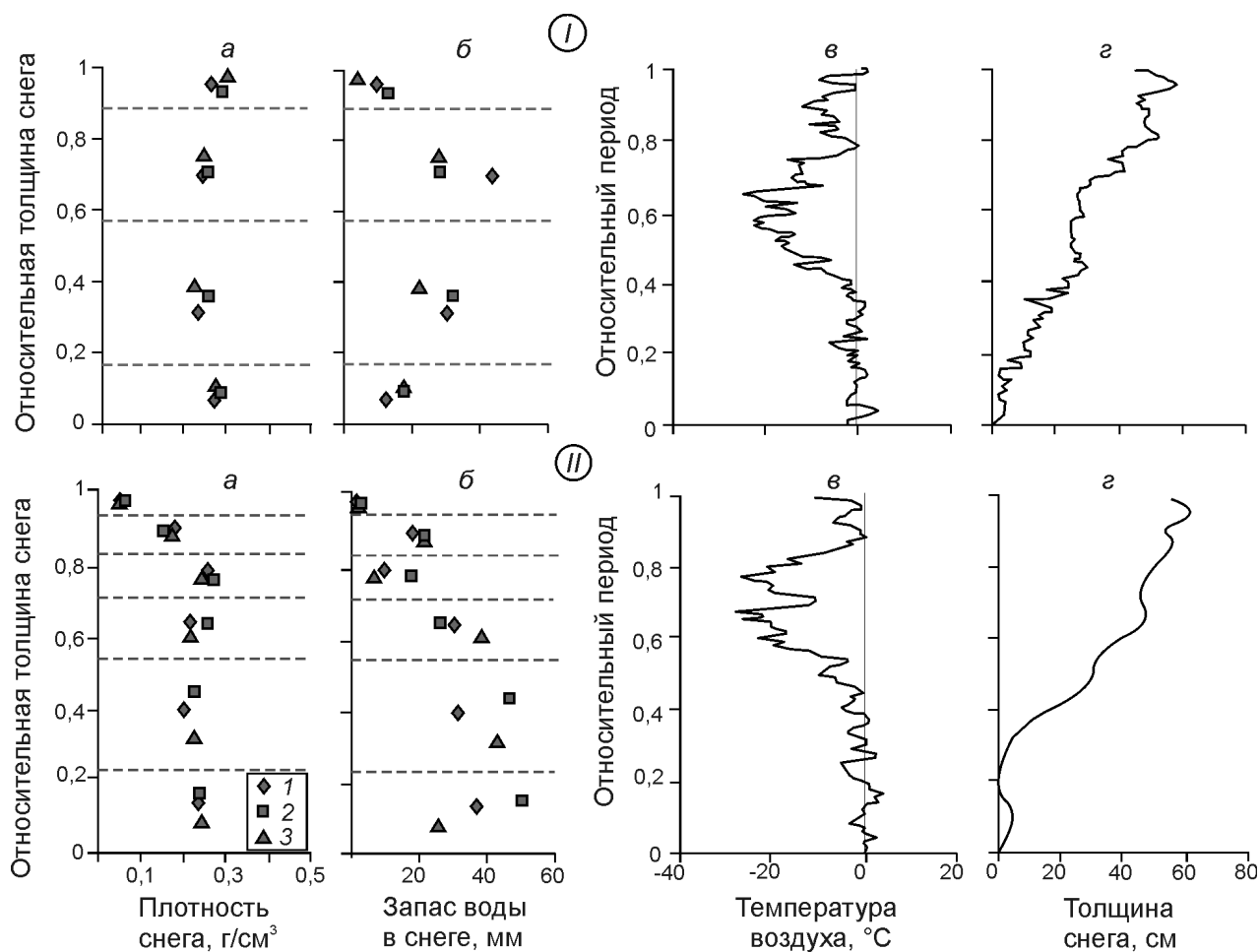


Рис. 3. Совмещенные графики стратиграфии снежной толщи и изменений метеорологических характеристик зимы 2011/12 г. в относительных значениях толщины снега и холодного периода.

Послойная плотность снега, г/см³, (а), послойные снегозапасы, мм, (б), сезонный ход температуры воздуха, °С, (в) и толщины снега, см, (г) для Приокско-Тerrasного (I) и Центрально-Лесного (II) заповедников; 1 – ельник; 2 – открытое пространство; 3 – лиственный лес; горизонтальные линии – осреднённые границы слоёв

Fig. 3. Parallel graphics for stratigraphy of snow thickness and seasonal variability of meteorological parameters in winter 2011/12 in relative snow thickness and cold period.

