

И.В. Латышева<sup>1</sup>, В.Л. Макухин<sup>2</sup>, В.Л. Потемкин<sup>2</sup>

## Исследование характеристик Азиатского максимума и его влияния на загрязнение атмосферы в регионе оз. Байкал

<sup>1</sup> Иркутский государственный университет

<sup>2</sup> Лимнологический институт СО РАН, г. Иркутск

Поступила в редакцию 26.01.2005 г.

Оценены количественные характеристики осаждения взвешенных веществ, соединений серы и азота на акваторию Южного Байкала при различных условиях развития Азиатского антициклона.

Основным барическим образованием, определяющим климатические условия юга Сибири в холодный период года (сентябрь—апрель), является Азиатский антициклон, развивающийся при сложном сочетании термических, циркуляционных факторов, усиленных влиянием орографии.

В настоящее время подробно изучена пространственная структура данного образования, уточнены статистические характеристики и найдена взаимосвязь погодных факторов в различных районах Евразии с динамикой антициклона [1, 2]. Отметим, что динамика антициклона тесно связана с влиянием высотного Тибетского антициклона, т.е. с южными широтами [3].

Цель данной работы заключалась в исследовании синоптических условий формирования и развития Азиатского максимума, а также в оценке влияния его интенсивности на экологическое состояние воздушного бассейна южной акватории оз. Байкал по данным Иркутского территориального управления по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды и результатам численного моделирования.

Анализ приземных синоптических карт за 2000–2003 гг. показал, что подвижные антициклоны, определяющие Азиатский антициклон, наблюдаются в пределах 30–79° с.ш. и 30–143° в.д. В большинстве случаев ( $\geq 54\%$ ) координаты центра отмечались в Монголии (50° с.ш., 99° в.д.).

Образование Азиатского антициклона чаще всего было вызвано прохождением западных (29%) и юго-западных (19%) антициклонов, а также местным антициклоногенезом (14%) в условиях конвергенции холодного арктического воздуха в тыловой части высотной ложбины, ориентированной с Якутии или районов Хатанги ( $\geq 55\%$ ). В динамику зимнего антициклоногенеза существенный вклад вносит конвергенция субтропического воздуха в передней части высотного гребня, ориентированного с районов Монголии (37%).

В долговременных вариациях интенсивности Азиатского максимума с 1970-х гг. по настоящее время обнаружены повышение атмосферного давления в осенний период и некоторое понижение в зимний

период на фоне увеличения геопотенциальных высот и незначительного роста температур в слое 500–1000 гПа (рис. 1).

Одной из возможных причин наблюдаемых климатических изменений в области Азиатского максимума может служить увеличение меридионального градиента температуры между низкими и высокими широтами при возросших проявлениях эффектов Эль-Ниньо, которые в модельных экспериментах неплохо коррелируют с усилением субтропических струйных течений [4]. Развитие субтропической зоны повышенного давления приводит к возрастанию скорости зонального переноса и более частым выносам теплых масс на материк, ослабляющих зимний антициклоногенез над Азией.

Наряду с трендовой составляющей в межгодовых вариациях приземного давления зимой отчетливо видны квазидесятилетние и квазидвадцатилетние колебания, свойственные интенсивности океанических центров действия атмосферы Северного полушария. Наложение трендовой составляющей, обусловленной южными процессами, и менее длительных вариаций, связанных с северными широтами, определяет значительную пространственно-временную неоднородность поля давления в области Азиатского максимума, особенно в районах, находящихся на стыке влияния высотных ложбин с севера и высотных гребней с юга, к числу которых относятся Предбайкалье.

На фоне наблюдаемых климатических изменений в Предбайкалье зимой в последние 15–17 лет происходит уменьшение значений концентраций загрязняющих веществ, за исключением окислов азота, увеличение которых в последние годы возможно связано с возросшим потоком автотранспорта (рис. 2).

Для исследования влияния интенсивности Азиатского максимума на экологическое состояние воздушного бассейна южной акватории оз. Байкал рассмотрены синоптические ситуации при хорошо выраженном Азиатском антициклоне (на примере аномально холодной зимы 2001 г.) и ослабленном Азиатском антициклоне (на примере аномально теплой зимы 2002 г.).

