

Л. П. ГОЛОБОКОВА, И. В. ЛАТЫШЕВА, А. С. ИВАНОВА, В. И. МОРДВИНОВ,
В. Л. ПОТЕМКИН, Т. В. ХОДЖЕР

МЕЗОКЛИМАТИЧЕСКИЕ И АЭРОСИНОПТИЧЕСКИЕ УСЛОВИЯ ФОРМИРОВАНИЯ ИОННОГО СОСТАВА АТМОСФЕРНОГО АЭРОЗОЛЯ В ВЫСОКОГОРНЫХ РАЙОНАХ ВОСТОЧНОГО САЯНА

Высокогорные районы Восточного Саяна находятся на стыке влияния северных и южных синоптических процессов. На основе натурных наблюдений показано, что состав и уровень концентраций ионов в аэрозоле этого региона существенно зависит от микро- и мезоклиматических особенностей территории и характера синоптических процессов на их фоне. Концентрации ионов щелочных и щелочноземельных металлов возрастают при поступлении терригенного материала со степных районов Монголии. Повышенное содержание ионов SO_4^{2-} и NO_3^- связано с крупномасштабным переносом воздушных масс при развитии мезомасштабных процессов над промышленными районами Сибири.

The high-mountain areas of the eastern Sayans lie at the junction of influence of the northern and southern synoptic processes. Based on field observations, it is shown that the ionic composition and concentration level in aerosols over this region depends substantially on the micro- and mesoclimatic properties of the territory, and on the character of synoptic processes at their background. Ionic concentration of alkali and alkali-earth metals increases with the arrival of terrigenous material from the steppe areas of Mongolia. The increase in the content of SO_4^{2-} and NO_3^- ions is associated with the large-scale transport of air masses due to the development of mesoscale processes over industrial areas of Siberia.

Успешное решение проблем охраны окружающей среды в значительной степени зависит от знания физических параметров атмосферы и закономерностей их пространственной и временной изменчивости, которые во многом определяются направлением переноса воздушных масс и местными особенностями рельефа. В настоящее время большое внимание уделяется количественному моделированию выбросов локальных промышленных источников, но менее изучен фоновый состав примесей, особенно в районах со сложной орографией.

Цель данной работы — изучение метеорологических и синоптических условий формирования концентраций атмосферного аэрозоля, превышающих среднегодовые значения, на фоновой станции Монды, расположенной на территории Саянской астрофизической обсерватории Института солнечно-земной физики СО РАН. Высота станции — 2005 м над ур. моря, она находится в 6 км южнее пос. Монды, высота которого 1310 м [1, 2].

В горных районах Восточного Саяна сформировался особый тип климата, называемый горным, где уменьшение с высотой влагосодержания и плотности воздуха существенно сказывается на распределении метеорологических характеристик [3–6]. Горные области заметно влияют и на поле ветра в пограничном слое тропосферы, возмущая его поток и способствуя развитию местной циркуляции. Средняя скорость ветра на ст. Монды благодаря более интенсивной турбулентности выше, чем в долине (пос. Монды), и наибольших различий (2–3 м/с) достигает в холодный период года при ослабленной горно-долинной циркуляции.

В последние годы в поселке наблюдается усиление ветра, средняя годовая скорость которого возросла на 0,4 м/с по сравнению со второй половиной 1960-х гг. (рис. 1). В сезонном отношении наибольшие вариации приходятся на период усиления и разрушения Азиатского максимума. С февраля по апрель средняя скорость ветра здесь возросла почти вдвое, а в ноябре–декабре умень-

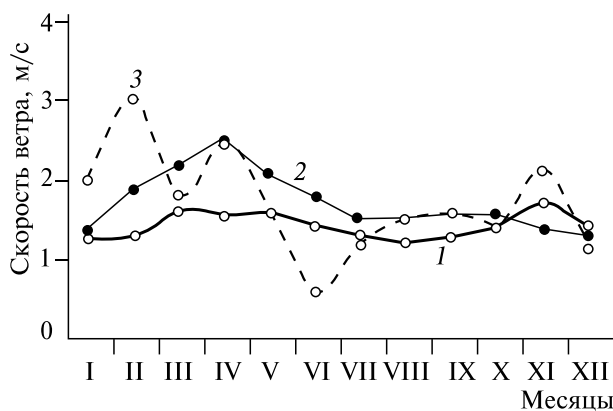


Рис. 1. Годовой ход средней скорости ветра в пос. Монды в 1966–1968 гг. (1), в 2000–2002 гг. (2) и разность средней месячной скорости ветра на ст. Монды и в пос. Монды в 1966–1968 гг. (3).

