

АТМОСФЕРНЫЕ ЯВЛЕНИЯ И КЛИМАТ

УДК 551.583:551.578.46

DOI: 10.21782/KZ1560-7496-2018-2(81-90)

**ВКЛАД АНОМАЛЬНЫХ ЗНАЧЕНИЙ МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК
В ИЗМЕНЧИВОСТЬ КЛИМАТА ЗИМНЕГО ПЕРИОДА НА СЕВЕРЕ ЕВРАЗИИ****Л.М. Китаев***Институт географии РАН, 109017, Москва, Старомонетный пер., 29, Россия; lkitaev@mail.ru*

Для крупных физико-географических регионов севера Евразии количественно проиллюстрированы особенности пространственно-временных изменений приземной температуры воздуха, осадков и снегозапасов за период 1966–2011 гг. Повсеместно отмечается устойчивое потепление, тенденции изменчивости осадков и снегозапасов имеют малые линейные тренды (за исключением Дальнего Востока). Выявлены, рассчитаны и типизированы региональные значения аномалий исследуемых характеристик. Определен вклад суммарных значений аномалий в общую изменчивость суммы значений выборки. В результате получены распределения значений характеристик и вид многолетних тенденций, особенно в случаях незначимых коэффициентов линейного тренда. Наибольший вклад суммарных значений аномалий приземной температуры воздуха характерен для Западной и Восточной Сибири, осадков и снегозапасов – для Восточной Сибири и Дальнего Востока.

Приземная температура воздуха, осадки, снегозапасы, частота проявления аномалий, значения аномалий, пространственная и временная изменчивость

**THE CONTRIBUTION OF ANOMALOUS VALUES OF METEOROLOGICAL CHARACTERISTICS
TO WINTER CLIMATE VARIABILITY IN NORTHERN EURASIA****L.M. Kitaev***Institute of Geography, RAS, 29, Staromonetnyy per., 109017, Moscow, Russia; lkitaev@mail.ru*

The spatial and temporal changes in the air temperature, precipitation and snow cover have been quantitatively illustrated for the main regions of northern Eurasia for the period of 1966–2011. Steady warming is registered widely, regional variability of precipitation and snow cover have low trend values – with the exception of the territory of the Russian Far East. Values of regional anomalies of the characteristics under study have been calculated and categorized. The contribution of the cumulative values of anomalies to the total variability of the amount of sample values has been defined for all the characteristics. As a result, statistical distribution of the property values and the type of long-term trends have been refined, particularly for cases with not significant coefficients of the linear trend. The largest contribution of the total values of air temperature anomalies has been observed for Western and Eastern Siberia, and the largest contribution of cumulative values of anomalies for precipitation and snow cover has been obtained for the region of Eastern Siberia and the Russian Far East.

Air temperature, precipitation, snow storage, frequency of anomaly events, values of the anomalies, spatial and temporal variability

ВВЕДЕНИЕ

Особенности метеорологического режима холодного периода средних и высоких широт Евразии (прежде всего приземной температуры воздуха, осадков, снегозапасов) обуславливают недостаток или избыток почвенной влаги, экстремально малые или катастрофически большие объемы весеннего половодья, состояние биоты и, как следствие, характер хозяйственной деятельности. В настоящее время исследования изменчивости климатических параметров проводятся по многим направлениям. Существенная пространственная вариабельность альбедо поверхности в зимний период, связанная с ландшафтными условиями и особенностями снегонакопления [Коп-

нев, 1978; Котляков, 2004; Рубинштейн и др., 2006; Китаев, Титкова, 2011; Трофимова, 2014], не может не оказывать влияния на характер обмена теплом и влагой между поверхностью и атмосферой. Многолетнее повышение приземной температуры воздуха обуславливает изменчивость параметров снежного покрова. В частности, для севера Евразии выявлены зависимости сроков залегания снежного покрова от характера потепления и особенностей атмосферной циркуляции [Потова, Полякова, 2013]; данные об изменчивости снегозапасов и толщины снега последних десятилетий в связи с региональной неоднородностью приземной температуры воздуха приведены в работах

А.Н. Кренке [Кренке и др., 2000, 2009], В.М. Котлякова [2004]. В течение второй половины XX в. региональные тенденции увеличения доли жидких осадков зимой не повлияли на изменчивость снегонакопления [Китаев и др., 2010], а предел нарастания снеготпасов в связи с потеплением климата еще не наступил в большинстве регионов Севера [Китаев и др., 2004; Кренке и др., 2009]. Изменения метеорологических характеристик в современных условиях имеют неоднозначные пространственные и временные особенности – здесь возможны как положительные, так и отрицательные тенденции, не совпадающие в локальном и региональном масштабах [Китаев и др., 2012; Второй... доклад..., 2014; Китаев et al., 2002; Brown, Mote, 2009; Bulygina et al., 2011].

Указанные выше особенности хорошо иллюстрируются средними значениями и величиной стандартного отклонения метеорологических характеристик, при этом вклад их аномальных значений в изменчивость климата также необходимо учитывать. Основная задача настоящей работы состоит в выявлении пространственно-временных распределений аномалий метеорологических характеристик и их вклада в формирование климата зимнего периода. Объект исследований – север Евразии в границах России за период 1966–2011 гг.

ДАнные НАБЛЮДЕНИЙ И МЕТОДЫ ИХ ОБРАБОТКИ

Исследования базируются на анализе данных наблюдений 800 метеорологических станций Гидрометслужбы России в период 1966–2011 гг. (<http://meteo.ru>): суточных значений приземной температуры воздуха и осадков, снеготпасов по данным декадных маршрутных снеготсъемок. Технология проведения метеорологическими станциями режимных наблюдений регламентируется соответствующими правилами [Наставление..., 1985]. Рассмотрена многолетняя изменчивость снеготпасов на конец февраля в сочетании с изменчивостью средних за ноябрь–май значений приземной температуры воздуха и осадков. Исследованы особенности крупных физико-географических регионов севера Евразии в границах России (по секторам) – Восточно-Европейская равнина (30–60° в.д.), Западная Сибирь (60–90° в.д.), Средняя Сибирь (90–125° в.д.), Восточная Сибирь и Дальний Восток (125–180° в.д.). На юге территория ограничена нами 50-й параллелью, поскольку в более низких широтах России количественная оценка малых значений снеготпасов равнинных территорий и снеготпасов высокогорных областей статистически не совсем валидна.