Layer's snow density, mm/g³, (a), layer's snow storage, cm, (б), seasonal air temperature, °C, (в) and snow depth, cm, (г) in Moscow region (I) and in Tver' region (II); 1 – spruce; 2 – open area; 3 – deciduous forest; horizontal lines – averaged layer boundaries

то полученные для снежной толщи графики можно сравнить с графиками сезонного хода приземной температуры воздуха и толщины снега. Эти графики в данном случае также даны в относительной по времени шкале – период от начала установления устойчивого снежного покрова до даты шурфования принят за единицу, а даты наблюдений температуры воздуха и толщины снега даны в соответствующих долях (см. рис. 3).

Для снежного покрова в пределах ПТЗ наиболее мощные слои с однородной структурой и максимальными снегозапасами соответствуют периоду понижения приземной температуры

воздуха до сезонного минимума и нарастания мощности снежной толщи до максимальной. Сублимационной возгонкой с образованием глубинной изморози в снежной толще затронуты как средние, так и нижние слои, сформировавшиеся в период снижения приземной температуры до сезонного минимума вследствие значительной разницы температур воздуха и основания снежной тощи в середине снежного периода.

На территории ЦЛЗ стратиграфия снежной толщи более неоднородна (см. рис. 3). Тем не менее, значительная толщина снега и наличие глубинной изморози также характерны для

слоёв нижних двух третей снежной толщи. Глубинная изморозь здесь присутствует и в слоях снежной толщи, сформировавшихся в период температурных минимумов. Большие снегозапасы в нижней части толщи снега по сравнению с ПТЗ связаны, по-видимому, с более интенсивным процессом оседания и уплотнения снега, который протекает по мере развития снежных кристаллов на стадии собирательной перекристаллизации – более значимой в условиях большей снежности на севере.

Выводы

На основе экспериментальных наблюдений зимой 2011/12 г. установлена степень локальной неоднородности распределения толщины снега и снегозапасов. В Приокско-Террасном государственном природном биосферном заповеднике значения этих параметров составляют: в ельнике – 43 см и 95 мм; в лиственном массиве – 53 см и 117 мм; соотношение для толщины снега и снегозапасов равно 0,81. В Центральном-Лесном государственном природном биосферном заповеднике: в ельнике – 47 см и 138 мм; в лиственном массиве – 51 см и 148 мм; соотношение для толщины и снегозапасов в обоих случаях равно 0,93. Увеличение снегозапасов в 1,3–1,5 раза в направлении с юго-востока (ПТЗ) к северо-западу (ЦЛЗ) иллюстрирует, по-видимому, меридиональные различия осадков, а также уменьшение испарения с поверхности снега в связи с понижением сезонной приземной температуры воздуха. Разница в пять дней в наступлении максимума снегозапасов (5 апреля и 10 апреля) также связана с различиями регионального температурного фона зимнего периода.

В ельниках толщина снега и снегозапасы меньше, чем в лиственных массивах, в соотношении 0,81 в ПТЗ и 0,93 в ЦЛЗ. Полученные соотношения соответствуют особенностям микроклимата означенных типов растительности: в ельниках наиболее значимо проявляется перехват снега кронами хвойных деревьев с последующим его испарением. Вероятно, ввиду ограниченных возможностей задержания снега кронами хвойных деревьев и в связи с большим количеством твёрдых осадков на севере большая часть снежной массы достигает поверхности земли. В результате, к северу соотношение снегозапасов в ельниках и в лиственных массивах нивелируется от 0,81 на юге до 0,93 на севере.

Определены различия стратиграфии снежной толщи исследуемых территорий. На территории ПТЗ выделены четыре слоя, в ЦЛЗ – шесть, с большим разнообразием по глубине послойной плотности снега и снегозапасов, что, по-видимому, связано с более интенсивными здесь (за счёт большей толщины снежного покрова) процессами оседания и уплотнения, которые протекают по мере развития снежных кристаллов на стадии собирательной перекристаллизации. Большей неоднородностью послойной плотности снега и снегозапасов отличаются открытые участки обоих заповедников, что объясняется более резкими по сравнению с лесными массивами колебаниями приземной температуры воздуха, ветрового переноса и испарения.