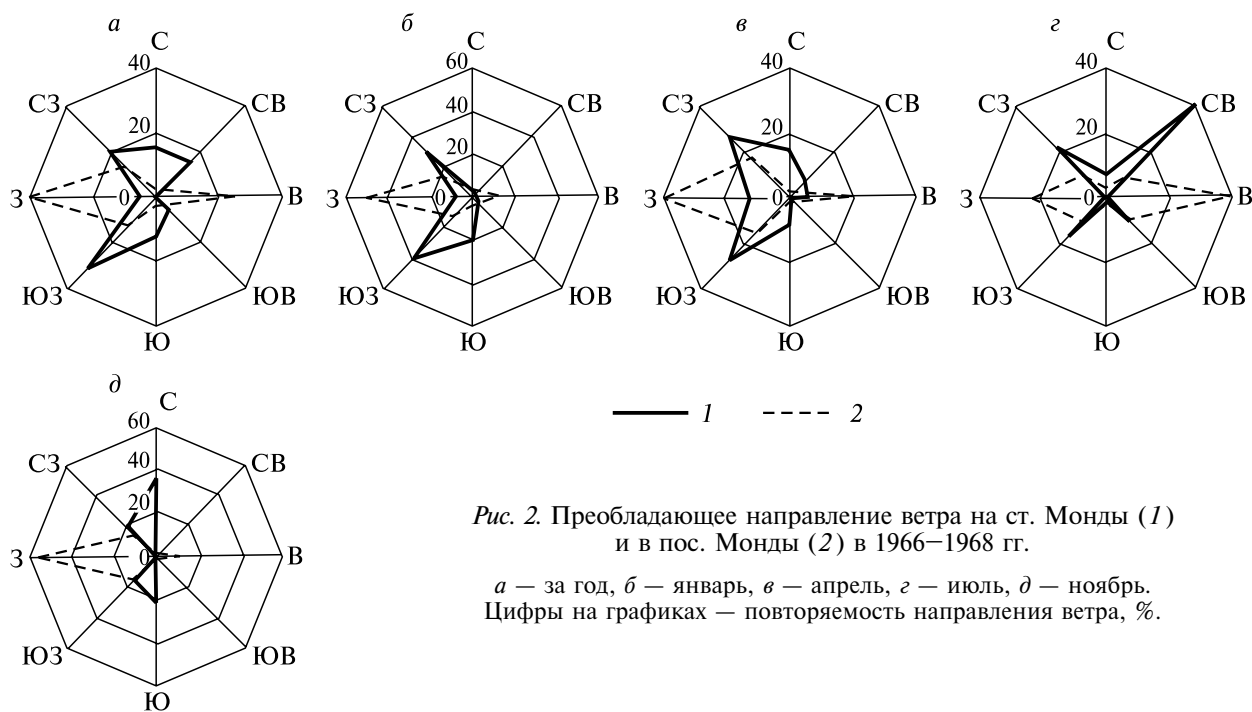


Рис. 2. Преобладающее направление ветра на ст. Монды (1) и в пос. Монды (2) в 1966–1968 гг.

a — за год, *б* — январь, *в* — апрель, *г* — июль, *д* — ноябрь. Цифры на графиках — повторяемость направления ветра, %.

шилась на 10–14 % [7], что, возможно, вызвано изменением динамики зимнего континентального центра действия атмосферы и связанных с ним циркуляционных процессов на материке.