Анализ проводился стандартными методами математической статистики и геоинформационных технологий, для чего данные метеостанций

были пересчитаны в узлы регулярной сетки $1 \times 1^\circ$, что позволяет использовать многолетние ряды данных наблюдений без дополнительного учета пропусков в них. Применяемый метод интерполяции – кригинг (kriging) – один из видов обобщенной линейной регрессии для моделирования поверхностей, при расчете которой минимизируется стандартное отклонение [Байков и др., 2010]. Ошибка пространственного осреднения может достигать 7–15 мм за год для осадков [Груза и др., 2013] и $-0.007...-0.003^\circ\text{C}$ для приземной температуры января [Жильцова, Анисимов, 2009]. Для снеготпасов Восточно-Европейской равнины принята ошибка не более чем 10 мм [Кислов и др., 2001], для остальных районов – 7–15 мм (по-видимому, ориентировочно равна ошибке для осадков).

Основной объект исследований – зимние аномалии приземной температуры воздуха, осадков и снеготпасов. Характеристики считаются аномальными, если они превышают одинарную и удвоенную величины стандартного отклонения для многолетних рядов с удаленным трендом.

ИЗМЕНЧИВОСТЬ МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК

Результаты исследований изменчивости метеорологических характеристик публиковались неоднократно и обобщены, в частности, во “Втором оценочном докладе об изменениях климата” [Второй... доклад..., 2014]. Поэтому ниже информация дается в кратком виде – для иллюстрации общего состояния климата последних десятилетий. Средние для рассматриваемых регионов величины метеорологических характеристик и стандартное отклонение рядов значений соответствуют климатическим особенностям севера Евразии (табл. 1). Значимые региональные коэффициенты линейного тренда характерны только для многолетних изменений приземной температуры воздуха: с отрицательным знаком для Восточной Сибири и Дальнего Востока ($-0.054^\circ\text{C}/\text{год}$) и с положительным знаком для остальной территории при максимальном значении коэффициента в Западной Сибири ($0.050^\circ\text{C}/\text{год}$).

Наиболее заметный многолетний прирост приземной температуры воздуха наблюдается на северо-западе Восточно-Европейской равнины (Кольский полуостров, Карелия) и на севере Западной и Средней Сибири (низовья Оби и Енисея). Многолетнее снижение приземной температуры характерно для северных областей Дальнего Востока и юга Западной Сибири. Участки со значимым приростом осадков и снеготпасов расположены в Западной Сибири выше 60-й параллели, на территории Чукотки и п-ова Камчатка, в низовьях Амура. Участки со значимым отрицательным трендом снеготпасов отмечены в центре и на севере Средней Сибири.

Таблица 1. Изменчивость метеорологических характеристик холодного периода (октябрь–май)

Показатель	Температура воздуха, °С	Осадки, мм	Снегозапасы, мм
<i>Восточно-Европейская равнина</i>			
Среднее	-8.7	142	92
Стандартное отклонение	1.69	13.66	10.76
Коэффициент линейного тренда	0.046	<i>0.280</i>	<i>0.165</i>
<i>Западная Сибирь</i>			
Среднее	-16.6	108	107
Стандартное отклонение	2.27	11.15	12.53
Коэффициент линейного тренда	0.050	<i>0.086</i>	<i>0.268</i>
<i>Средняя Сибирь</i>			
Среднее	-27.1	59.8	88.4
Стандартное отклонение	1.90	5.23	10.13
Коэффициент линейного тренда	0.047	<i>0.045</i>	<i>0.149</i>
<i>Восточная Сибирь и Дальний Восток</i>			
Среднее	-24.7	86	99
Стандартное отклонение	1.25	13.79	15.52
Коэффициент линейного тренда	-0.054	0.487	0.549

Примечание. Курсивом выделены значения незначимых коэффициентов линейного тренда.

РАСПРЕДЕЛЕНИЕ АНОМАЛИЙ МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК

Как уже упоминалось, аномальными значениями в ходе приземной температуры воздуха, осадков и снегозапасов (соответственно, среднее и сумма за ноябрь–февраль и величина на конец

февраля) принимаются значения, превышающие одинарное и удвоенное стандартное отклонение. Для их получения в многолетнем ходе характеристик для каждого года осреднялись значения соответствующего параметра по всем ячейкам $1 \times 1^\circ$ каждого из регионов. Затем для полученных та-

Таблица 2. Частота проявлений аномальных лет

Регион	Характеристика	Аномалии – одинарное стандартное отклонение		Аномалии – удвоенное стандартное отклонение	
		Положительные	Отрицательные	Положительные	Отрицательные
Восточно-Европейская равнина	Температура воздуха, °С	1971, 1981, 1983, 2004	1969, 1979, 1985, 1987, 1994, 1998	1983	1969, 1985
	Осадки, мм	1966, 1968, 1976, 1977, 1985, 1987, 1993, 2000, 2003	1967, 1972, 1974, 1978, 1983, 1984, 1991, 2008	2003	–
	Снегозапасы, мм	1968, 1976, 1979, 1986, 1993, 1994, 1995, 2000	1969, 1972, 1975, 2003, 2009	1993	2003
Западная Сибирь	Температура воздуха, °С	1968, 1981, 1983, 1984, 1995, 2002, 2007	1969, 1977, 1985, 1993, 1998, 2001, 2010	1983	1969, 2010
	Осадки, мм	1966, 1974, 1979, 1983, 1994, 2000, 2007, 2010	1967, 1969, 1971, 1972, 1984, 1987, 2003	1966	2003
	Снегозапасы, мм	1973, 1979, 1992, 1993, 1998, 2007	1968, 1986, 2000, 2003, 2010	1993	1992
Центральная Сибирь	Температура воздуха, °С	1968, 1976, 1984, 1989, 1992, 1995, 2002	1966, 1969, 1977, 1985, 2010	1989	1969, 2001
	Осадки, мм	1974, 1978, 1982, 1991, 1993, 2007	1968, 1969, 1977, 1985, 1986, 1987, 1988, 2003	–	2003
	Снегозапасы, мм	1975, 1981, 1982, 1993, 2007	1966, 1977, 1985, 1986, 1987, 2003, 2010	2000	2003
Восточная Сибирь и Дальний Восток	Температура воздуха, °С	1968, 1976, 1986, 1996, 2011	1966, 1983, 1998, 1999, 2000	1996, 2011	1982
	Осадки, мм	1967, 1978, 1982, 1992, 1993, 2007	1966, 1977, 1984, 1985, 1986, 1987, 1988, 2003, 2010	1967, 1982	2003
	Снегозапасы, мм	1966, 1974, 1978, 1982, 1991, 2003, 2010	1977, 1984, 1986, 1987, 1988, 1992, 1996, 2006	1982, 2010	–