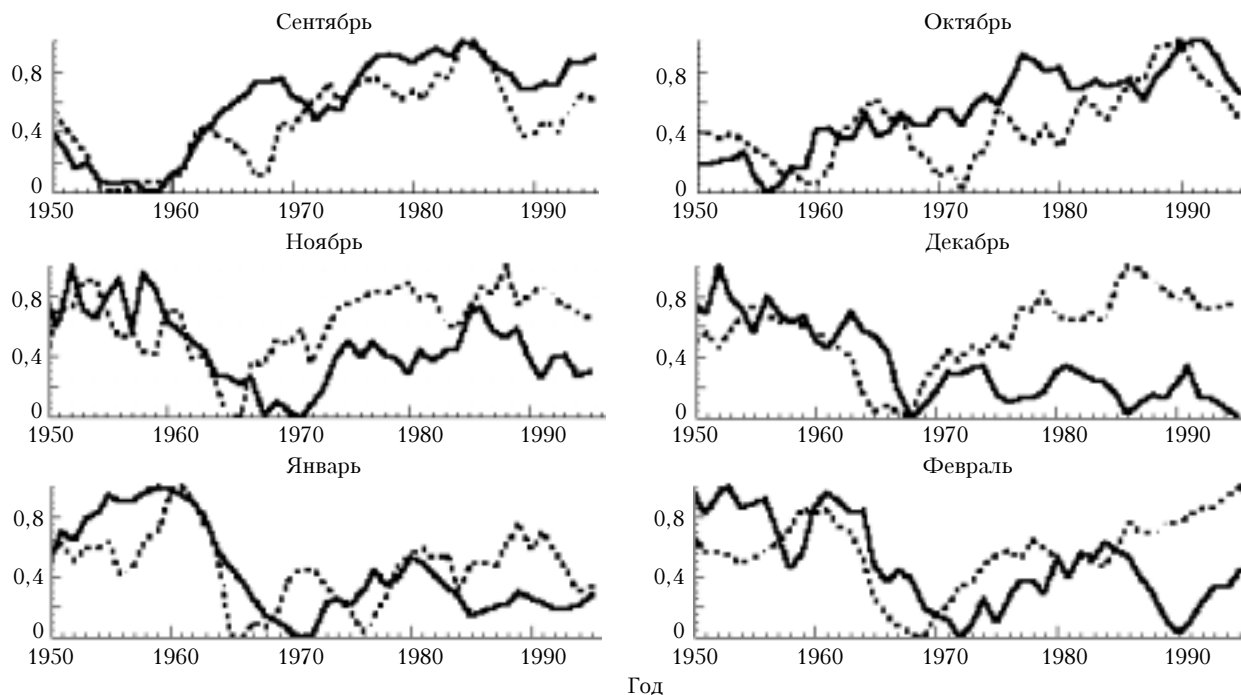


Рис. 1. 5-летние сглаженные кривые среднемесячных величин приземного давления (сплошная линия) и высоты  $H_{500}$  (пунктирная линия), нормированных на максимальные значения, в районе Улан-Батора