В долговременных вариациях интенсивности Азиатского максимума с начала 1970-х гг. обнаружено некоторое повышение атмосферного давления в осенний период и понижение его зимой. Одной из возможных причин этих климатических изменений может служить увеличение меридионального градиента температуры между высокими и низкими широтами при возросших проявлениях эффектов Эль-Ниньо, неплохо коррелирующих в модельных экспериментах с развитием субтропической зоны повышенного давления [8]. Возможно, усиление зоны повышенного давления с юга при возросших меридиональных градиентах температур приводит к возрастанию скорости зонального переноса, усилению скорости ветра и более частым выносам теплых масс на материк, ослабляющих зимний антициклогенез над Азией.

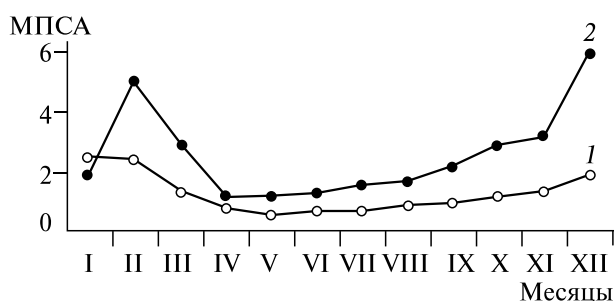
Несмотря на близкое расположение станций, характер ветровых потоков на них в условиях неоднородного рельефа Восточного Саяна существенно различается. Так, в пос. Монды в течение года господствуют зональные ветры (62 %), направленные по долине, а на высокогорье (ст. Монды), где ветер близок к геострофическому, преобладают меридиональные юго-западные (30 %) и северо-западные (20 %) ветры средней тропосферы (рис. 2, *a*) [9].

На высоте трех-пяти километров ветер более подвержен влиянию макромасштабных процессов, и его сезонная изменчивость выше. При господстве Азиатского максимума здесь резко возрастает повторяемость южного ветра (см. рис. 2, *б*). В переходные сезоны при перестройке барического поля увеличивается повторяемость северного ветра (см. рис. 2, *в, д*), а в теплый период при развитии его высотного гребня с юга — северо-восточного (*г*). В последние годы в пос. Монды возросла повторяемость юго-западных и юго-восточных ветров, что, возможно, связано с изменением циркуляционного режима юга Сибири [10].

Влияние климатических условий на состояние воздушного бассейна региона выражается через метеорологический потенциал самоочищения атмосферы (МПСА), определяемый по соотношению факторов, способствующих накоплению примесей (сумма повторяемостей штилей и туманов) и их рассеиванию (сумма повторяемостей сильного ветра и осадков $\geq 0,5$ мм) [11]. Этот показатель рассчитан для пос. Монды и высокогорной ст. Ильчир, по климатическим условиям сходной со ст. Монды, но где отсутствуют наблюдения за метеорологическими явлениями, необходимыми для расчета МПСА (рис. 3) [12, 13].

По среднегодовым величинам МПСА_{ср} на высокогорье одинаково вероятны условия накопления и рассеивания атмосферных примесей (МПСА_{ср} = 1,3), а в долине факторы накопления примесей заметно превалируют над условиями их рассеивания в атмосфере (МПСА_{ср} = 2,6). Наиболее благоприятна обстановка зимой (особенно в долине) при длительном стационарировании антициклона, сопровождающемся высокой повторяемостью штилей, инверсий при незначительном количестве

Рис. 3. Метеорологический потенциал самоочищения атмосферы на ст. Ильчир (1) и в пос. Монды (2) в 1966–1968 гг.



осадков. При наблюдающейся тенденции усиления ветра и увеличения количества осадков можно ожидать некоторое снижение уровня загрязнения в атмосфере высокогорных районов Восточного Саяна.

Для успешного решения экологических проблем региона, связанных с загрязнением воздушной среды, необходимо установить источники загрязнения и степень их влияния на регион. Это влияние можно оценить путем учета аэросиноптических процессов при повышенных концентрациях атмосферного аэрозоля в районах исследования, пространственная и временная изменчивость которых во многом определяется направлением переноса воздушных масс и местными особенностями рельефа. Синоптические процессы у поверхности Земли и в средней тропосфере над высокогорными районами Восточного Саяна с помощью синоптических карт, составляемых по данным американского климатического центра Reanalysis, выявлены за период 1994–2003 гг. Полученные результаты отражают современные аэросиноптические условия юга Восточной Сибири.