Таблица 3. Региональные значения коэффициентов асимметрии

Регион	Температура воздуха, °С	Осадки, мм	Снегозапасы, мм
Восточно-Европейская равнина	0.205	0.282	0.375
Западная Сибирь	0.692	-0.221	0.029
Средняя Сибирь	0.275	0.534	0.008
Восточная Сибирь и Дальний Восток	0.430	0.630	1.066

ким образом многолетних рядов (1966–2011 гг.) рассчитывались величины одинарного и удвоенного стандартного отклонения; в заключение производилась выборка значений, превышающих величину одинарного и удвоенного стандартного отклонения (для положительной и отрицательной областей распределения характеристик). Проявления аномалий иллюстрирует табл. 2, где для каждого региона указаны аномальные годы в положительной и отрицательной областях распределения значений. Общее количество аномалий составляет 5–9 случаев (лет), или 12–22 % от общей продолжительности исследуемого периода.

Разница между количеством положительных и отрицательных аномалий достигает максимально трех случаев, что не нарушает симметрию в распределении характеристик. Это можно проиллюстрировать коэффициентом асимметрии, который для случайной величины X при $E[X] < \infty$ задается формулой

$$\eta = \mu_3 / \sigma^3,$$

где $\mu_3 = E[(X - EX)^3]$ – центральный момент третьего порядка; $\sigma = \sqrt{D[X]}$ – стандартное отклонение. Коэффициент асимметрии положителен, если правый “хвост” распределения длиннее левого, и отрицателен в противном случае. Если распределение симметрично относительно математического ожидания, то его коэффициент асимметрии равен нулю. Оценка значимости коэффициентов асимметрии проводилась путем расчета средней квадратической ошибки

$$\sigma_\eta = \sqrt{6(n-1)/((n-1)(n+1))},$$

где n – число членов совокупности.

Соотношение рассчитанных региональных коэффициентов асимметрии и их ошибки не превышает в нашем случае трех: $\eta/\sigma_\eta < 3$ (табл. 3), и тогда коэффициенты считаются незначимыми [Лукашевич, 1998]. Таким образом, распределение исследуемых характеристик является нормальным, и все статистические оценки, в том числе анализ аномалий, можно считать корректными.

ЗНАЧЕНИЯ АНОМАЛИЙ МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК

Выявление случаев аномалий, их количества в положительных и отрицательных областях распределения значений важно для иллюстрации многолетней вариабельности метеорологических характеристик (рис. 1). При этом определение конкретных аномальных значений позволяет более точно представить межгодовую изменчивость климатических условий.

Для всех аномалий рассчитаны конкретные значения приземной температуры воздуха, осадков и снегозапасов для положительной и отрицательной областей распределения (см. табл. 2). Многолетняя динамика значений, превышающих стандартное отклонение, для приземной температуры воздуха приведена на рис. 2, А, для осадков – на рис. 2, Б, для снегозапасов – на рис. 2, В. На

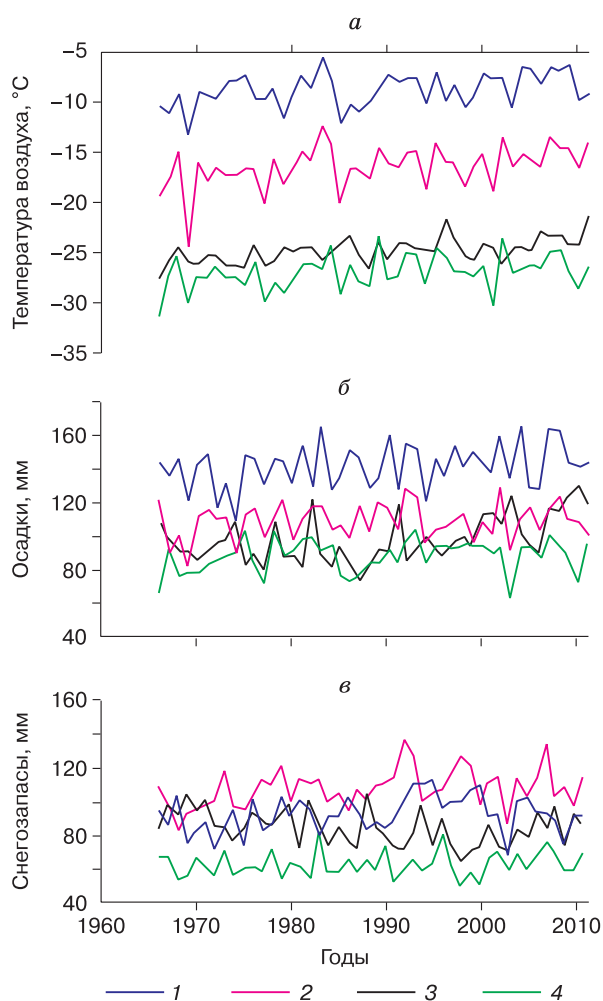


Рис. 1. Многолетний ход температуры воздуха (а), осадков (б) и снегозапасов (в) на территории Восточно-Европейской равнины (1), Западной Сибири (2), Средней Сибири (3), Западной Сибири и Дальнего Востока (4).