Стратиграфия снежной толщи отражает также хронологию зимних изменений приземной температуры воздуха и толщины снежного покрова. Общее для заповедников – наличие максимальных послойных снегозапасов в середине снежной толщи, которая формировалась в период понижения температуры воздуха до минимальных сезонных значений при увеличении до максимума толщины снега. Глубинная изморозь в снежной толще отмечается в её нижних и средних слоях, образовавшихся до наступления температурных минимумов – процесс сублимации происходил в течение всего холодного периода, до начала весеннего снеготаяния.

Полученные данные подтверждают значимость составляющих ландшафтной обстановки при формировании снежного покрова. Выводы во многом носят качественный характер ввиду недостатка на сегодняшний день количественной информации, для получения которой предполагается продолжение экспериментальных исследований.

Работа выполнена при финансовой поддержке гранта РФФИ № 13-05-01167.

Литература

1. *Войтковский К.Ф.* Механические свойства снега. М.: Наука, 1977. 128 с.
2. *Дюнин А.К.* В царстве снега. Новосибирск: Наука, 1983. 154 с.
3. *Китаев Л.М.* Статистический анализ распределения характеристик снежного покрова Курской модельной области // Материалы метеорол. исследований. 1997. № 16. С. 65–82.
4. *Коломыц Э.Г.* Структура снега и ландшафтная индикация. М.: Наука, 1976. 208 с.

5. *Копанев И.Д.* Методы изучения снежного покрова. Л.: Гидрометеоиздат, 1971. 226 с.
 6. *Котляков В.М.* Снежный покров Земли и ледники. Л.: Гидрометеоиздат, 1968. 479 с.
 7. *Кузьмин П.П.* Физические свойства снежного покрова. Л.: Гидрометеоиздат, 1957. 180 с.
 8. *Мишон В.М.* Снегозапасы в оврагах, балках и лесах Центрального Черноземья // Науч. зап. Воронежского отдела Геогр. об-ва СССР. 1970. С. 101–104.
 9. *Мишон В.М.* Теоретические и методические основы оценки ресурсов поверхностных вод в зонах недостаточного и неустойчивого увлажнения европейской части России: Автореф. дис. на соиск. уч. степ. д-ра геогр. наук. Воронеж: Воронежский гос. ун-т. 2007. 50 с.
 10. *Рихтер Г.Д.* Снежный покров, его формирование и свойства. М.-Л.: Изд-во АН СССР, 1945. 68 с.
 11. *Тушинский Г.К., Рябцева К.М.* Стратиграфия снега, как показатель особенностей природно-территориальных комплексов // Инф. сб. о работах по МГГ. 1958. № 1. С. 272–283.
 12. *Тушинский Г.К., Трошкина Е.С., Лантев М.Н.* Изучение стратиграфических и физико-механических свойств снега горных районов Европейской части СССР различного типа лавинообразования // Снежные лавины (прогноз и защита). Вып. 4. М.: изд. МГУ, 1974. С. 54–63.
- day appearance of snow cover maximum is related to differences in regional winter air temperature. Throughout the snow depth and snow storage in spruce are smaller than in deciduous forest – in the ratio of 0.81 in south area and 0.93 in north area; in spruce the large part of solid precipitation is intercepted by the crowns pine trees. Snow stratigraphy at south areas has four layers, six layers at the north area are more variable in snow density and snow storage. Perhaps, gravitational conversion is more noticeable due to larger snow depth. Snow density and snow storage at the open areas are more heterogeneous than in the forest. This is due to sharp fluctuations in air temperature, wind transport and compaction of snow, evaporation from the snow surface. The stratigraphy of snow also reflects the history of winter changes of air temperature and snow accumulation. Common feature for reserves at south and north is the availability of layers with maximum snow storage in the middle of the snow thickness, which were formed during the air temperature drops to the lowest seasonal values in period with increase of snow depth to maximum. Formation of depth hoar in snow thickness are touched everywhere the bottom and middle layers, respectively, it was formed both before and during the period with minimal air temperature. Thus, the results of experimental studies confirm the significance of the differences of individual components of the landscape setting. Analytical conclusions are largely qualitative in nature due to the lack to date of initial information, and therefore to continue experimental studies is expected.

Summary

Local and regional differences in the snow formation were studied in different landscapes of the central part of the East European Plain – within reserves in the Moscow and Tver' regions (south-north direction); the study period is the winter 2011/12. The observed increase of snow storage in 1.3–1.5 times in the direction south-north is connected, apparently. The difference in the five-