В холодный период на высоте ведущего потока (3 км) территория Восточного Саяна длительное время находилась под влиянием передней части высотного гребня (50,1 %), его оси (18,1 %) и тыловой части высотной ложбины (12,3 %). Это способствовало динамическому росту приземного давления и антициклогенезу, господствующему у Земли (54,1 %). Усиление Азиатского антициклона наблюдалось в 31 % случаев, особенно при развитии гребня на северо-восток и его объединении с Лено-Колымским ядром высокого давления (5,4 %), а ослабление чаще всего вызывали циклоны с северо-запада (14 %) и севера (4,2 %) [14].

В летние месяцы на высоте ведущего потока в большинстве случаев (52,1 %) над югом Восточной Сибири наблюдались осевая (13,1 %), тыловая (12,4 %) и передняя (6,6 %) части высотного гребня или осевая (13,6 %) и передняя часть (6,4 %) высотной ложбины, конвергенция потоков в которых способствовала длительному сохранению у Земли малоградиентного поля пониженного давления (48,7 %). Циклогенез усиливался преимущественно при выходе «ныряющих» (14,1 %) и «южных» (14,3 %) циклонов, которые в 19,5 % случаев были высокими барическими образованиями. Летний антициклогенез наблюдался при смещении антициклонов по ультраполярной (5,9 %) и зональной (1,4 %) траекториям.

Как показал анализ ведущего потока (3–5 км), господствующего в высокогорных районах Восточного Саяна, в исследуемый период преобладали ветры западной четверти. Зимой часто наблюдались северо-западные потоки (34,1 %), обусловленные тыловой частью Дальневосточной тропосферной макроложбины и в основном (21 % случаев) приходившиеся на западные и юго-западные ветры, возникающие при ослаблении макроложбины, усилении зональных потоков или при смещении с запада высотного гребня. Летом при усилении зонального переноса господствующими были западные ветры (32,2 %), в 29 % случаев меридиональные — северо- и юго-западные. Зимой повторяемость ветров восточной четверти несколько увеличивается по сравнению с летним периодом.

Для определения вклада крупно- и мезомасштабных процессов в динамику аэрозольного загрязнения различных районов юга Восточной Сибири рассчитана повторяемость синоптических процессов в периоды, когда концентрация водорастворимых компонентов аэрозоля превышала средние многолетние значения. Влияние синоптических условий на формирование повышенных концентраций химических компонентов в составе аэрозоля характеризовало отношение повторяемости синоптических процессов для периодов с учетом концентраций водорастворимых компонентов аэрозоля к их средней повторяемости, полученной ранее.

Подобный анализ для фоновых станций мониторинга позволяет исключить влияние локальных источников загрязнения атмосферы. В результате установлено, что для ст. Монды содержание в холодный период года в аэрозоле ионов Na^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} , Cl^- и HCO_3^- с концентрациями выше среднего многолетнего значения отмечено при господствующем антициклогенезе (табл. 1). Преобладающее направление ветра в такие периоды — юго-восточное по южной периферии Азиатского максимума (табл. 2). Источниками повышенных концентраций ионов в аэрозоле при этом направлении ветра могут служить степные и пустынные ландшафты Монголии. Высокое содержание ионов HCO_3^- зимой наблюдается в условиях длительного стационарирования центра Азиатского максимума к западу и юго-западу от пос. Монды. Концентрации ионов NO_3^- повышены при восточном и южном направлениях ветра, приносящего терригенные частицы с территории северной части Монголии.