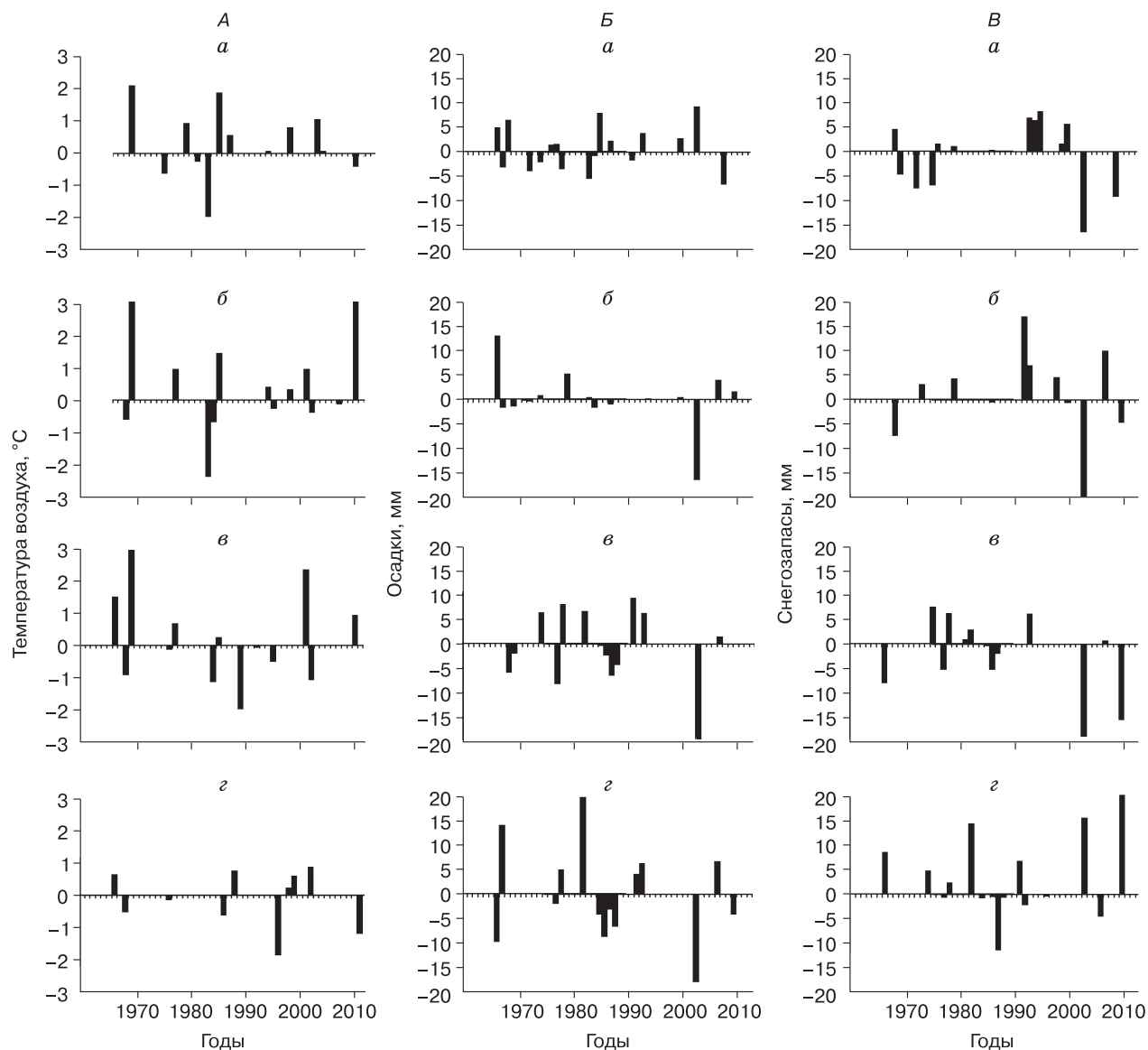


Рис. 2. Многолетний ход значений аномалий:

А – приземная температура воздуха; *Б* – осадки; *В* – снеготпасы; *а* – Восточно-Европейская равнина; *б* – Западная Сибирь; *в* – Средняя Сибирь; *г* – Восточная Сибирь и Дальний Восток.

рис. 2 видно, что не совпадает количество аномальных случаев в положительной и отрицательной областях выборок, различаются также суммы их значений за исследуемый период. Так, отношение суммы положительных значений к сумме отрицательных значений для аномалий характеристик за весь период составляет:

– Восточно-Европейская равнина: для аномалий приземной температуры воздуха – 2,6, для аномалий осадков – 0,9, для аномалий снеготпасов – 0,8;

– Западная Сибирь: для аномалий приземной температуры воздуха – 2,7, для аномалий осадков – 1,2, для аномалий снеготпасов – 1,0;

– Средняя Сибирь: для аномалий приземной температуры воздуха – 1,5, для аномалий осадков – 0,8, для аномалий снеготпасов – 0,4;

– Восточная Сибирь и Дальний Восток: для аномалий приземной температуры воздуха – 0,7, для аномалий осадков – 1,3, для аномалий снеготпасов – 1,6.

Значения аномалий и их соотношение в отрицательной и положительной областях распределения являются хорошим количественным показателем вклада экстремумов в межгодовую динамику, уточняющим характер многолетних тенденций изменения климата. Так, региональное потепление сопровождается существенным превышением

положительных значений аномалий приземной температуры воздуха над отрицательными (при коэффициентах асимметрии $\eta = 0.20-0.69$), за исключением Восточной Сибири и Дальнего Востока, где сумма отрицательных значений температуры преобладает, а коэффициент линейного тренда значим и отрицателен (при $\eta = -0.430$). Для значений аномалий осадков и снеговязов Восточно-Европейской равнины и Западной Сибири характерны близкие к единице отношения суммарных положительных и отрицательных значений аномалий (для осадков $\eta = 0.282$ и -0.221 , для снеговязов $\eta = 0.375$ и -0.029), что согласуется с незначимыми здесь коэффициентами линейного тренда. В Средней Сибири наблюдается преобладание отрицательных значений аномалий осадков и сне-

говязов (при $\eta = 0.534$ и 0.008) также при отсутствии значимых тенденций в многолетних изменениях. Территория Восточной Сибири и Дальнего Востока отличается существенным преобладанием положительных аномалий осадков и снеговязов (при $\eta = -0.630$ и 1.066) в сочетании со значимыми положительными коэффициентами их линейных трендов.