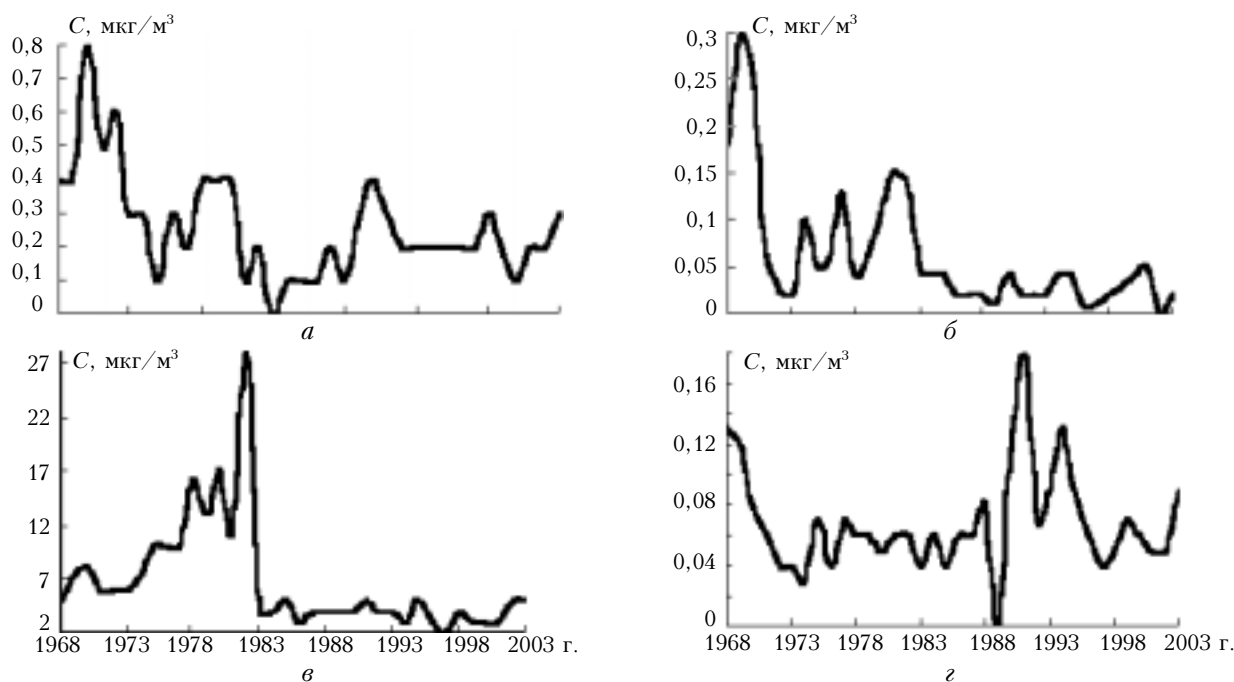


Рис. 2. Многолетний ход среднемесячных концентраций взвешенных веществ (*a*), диоксида серы (*б*), оксида углерода (*в*) и диоксида азота (*г*) в Иркутске в январе

Типизация синоптических процессов над Азией показала, что в anomalно холодную зиму 2001 г. оси высотных ложбин, определяющих интенсивность затоков холода с севера, в большинстве случаев ( $\geq 60\%$ ) проходили вблизи меридиана  $110^\circ$  в.д. В anomalно теплую зиму 2002 г. они чаще всего были смещены к востоку ( $120\text{--}130^\circ$  в.д.), а территория Восточной Сибири и Монголии оказывалась под меньшим влиянием арктического воздуха.

В выбранные периоды первой группы процессов (12–14.01.2001 г. и 15–17.12.2001 г.) господствовали штилевые условия погоды, а температура воздуха понижалась до  $-37,5^\circ\text{C}$ . Во второй группе процессов (9–11 и 24–26.02.2002 г.) преобладали юго-восточные ветры со скоростью 2–6 м/с, а температура воздуха в отдельные дни достигала положительных значений.

Исследование уровня загрязнения воздуха в промышленных центрах Иркутской области при ука-

занных выше процессах показало, что средние концентрации взвешенных веществ и окислов серы оказались выше при развитом антициклоне (соответственно в 1,5 и 4 раза), а средние концентрации оксида углерода и окислов азота — при ослабленном антициклоне (примерно в 1,5 раза) (рис. 3). Увеличение содержания взвешенных веществ и соединений серы при низких температурах обусловлено возросшим сжиганием топлива предприятиями теплоэнергетики, а повышение содержания оксида углерода и азотных соединений в условиях теплой зимы — увеличением вклада автотранспорта.

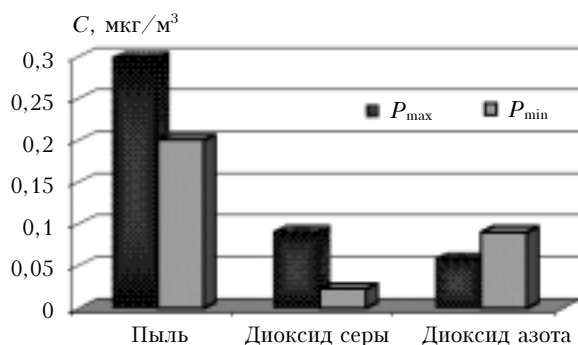


Рис. 3. Средние концентрации загрязняющих веществ в Иркутске для периодов максимального развития и ослабления Азиатского антициклона в 2001–2002 гг.