Таблица 1

Отношение повторяемости синоптических процессов для периодов с повышенными концентрациями химических параметров в аэрозоле к средней их повторяемости на ст. Монды в зимний период

Ионы	Циклон				Суммарная повторяемость концентраций, %	Антициклон				Суммарная повторяемость концентраций, %
	С	СВ	СЗ	ложбина		ЮЗ	стационарирование	гребень на СВ	барическое размытое поле	
Na ⁺	0,2	0,1	3,1	—	3,4	6,3	0,8	3,6	0,3	11,0
K ⁺	5,4	4,2	0,7	1,0	11,3	1,4	1,1	1,3	—	3,7
Ca ²⁺	0,3	—	2,8	—	3,1	0,5	0,8	4,0	4,5	9,8
Mg ²⁺	—	0,1	2,0	—	2,1	3,1	1,1	3,2	2,7	10,1
Cl ⁻	—	—	0,1	2,4	2,5	—	1,1	2,8	—	3,9
HCO ₃ ⁻	—	0,7	1,0	0,5	2,2	3,0	1,5	1,0	—	5,5
NO ₃ ⁻	—	—	3,0	—	3,0	—	1,2	2,4	—	3,6
NH ₄ ⁺	6,1	—	1,0	—	7,1	0,2	1,3	0,7	1,0	3,2
SO ₄ ²⁻	2,2	4,0	1,0	1,4	7,2	1,4	0,7	1,2	3,2	6,5

Таблица 2

Отношение повторяемости направлений ведущего потока для периодов с повышенными концентрациями химических элементов в аэрозоле к средней повторяемости синоптических процессов на ст. Монды в зимний период

Румб	Mg ²⁺	Cl ⁻	K ⁺	Na ⁺	HCO ₃ ⁻	Ca ²⁺	NH ₄ ⁺	NO ₃ ⁻	SO ₄ ²⁻
С	—	0,2	—	—	—	—	—	—	—
СВ	0,3	—	0,8	—	1,1	—	1,2	—	1,0
В	—	—	—	0,1	—	—	—	5,1	—
ЮВ	4,5	2,6	2,1	2,3	1,2	1,3	—	—	1,0
Ю	—	—	—	—	—	—	1,3	4,0	—
ЮЗ	—	1,4	1,3	—	1,3	1,0	1,0	0,6	0,7
З	16,0	1,8	1,4	1,6	0,8	1,0	1,0	—	1,3
СЗ	1,4	1,3	1,0	1,5	1,4	1,6	2,1	2,2	1,5

Таблица 3

Отношение повторяемости синоптических процессов для периодов с повышенной концентрацией химических параметров в аэрозоле к их средней общей повторяемости на ст. Монды в летний период

Ионы	Циклон				Ложбина	Антициклон				Размытое поле
	Ю	ЮЗ	З	СЗ		С	СЗ	З	антициклогенез	
Na ⁺	2,3	—	2,3	1,6	—	—	—	—	—	0,9
K ⁺	2,1	—	—	1,7	—	—	3,1	—	—	0,8
Ca ²⁺	3,3	0,1	—	2,9	—	—	—	—	—	0,7
Mg ²⁺	2,3	3,5	—	0,5	1,6	—	—	—	—	1,2
Cl ⁻	1,6	—	—	0,7	—	—	—	8,1	0,1	1,2
HCO ₃ ⁻	0,4	2,7	—	2,0	1,2	—	—	—	—	1,1
NO ₃ ⁻	1,5	—	—	1,4	—	2,1	—	—	—	1,1
NH ₄ ⁺	2,1	—	0,1	1,4	—	—	—	—	0,4	1,0
SO ₄ ²⁻	—	4,4	—	1,3	—	—	4,2	—	—	1,0

Отношение повторяемости направления ведущего потока в периоды с повышенными концентрациями химических параметров в аэрозоле к средней повторяемости синоптических процессов на ст. Монды в летний период

Румб	Mg ²⁺	Cl ⁻	K ⁺	Na ⁺	HCO ₃ ⁻	Ca ²⁺	NH ₄ ⁺	NO ₃ ⁻	SO ₄ ²⁻
С	—	—	0,2	—	—	—	—	0,6	0,8
СВ	4,1	6,8	3,1	—	—	—	—	0,5	—
В	0,3	—	—	—	—	—	—	—	—
ЮВ	7,2	—	—	—	0,3	—	—	—	0,6
Ю	1,8	3,8	2,4	3,8	0,3	4,2	3,1	0,3	0,8
ЮЗ	—	—	1,7	1,3	0,6	0,7	1,0	1,0	0,9
З	1,2	1,1	0,6	0,3	1,6	0,5	1,0	1,3	1,3
СЗ	0,8	1,2	0,6	0,7	1,8	2,0	1,0	1,2	1,3