Соотношение положительных и отрицательных значений аномалий в более чем 1.3 раза характерно для случаев с положительным коэффициентом асимметрии, менее чем 1.3 раза – для случаев с отрицательным коэффициентом. Соотношение, равное 1.3, является пограничным по наличию значимых и незначимых коэффициентов линейных трендов.

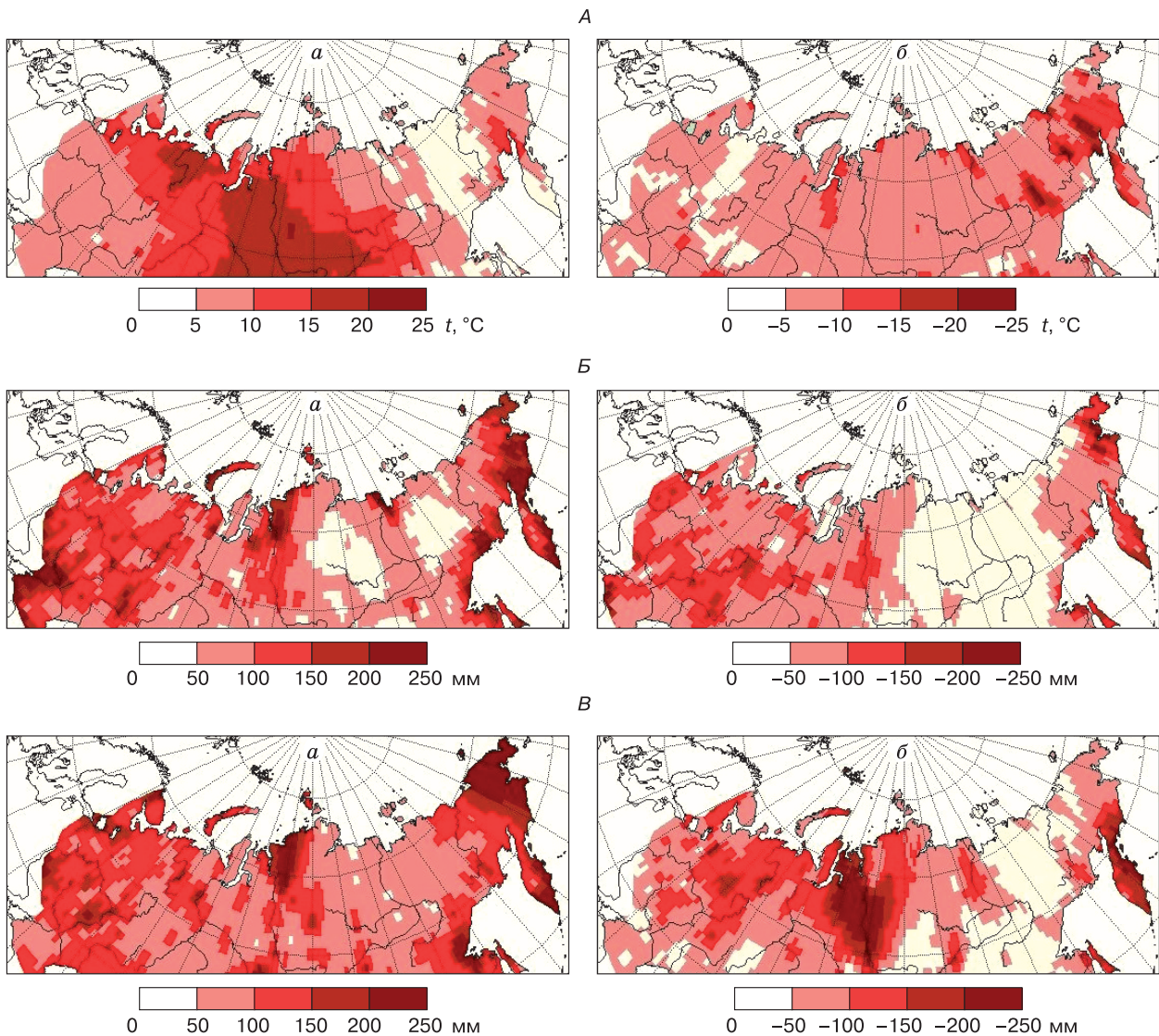


Рис. 3. Пространственное распределение суммарных за период исследований (1966–2011) положительных (а) и отрицательных (б) значений аномалий:

А – приземной температуры воздуха; Б – осадков; В – снеговязов.

Для иллюстрации пространственного распределения значений аномалий характеристик для временных рядов с удаленным трендом каждой ячейки $1 \times 1^\circ$ рассчитывались среднее и стандартное отклонение, выявлялись превышения одинарной величины стандартного отклонения в положительной и отрицательной областях выборки, значения которых суммировались для исследуемого периода. В результате на рис. 3 представлено расположение аномальных участков, причем территориям с суммой аномалий более $+20^\circ\text{C}$ и менее -20°C для приземной температуры воздуха и более $+200$ мм и менее -200 мм для осадков и снеготопливных запасов отвечают значения, превышающие удвоенную величину стандартного отклонения.

Территориями с проявлением значительных положительных суммарных аномалий приземной температуры воздуха следует считать север Восточно-Европейской равнины, Восточную и Среднюю Сибирь. Значительные суммарные отрицательные аномалии температуры проявляются на Дальнем Востоке. Отсутствуют существенные положительные и отрицательные суммарные аномалии осадков и снеготопливных запасов в Средней и Восточной Сибири. Существенные положительные аномалии снеготопливных запасов отмечены на западе Восточно-Европейской равнины, севере Западной Сибири и на Дальнем Востоке, отрицательные аномалии – на востоке Восточно-Европейской равнины, юге Западной Сибири и в центре Сибири.

Вклад аномалий в тенденции изменения исследуемых метеорологических характеристик можно оценить по отношению суммы их значений к общей за период сумме значений этих характеристик в положительной и отрицательной областях распределения (табл. 4). Таким образом, для севера Евразии суммарный вклад аномалий в общую сумму значений выборки составляет:

- для приземной температуры воздуха: 16–46 % в положительной области распределения и 10–26 % в отрицательной области;
- для осадков: 20–26 % в положительной области распределения и 18–31 % в отрицательной области;
- для снеготопливных запасов: 14–28 % в положительной области распределения и 17–31 % в отрицательной области.