Учитывая, что синоптические условия существенно влияют на процессы адвективного и конвективного переноса, диффузии и трансформации загрязняющих веществ в атмосфере [5–7], для оценки количественных характеристик этого влияния проведено математическое моделирование процессов распространения твердых взвесей, соединений серы и азота в регионе оз. Байкал с помощью нелинейной нестационарной пространственной эйлеровой модели [8]. Источниками выбросов являлись предприятия и автотранспорт Иркутско-Черемховского промышленного комплекса, Слюдянки и Байкальска, Улан-Удэ, Селенгинска и Гусиноозерска, суммарные мощности которых взяты из работ [9, 10].

Моделирование процессов распространения примесей проводилось в области площадью  $500 \times 250$  км и высотой 5 км над поверхностью оз. Байкал. Шаги по времени и горизонтали составляли соответственно 150 с и 5 км; шаг по вертикали задавался следующим образом: до высоты 350 м он равнялся 50 м, далее — 150, 1000, 1500 и 2000 м. Начальная концентрация молекулярного азота ( $N_2$ ) принималась равной  $0,93 \text{ кг/м}^3$ , молекулярного кислорода ( $O_2$ ) —  $0,297 \text{ кг/м}^3$ , водяного пара ( $H_2O$ ) —  $2,23 \cdot 10^{-4} \text{ кг/м}^3$ , молекулярного водорода ( $H_2$ ) —  $10^{-7} \text{ кг/м}^3$ . Предполагалось, что в воздухе постоянно присутствует перекись водорода  $H_2O_2$  и ее концентрация, равная  $10^{-9} \text{ кг/м}^3$ , не меняется в пространстве и во времени. Коэффициенты турбулентной диффузии рассчитывались с использованием соотношений полуэмпирической теории турбулентности [8]. При расчетах плотности массового расхода сульфатов, нитратов и нитритов (сухое осаждение) скорость гравитационного осаждения принималась равной  $0,5 \text{ см/с}$ .

Результаты численных экспериментов показали, что за 3 сут при развитом Азиатском антициклоне на поверхность Южного Байкала площадью  $9000 \text{ км}^2$  выпадает до 19 т взвешенных веществ, а при ослабленном антициклоне за 3 сут на ту же площадь осадается до 9 т твердых взвесей.

Рассматриваемая область включает территорию Байкальского государственного заповедника площадью  $1657 \text{ км}^2$ . В результате численных экспериментов получено, что при синоптической ситуации первого типа на территорию заповедника выпадает 3,3 т взвесей, при ситуации второго типа — 1 т.

В дальнейшем для оценки вклада выбросов каждой группы предприятий (Иркутско-Черемховский промышленный узел, Слюдянка и Байкальск, Улан-Удэ, Селенгинск, Каменск, Гусиноозерск) в загрязнение южной части озера при различной интенсивности антициклона были проведены модельные расчеты с действующими источниками выбросов указанных промышленных комплексов по отдельности. Результаты приведены в табл. 1, где слева перечислены источники выбросов, работающие при условии, что остальные группы в данное время примеси не выбрасывают. Колонки содержат расчетные величины вкладов перечисленных источников в загрязнение Южного Байкала и Байкальского заповедника твердыми взвесями при антициклонической циркуляции двух типов. При хорошо развитом антициклоне наибольший вклад в загрязнение котловины Южного Байкала твердыми взвесями вносят предприятия Иркутско-Черемховского промышленного узла (99%), а при ослабленном антициклоне преобладает вклад предприятий и автотранспорта Слюдянки и Байкальска (96%).