Ослабление зимнего антициклогенеза при выходе циклонов по полярным и ультраполярным траекториям сопровождается ростом в аэрозоле концентраций ионов NO₃⁻, SO₄²⁻, NH₄⁺, K⁺ и небольшим увеличением содержания Na⁺, Mg²⁺ и Ca²⁺. Возрастание при циклогенезе концентраций ионов NO₃⁻, SO₄²⁻ и NH₄⁺ обусловлено окислением во влажном воздухе циклонов азот- и серосодержащих веществ, поступающих с северо-западными потоками от населенных пунктов Тункинской долины и промышленных районов юга Красноярского края.

Летом при господствующем малоградиентном поле пониженного давления повышенная концентрация растворенных в аэрозоле веществ чаще всего связана с подвижными барическими образованиями, перемещающимися над высокогорными районами Восточного Саяна. Концентрация ионов Mg²⁺, Ca²⁺, Na⁺, K⁺, NH₄⁺, Cl⁻, NO₃⁻ и HCO₃⁻ возрастает при прохождении циклонов — южных, источником которых служит почвенный покров, и «ныряющих» северо-западных, где преобладают выбросы автотранспорта и промышленного производства (табл. 3).

При циклональных процессах, сопровождающихся повышенной концентрацией ионов в аэрозоле, преобладают ветры южной четверти с территории Монголии и зональные и северо-западные, приходящие из гольцовых зон Центрального Саяна. При выходе широтных антициклонов в аэрозоле возрастает количество ионов Cl⁻, а по полярным и ультраполярным трассам — ионов NO₃⁻, K⁺ и SO₄²⁻. Однако преобладающее направление ветра с существенной концентрацией ионов Cl⁻ — северо-восточное. Этот поток приносит из южных районов Восточной Сибири также аэрозоль с повышенным содержанием ионов Mg²⁺ и K⁺ (табл. 4). Из промышленных районов Красноярского края с северо-западными и западными ветрами переносятся примеси с ионами NO₃⁻ и SO₄²⁻.

Таким образом, состав и уровень концентраций ионов в аэрозоле высокогорных районов Восточного Саяна существенно зависит от микро- и мезоклиматических особенностей территории и характера синоптических процессов на их фоне. Концентрации ионов щелочных и щелочноземельных металлов в аэрозоле возрастают при их поступлении с южными и юго-восточными потоками из степных районов Монголии: летом — с южными циклонами, зимой — при господствующем антициклогенезе. Повышенное содержание ионов SO₄²⁻ и NO₃⁻ связано с крупномасштабным переносом воздушных масс, когда поступающие на территорию Саян частицы аэрозоля обогащаются над промышленными районами Сибири оксидами азота и серы. Прохождение циклонов, как правило, сопровождается выпадением осадков и влечет за собой увеличение относительной влажности воздушных масс в высокогорных районах Восточного Саяна, что благоприятствует трансформации оксидов серы и азота в ионы SO₄²⁻ и NO₃⁻.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ходжер Т. В., Голобокова Л. П., Оболкин В. А. и др. Межсуточная и сезонная изменчивость ионного состава атмосферных аэрозолей на юге Восточной Сибири // Оптика атмосферы и океана. — 1997. — Т. 10, № 6.
2. Ходжер Т. В., Потемкин В. Л., Голобокова Л. П. и др. Станция Монды как фоновая станция для изучения переноса загрязняющих веществ в нижней атмосфере Прибайкалья // Оптика атмосферы и океана. — 1998. — Вып. 11, № 6.
3. Мартынов В. П. Почвы горного Прибайкалья. — Улан-Удэ: Бурят. кн. изд-во, 1965.
4. Нечаева Е. Г. Ландшафтно-геохимическое районирование Азиатской России // География и природ. ресурсы. — 2001. — № 1.