Полученный результат соответствует значимой тенденции потепления последних десятилетий: вклад в изменчивость приземной температуры воздуха положительных аномалий почти вдвое больше, чем отрицательных. Существенное превышение отрицательных суммарных значений аномалий осадков и снеготопливных запасов над положительными (также почти вдвое) позволяет несколько уточнить тенденции их изменения при незначительных коэффициентах линейных трендов (по крайней мере, в отрицательной зоне распределения

Таблица 4. Вклад аномалий в многолетние значения метеорологических характеристик

Область распределения	Вклад аномалий (%)		
	Температура воздуха, $^\circ\text{C}$	Осадки, мм	Снеготопливные запасы, мм
<i>Восточно-Европейская равнина</i>			
Положительная	27	26	18
Отрицательная	10	18	23
<i>Западная Сибирь</i>			
Положительная	45	21	23
Отрицательная	12	31	21
<i>Средняя Сибирь</i>			
Положительная	46	20	14
Отрицательная	19	26	31
<i>Восточная Сибирь и Дальний Восток</i>			
Положительная	16	24	28
Отрицательная	26	19	17

проявляется наибольшая “активность” экстремальных случаев). Наибольший вклад суммарных значений аномалий в средние значения выборки приземной температуры воздуха характерен для Западной и Восточной Сибири, осадков и снеготопливных запасов – для территории Восточной Сибири и Дальнего Востока, причем прежде всего за счет ситуации на Дальнем Востоке (см. рис. 3, Б, В).

В целом пространственное распределение суммарных аномалий приземной температуры воздуха соответствует районированию температуры по характеру межгодовых колебаний, проведенному В.В. Поповой [2009]. Так, выделенные в центре Сибири районы имеют ярко выраженную тенденцию к потеплению, это подтверждает наличие здесь значительных суммарных за период аномалий температуры (см. рис. 3, А). Отсутствие аномалий температуры характерно для междуречья Лены и Колымы – здесь не наблюдаются значимые многолетние тенденции в ходе приземной температуры воздуха [Попова, 2009]. “Спокойным” с точки зрения проявления температурных аномалий можно считать западную часть Восточно-Европейской равнины, она характеризуется относительно слабым трендом многолетней изменчивости температурного хода [Попова, 2009].

Пространственное распределение суммарных за период аномалий снеготопливных запасов также соответствует их районированию в соответствии с особенностями межгодовой вариабельности [Попова и др., 2015]. Тем не менее на Дальнем Востоке отсутствуют существенные аномалии (см. рис. 3), а также значительные коэффициенты линейного тренда характеристик [Второй... доклад..., 2014; Kitaev et al., 2002; Bulygina et al., 2011]. Интенсивность изменения приземной температуры воздуха, осадков и снеготопливных запасов в данном случае можно, по-видимому, связать с изменениями индекса Ти-

хоокеанской Североамериканской осцилляции – PNA (Pacific North American Pattern) [Van den Dool et al., 2000]. Частые повторения в последние десятилетия отрицательной фазы в изменениях индекса обуславливают северо-западный перенос воздушных масс, что сопровождается понижением температуры воздуха, увеличением осадков и, следовательно, снегозапасов. С некоторой осторожностью надо относиться к результатам по пространственному распределению климатических аномалий в горах Сибири, поскольку необходимо уточнение характера климатической изменчивости в условиях сильнопересеченного рельефа, а законы пространственной интерполяции для горных территорий могут не совпадать с подходами к интерполяции для равнинных территорий [Кислов, Суркова, 2009].

Пространственное распределение аномалий характеристик в целом соответствует климатическому районированию [Попова, 2009; Второй... доклад..., 2014; Попова и др., 2015], а климатическое районирование, в свою очередь, связано с изменчивостью индексов атмосферной циркуляции, поэтому можно предположить, что определяющим фактором возникновения аномалий является характер атмосферных процессов. Таким образом, исследования могут быть продолжены в рамках поиска взаимосвязи аномалий метеорологических характеристик и изменчивости атмосферной циркуляции.

ВЫВОДЫ

Для крупных физико-географических регионов севера Евразии количественно проиллюстрированы особенности пространственно-временных изменений приземной температуры воздуха, осадков и снегозапасов. Средние региональные величины и стандартное отклонение рядов значений метеорологических характеристик, а также многолетние тенденции соответствуют общим климатическим особенностям исследуемой территории [Китаев, 2006; Китаев и др., 2006; Второй... доклад..., 2014]. Повсеместно отмечается устойчивое потепление, региональные тенденции изменчивости осадков и снегозапасов имеют незначимые линейные тренды, за исключением восточной части Восточной Сибири и Дальнего Востока.

Для многолетних рядов исследуемых характеристик выявлены случаи проявления аномалий – превышения их значениями одинарной и удвоенной величины стандартного отклонения. Количество аномальных лет с превышением одинарного стандартного отклонения находится в диапазоне 5–9, или 12–22 % от продолжительности рассматриваемого периода. Случаи превышения двойной величины стандартного отклонения немногочисленны – для каждой из характеристик не более 3, или 6 % за исследуемый период. Рас-

считанная ошибка коэффициента асимметрии выборки указывает на то, что он незначим, статистическое распределение характеристик близко к нормальному, и это говорит о корректности выполненных статистических расчетов.

Для всех характеристик рассчитаны региональные значения аномалий – их суммарные за период величины для положительной и отрицательной областей распределения. Региональные отношения суммарных за период значений аномалий к отрицательным изменяются по всем характеристикам в диапазоне 0.4–2.7. Соотношение суммарных положительных и отрицательных значений характеристик более 1.3 раза характерно для случаев положительного коэффициента асимметрии, менее 1.3 раза – для случаев с отрицательным коэффициентом асимметрии. Соотношение 1.3 раза является пограничным по наличию значимых или незначимых коэффициентов линейных трендов. Таким образом, анализ суммарных значений аномалий может быть полезен при исследовании особенностей распределения значений характеристик и при уточнении характера многолетних тенденций, в частности, в случае незначимых коэффициентов линейного тренда.