Таблица 1  
Вклад отдельных источников выбросов твердых взвесей в загрязнение Южного Байкала и Байкальского заповедника

| Группа источников  | Вклад, %                   |           |                        |           |
|--|----------------------------|-----------|------------------------|-----------|
|  | Южный Байкал               |           | Байкальский заповедник |           |
|  | Тип синоптической ситуации |           |                        |           |
|  | $P_{max}$                  | $P_{min}$ | $P_{max}$              | $P_{min}$ |
| Черемхово — Усолье-Сибирское — Ангарск — Иркутск — Шелехов | 99                         | 4         | 50                     | 86        |
| Слюдянка — Байкальск                                       | 1                          | 96        | 0                      | 12        |
| Каменск — Селенгинск — Улан-Удэ                            | 0                          | 0         | 50                     | 2         |

При загрязнении территории Байкальского государственного заповедника взвешенными веществами при усиленном антициклоне примерно одинаков вклад Иркутско-Черемховского промышленного комплекса, предприятий и автотранспорта Селенгинска, Каменска и Улан-Удэ. При ослабленном антициклоне наибольшее влияние оказывают предприятия и автотранспорт Иркутско-Черемховского промышленного узла — 86%.

С учетом трансформации выбрасываемых оксидов серы и азота оценен также вклад групп предприятий в загрязнение Южного Байкала сульфатами, нитратами и нитритами. Результаты представлены в табл. 2. При циркуляции первого типа ( $P_{max}$ ) наи-

Вклад отдельных источников выбросов соединений серы и азота в загрязнение Южного Байкала

| Тип синоптической ситуации | Вклад, %   |         |         |                    |         |         |                             |         |         |
|----------------------------|--|---------|---------|--------------------|---------|---------|-----------------------------|---------|---------|
|                            | Черемхово–Усолье–Сибирское–Ангарск–Иркутск–Шелехов |         |         | Слюдянка–Байкальск |         |         | Каменск–Селенгинск–Улан-Удэ |         |         |
|                            | Сульфаты   | Нитраты | Нитриты | Сульфаты           | Нитраты | Нитриты | Сульфаты                    | Нитраты | Нитриты |
| $P_{\max}$                 | 86   | 85      | 57      | 14                 | 15      | 43      | 0                           | 0       | 0       |
| $P_{\min}$                 | 10   | 5       | 2       | 89                 | 94      | 98      | 1                           | 1       | 0       |

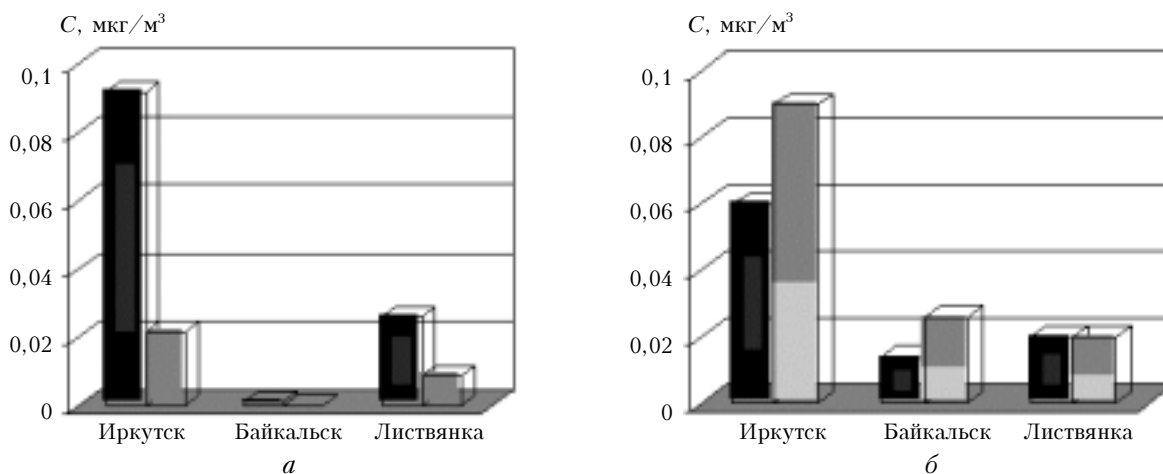


Рис. 4. Средние концентрации окислов серы (а) и азота (б) при хорошо выраженном (черный цвет) и ослабленном (белый цвет) Азиатском максимуме

большой вклад в загрязнение котловины Южного Байкала соединениями серы и азота вносят предприятия Иркутско-Черемховского промышленного узла. При синоптических ситуациях второго типа ( $P_{\min}$ ) превалирует вклад предприятий и автотранспорта Слюдянки и Байкальска.