5. Буфал В. В., Филиппов А. Х., Батдэлгэр Д. и др. Климат. Воды // Атлас озера Хубсугул. Монгольская Народная Республика. — Иркутск, 1989.
6. Седельникова Н. В. Лишайники Западного и Восточного Саяна. — Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2001.
7. Абросова Н. А., Гольдапель М. А., Дарчия Ш. П. Астроклиматические и метеорологические характеристики Саянской солнечной обсерватории. — Иркутск, 1967. — Ч. 1.
8. Борисенков Е. П. Основные тенденции естественных и антропогенных изменений климата // Физические основы современного изменения климата. — М.: Наука, 1981.
9. Семенченко Б. А. Физическая метеорология. — М.: Аспект-Пресс, 2002.
10. Виноградова Г. М., Завалишин Н. Н., Кузин В. И. Внутривековые изменения климата Восточной Сибири // Оптика атмосферы и океана. — 2002. — Вып. 15, № 5–6.
11. Селегей Т. С., Юрченко И. П. Потенциал рассеивающей способности атмосферы // География и природ. ресурсы. — 1990. — № 2.
12. Справочник по климату СССР. — Л.: Гидрометеиздат, 1968. — Вып. 22, ч. 4.
13. Справочник по климату СССР. — Л.: Гидрометеиздат, 1968. — Вып. 23, ч. 3.
14. Сергеев Н. И. Синоптические сезоны и сезонные аномалии температуры воздуха холодного полугодия в Восточной Сибири // Сборник работ по синоптике. — М.: Гидрометеиздат, 1959. — № 3.

*Лимнологический институт СО РАН,
Институт солнечно-земной физики СО РАН, Иркутск
Иркутский государственный университет*

*Поступила в редакцию
3 мая 2005 г.*

УДК 598.2/9(571.53)

В. В. ХИДЕКЕЛЬ, Т. П. КАЛИХМАН

СТРУКТУРА ОРНИТОФАУНЫ ПРИГОРОДНЫХ ТЕРРИТОРИЙ АНГАРСКА И ИРКУТСКА

Впервые дано описание авиафауны окрестностей Ангарска по известным методикам — маршрутным учетам, распределению видов по типам фаун и по ареалогической структуре. Проведен анализ по систематической принадлежности, относительной встречаемости, видовому составу, коэффициенту общности и местам пребывания отдельных видов птиц. В результате выделены три участка по степени рекреационной нагрузки, установлены определенные закономерности сходства и различия населения птиц на данных участках.

For the first time, we give the description of the avifauna for the surroundings of Angarsk using the commonly used techniques: route inventories, and species distribution according to the types of faunas and to arealogical structure. An analysis is made of the systematic belonging, relative occurrence frequency, species composition, commonality coefficients, and habitats of separate bird species. As a result, three areas were identified according to the degree of recreational load; some similarity and difference patterns were established for the bird population in the study areas.

Воздействие антропогенных факторов на природные комплексы приводит к изменению структуры биогеоценозов, в том числе и населения птиц, проявляющих разную степень экологической пластичности. В условиях антропогенного пресса возникла необходимость изучения качественного состава населения птиц и особенностей их размещения. Проводимые исследования выявили характер адаптаций птиц к современным экологическим условиям, а также уровень разнообразия экологических ниш и степень их насыщения [1].

Города и пригородные территории все чаще становятся предметом изучения влияния урбанизированной среды на условия обитания пернатых. Расширяя границы хозяйственного и бытового использования пригородных земель, такие города, как Иркутск, Ангарск, Шелехов и Усолье-Сибирское, образуют промышленно-хозяйственную агломерацию, воздействующую на обширное пространство между Байкалом и Братским водохранилищем, где пока сохраняются естественные местообитания птиц. При дальнейшем освоении таких территорий необходимо выявлять участки с высокими концентрациями малоизученных и редких для Прибайкалья видов птиц с целью сохранения, придавая этим участкам статус особо охраняемых природных территорий, что требует обоснования охранных мероприятий и предваряющего сбора информации по ключевым факторам, негативно влияющим на птичье население.

© 2006 Хидекель В. В., Калихман Т. П.