Вклад суммарных значений аномалий в общую изменчивость суммы значений выборки достаточно заметен: для приземной температуры воздуха – до 46 % в положительной области распределения и до 26 % в отрицательной области; для осадков и снегозапасов – до 18 и 28 % в положительной области распределения значений и до 31 % в отрицательной области. Наибольший вклад суммарных значений аномалий в средние значения выборки приземной температуры воздуха характерен для Западной и Восточной Сибири, осадков и снегозапасов – для Восточной Сибири и особенно Дальнего Востока.

Предложенный подход позволяет уточнить тенденции изменения метеорологических характеристик, что существенно, в частности, для незначимых коэффициентов линейного тренда. Кроме того, в реальных значениях характеристик выделены области с наибольшей частотой проявления аномалий. В дальнейшем предполагается провести исследование причин возникновения аномалий и анализ их количественных показателей.

Работа выполнена при поддержке программы № 01482014-0015 фундаментальных научных исследований РАН (статистический анализ данных) и проекта № 16-05-00753 А РФФИ (сбор и обработка первичной информации).

Литература

Байков В.А., Бакиров Н.К., Яковлев А.А. Новые подходы в теории геостатистического моделирования // Вестн. УГАТУ, 2010, т. 14, № 2 (37), с. 209–215.

- Baikov, V.A., Bakirov, N.K., Yakovlev, A.A., 2010. New approaches to the theory of geostatic simulation. Vestnik of UGATU (Ufa State Aviation Technical University) 14, No. 2 (37), 209–215.
- Второй** оценочный доклад Росгидромета об изменениях климата и их последствиях на территории Российской Федерации. М., Росгидромет, 2014, 1008 с.
Second Evaluative Report of Rosgidromet on Climate Changes and their Effects on the Territory of the Russian Federation, 2014. Rosgidromet, Moscow, 1008 pp. (in Russian)
- Груза Г.В., Ранькова Э.Я., Клещенко Л.К., Смирнов В.Д.** О пространственном усреднении в задачах мониторинга климата // Пробл. эколог. мониторинга и моделирования экосистем, 2013, т. XXV, с. 42–71.
Gruza, G.V., Rankova, E.Y., Kleshchenko, L.K., Smirnov, V.D., 2013. On spatial averaging in climate monitoring problems. Problemy Ekologicheskogo Monitoringa i Modelirovaniya Ekosistem XXV, 42–71.
- Жильцова Е.Л., Анисимов О.А.** О точности воспроизведения температуры и осадков на территории России глобальными климатическими архивами // Метеорология и гидрология, 2009, № 9, с. 66–74.
Zhiltsova, E.L., Anisimov, O.A., 2009. On the accuracy of presentation of air temperature and precipitation in the territory of Russia by global climatic archives. Meteorologia i Gidrologia 9, 66–74.
- Кислов А.В., Китаев Л.М., Константинов И.С.** Статистическая структура крупномасштабных особенностей поля снежного покрова // Метеорология и гидрология, 2001, № 8, с. 98–104.
Kislov, A.V., Kitaev, L.M., Konstantinov, I.S., 2001. The statistical structure of large-scale features of the snow cover field. Meteorologia i Gidrologia 8, 98–104.
- Кислов А.В., Суркова Г.В.** Пространственно-детализированный климатический прогноз температуры воздуха и осадков Восточной Сибири на основе учета локальных особенностей подстилающей поверхности // Метеорология и гидрология, 2009, № 3, с. 43–51.
Kislov, A.V., Surkova, G.V., 2009. Space-detailed climatic forecasting of air temperature and precipitation in Eastern Siberia on the basis of accounting for local features of the underlying surface. Meteorologia i Gidrologia 3, 43–51.
- Китаев Л.М.** Связь сезонных изменений температуры воздуха и снежного покрова Северной Европы // Криосфера Земли, 2006, т. X, № 3, с. 76–82.
Kitaev, L.M., 2006. Relationship between seasonal changes of air temperature and snow cover in Northern Europe. Earth's Cryosphere X (3), 76–82.
- Китаев Л.М., Кренке А.Н., Титкова Т.Б.** Климатические условия пределов нарастания на севере Евразии // Лед и снег, 2004, т. 97, № 4, с. 117–126.
Kitaev, L.M., Krenke, A.N., Titkova, T.B., 2004. Climatic conditions of snow accretion in Northern Eurasia. Led i Sneg 97 (4), 117–126.
- Китаев Л.М., Разуваев В.Н., Хейно Р., Форланд Т.** Продолжительность залегания снежного покрова в Северной Европе // Метеорология и гидрология, 2006, № 3, с. 95–100.
Kitaev, L.M., Razuvaev, V.N., Heino, P., Forland, T., 2006. Duration of snow cover stay in Northern Europe. Meteorologia i Gidrologia 3, 95–100.
- Китаев Л.М., Титкова Т.Б.** Изменчивость альбедо снежного покрова – анализ спутниковых данных // Соврем. пробл. дистанционного зондирования Земли из космоса, 2011, т. 8, № 2, с. 47–54.
Kitaev, L.M., Titkova, T.B., 2011. Variability of snow cover albedo – analysis of satellite data. Sovremennye Problemy Distantionnogo Zondirovaniya Zemli iz Kosmosa (Modern Problems of Remote Sensing of the Earth from Outer Space) 8 (2), 47–54.
- Китаев Л.М., Титкова Т.Б., Коробов Е.Д.** Изменчивость снегонакопления и динамика температуры почвы в связи с изменениями локальной метеорологической обстановки // Многолетние процессы в природных комплексах заповедников России / Под ред. Н.А. Потемкина, А.С. Желтухина. Великие Луки, ООО “Великолукская городская типография”, 2012, с. 19–26.
Kitaev, L.M., Titkova, T.B., Korobov, E.D., 2012. Variability of snow accumulation and air temperature variation due to changes in the local meteorological conditions, in: Perennial Processes in the Natural Complexes of Russia's Natural Preserves. Ed. by N.A. Potemkin and A.S. Zheltukhin, Velikiye Luki City Press, Velikiye Luki, pp. 19–26.
- Китаев Л.М., Трофимова Л.Б., Комаровская Е.В., Данилович И.С., Бильдюк А.А.** Многолетняя изменчивость осадков и формирование снежного покрова Восточно-Европейской равнины // Криосфера Земли, 2010, т. XIV, № 3, с. 77–81.
Kitaev, L.M., Trofimova, L.B., Komarovskaya, E.V., Danilovich, I.S., Bil'dyuk, A.A., 2010. Long-term variability of precipitation and snow cover formation of the East European plain. Earth's Cryosphere XIV (3), 77–81.
- Копанев И.Д.** Снежный покров на территории СССР. Л., Гидрометеиздат, 1978, 181 с.
Koranev, I.D., 1978. Snow Cover in the Territory of the USSR. Gidrometeoizdat, Leningrad, 181 pp. (in Russian)
- Котляков В.М.** Снежный покров и ледники Земли. М., Наука, 2004, 448 с.
Kotlyakov, V.M., 2004. The Earth's Snow Cover and Glaciers. Nauka, Moscow, 448 pp. (in Russian)
- Кренке А.Н., Китаев Л.М., Титкова Т.Б.** Оценка изменений снеготолщин на территории Северной Евразии в начале XXI в. (на основе модельных прогнозов зимних температур и осадков) // Материалы гляциол. исслед., 2009, вып. 107, с. 31–37.
Krenke, A.N., Kitaev, L.M., Titkova, T.B., 2009. Evaluation of changes in the snow accumulation in the territory of Northern Eurasia at the beginning of the 21st century. Materialy Glyatsiologicheskikh Issled., Moscow, issue 107, 31–37.
- Кренке А.Н., Разуваев В.Н., Китаев Л.М., Мартуганов Р.А., Шакирзянов Р.И.** Снежность на территории СНГ и его регионов в условиях глобального потепления // Криосфера Земли, 2000, т. IV, № 4, с. 97–106.
Krenke, A.N., Razuvaev, V.N., Kitaev, L.M., Martuganov, R.A., Shakirzjanov, R.I., 2000. Snowyness over FSU and its regions territory during the global warming. Earth's Cryosphere IV (4), 97–106.
- Лукаевич И.Я.** Анализ финансовых операций. М., ЮНИТИ, 1998, 400 с.
Lukasevich, I.Ya., 1998. Analysis of Financial Transactions. UNITI, Moscow, 400 pp. (in Russian)
- Наставление** гидрометеорологическим станциям и постам. Вып. 3, ч. 1. Л., Гидрометеиздат, 1985, 299 с.
Instructions for Hydrometeorological Stations and Points, 1985, issue 3, part 1. Gidrometeoizdat, Leningrad, 299 pp. (in Russian)
- Попова В.В.** Современные изменения температуры приземного воздуха на севере Евразии: региональные тенденции и роль атмосферной циркуляции // Изв. РАН. Сер. геогр., 2009, № 6, с. 59–69.
Popova, V.V., 2009. Current changes in the air temperature in Northern Eurasia: regional trends and the role of atmospheric circulation. Bulletin of the Russian Academy of Sciences, geography series, No. 6, 59–69.