Модельные расчеты неплохо согласуются с наблюдаемыми данными. В период хорошо выраженного Азиатского максимума рост содержания сульфатов на юге Байкала (ст. Листвянка) происходит на фоне повышенных концентраций окислов серы в Иркутске (рис. 4, а).

Увеличение содержания нитратов в период ослабленного антициклона связано как с влиянием Иркутско-Черемховского промышленного узла, так и предприятий и автотранспорта Байкальска и Слюдянки (рис. 4, б).

Таким образом, проведенное исследование расширило имеющиеся представления об условиях формирования Азиатского максимума и его влиянии на загрязнение Южного Прибайкалья.

Оценены количественные характеристики осаждения взвешенных веществ, соединений серы и азота на акваторию Южного Байкала при различных условиях развития Азиатского антициклона.

При усилении Азиатского максимума превалирует вклад источников загрязнения Иркутско-Черемховского промышленного узла, а при его ослаблении возрастает вклад местных источников, расположенных на южном побережье Байкала.

В условиях наблюдающегося повышения зимних температур и некоторого ослабления Азиатского максимума увеличение вклада окислов азота со сто-

роны как местных источников, так и промышленных центров Предбайкалья может способствовать повышению кислотных свойств снеговых и речных вод притоков Южного Байкала, наблюдаемому в настоящий период [11].

Работа выполнена при частичной поддержке РФФИ, грант 05-05-97232р-байкал.

1. Монин А.С. Прогноз погоды как задача физики. Л.: Гидрометеониздат, 1989. 69 с.
2. Иванова А.С., Латышева И.В., Мордвинов В.И. Особенности зимней циркуляции в районе Азиатского антициклона // Оптика атмосф. и океана. 2004. Т. 17. № 5–6. С. 448–452.
3. Витвицкий Г.Н. Зональность климата Земли. М.: Мысль, 1979. 253 с.
4. Сазонов Б.И. Суровые зимы и засухи. Л.: Гидрометеониздат, 1991. 240 с.
5. Израэль Ю.А., Назаров И.М., Прессман А.Я., Ровинский Ф.Я., Рябошапка А.Г. Кислотные дожди. Л.: Гидрометеониздат, 1989. 270 с.
6. Анохин Ю.А., Кокорин А.О., Прохорова Т.А., Анисимов М.П. Аэрозольное загрязнение атмосферы над озером Байкал и влияние на него промышленных источников // Мониторинг состояния озера Байкал. Л.: Гидрометеониздат, 1991. С. 44–50.
7. Латышева И.В., Иванова А.С., Макухин В.Л., Мордвинов В.И. Влияние метеорологических условий на процессы распространения и трансформации аэрозольных и газовых компонентов в регионе озера Байкал // Оптика атмосф. и океана. 2004. Т. 17. № 4. С. 322–324.
8. Arguchintsev V.K., Makukhin V.L. Simulation of the spreading and transformation of sulphur and nitrogen compounds in the atmosphere of the southern region

- around Lake Baikal // Proc. SPIE. 2000. V. 4341. P. 593–599.
9. *Государственный доклад. О состоянии и об охране окружающей среды Иркутской области в 2002 году* / Под. ред. Н.Л. Корзуна. Иркутск: Главн. упр. прир. ресурсов и охр. окр. среды МПР России по Иркутской области, 2004. 328 с.
10. *Охрана атмосферного воздуха: Стат. бюл.* Иркутск: Облкомстат, 2000. 165 с.
11. *Нецетаева О.Г., Сороковикова Л.М., Томберг И.В., Ходжер Т.В., Погодаева Т.В.* Влияние атмосферных осадков на химический состав речных вод Южного Байкала // *Оптика атмосф. и океана.* 2004. Т. 17. № 5–6. С. 423–427.

*I.V. Latysheva, V.L. Makukhin, V.L. Potemkin. Study of characteristics of the Asian anticyclone and its effects on atmospheric pollution in the Lake Baikal region.*

Quantitative characteristics of sedimentation of dispersed substance, as well as nitrogen and sulphur compounds onto the area of south Lake Baikal have been estimated at different conditions of the Asian anticyclone development.