Попова В.В., Морозова П.А., Титкова Т.Б., Черенкова Е.А., Китаев Л.М. Региональные особенности современной изменчивости снегонакопления в Северной Евразии по данным наблюдений, реанализа и спутников // *Лед и снег*, 2015, т. 55, № 4, с. 73–86.

Popova, V.V., Morozova, P.A., Titkova, T.B., Cherenkova, E.A., Kitaev, L.M., 2015. Regional features of present winter snow accumulation variability in the North Eurasia from data of observations, reanalysis and satellites. *Led i Sneg* 55 (4), 73–86.

Попова В.В., Полякова И.А. Изменения сроков разрушения устойчивого снежного покрова на севере Евразии в 1936–2008 гг.: влияние глобального потепления и роль крупномасштабной атмосферной циркуляции // *Лед и снег*, 2013, т. 53, № 2, с. 29–39.

Popova, V.V., Polyakova, I.A., 2013. Change of stable snow cover destruction dates in Northern Eurasia, 1936–2008: impact of global warming and the role of large-scale atmospheric circulation. *Led i Sneg* 53 (2), 29–39.

Рубинштейн К.Г., Громов С.С., Золоева М.В. Динамическая классификация снежного покрова // *Вычислит. технологии*, 2006, т. 11, № 57, с. 31–37.

Rubinshtein, K.G., Gromov, S.S., Zoloeva, M.V., 2006. Dynamic classification of the snow cover. *Vychislitelnye Tekhnologii* 11 (57), 31–37.

Трофимова Е.Б. Отражающая способность снежного покрова // *Университетский комплекс как региональный центр образования, науки и культуры: сб.* Оренбург, Оренбург. гос. ун-т, 2014, с. 1498–1500.

Trofimova, E.B., 2014. Reflectance of snow cover. In collected works a University as a regional center of Education, Science, and Culture. Orenburg State University, Orenburg, pp. 1498–1500. (in Russian)

Brown, R.D., Mote, P.W. The response of Northern Hemisphere snow cover to a changing climate // *J. Climate*, 2009, vol. 22, No. 8, p. 2124–2145.

Bulygina, O., Groisman, P., Razuvaev, V., Korshunova, N. Changes in snow cover over Northern Eurasia since 1966 // *Environ. Res. Lett.*, 2011, No. 6, p. 2045–2051.

Kitaev, L., Krenke, A., Konstantinov, I., Kislov, A., Razuvaev, V., Martuganov, R. The snow cover characteristics of Northern Eurasia and their relationship to climatic parameters // *Boreal Environ. Res.*, 2002, vol. 7, No. 4, p. 437–445.

Van den Dool, H.M., Saha, S., Johansson, A. Empirical Orthogonal Teleconnections // *J. Climate*, 2000, No. 13, p. 1421–1435.

URL: <http://www/meteo.ru> (текущий контент – 2017 г., дата обращения: 25.10.2017).

*Поступила в редакцию
6 марта 2016 г.*