

УДК 551.510.534

**ДИНАМИКА И ВНУТРЕННЯЯ СТРУКТУРА МЕСЯЧНЫХ  
ВЕЛИЧИН ОБЩЕГО СОДЕРЖАНИЯ ОЗОНА НАД  
КАЗАХСТАНОМ**

Канд. геогр. наук А.В. Чередниченко

*Предлагается типизация полей общего содержания озона (ОСО), выполненная впервые, для территории Республики Казахстан. Показано, что конкретные типы – это результат крупномасштабных циркуляционных процессов над территорией северного полушария. В качестве примера приведены типичные случаи с привлечением синоптического материала с наименьшим и наибольшим концентрациями озона над республикой.*

Динамика атмосферного озона над Казахстаном после пятидесятих годов прошлого века практически не изучалась. Однако обоснованно повышенный интерес к проблеме со стороны мирового сообщества и ряд Международных Конвенций, к которым присоединился Казахстан, сделали такие исследования необходимыми [6, 8].

Динамика общего содержания озона (ОСО) над Казахстаном изучалась нами за период с 1998 по 2006 гг. Распределение ОСО над Казахстаном – это результат крупномасштабной общей циркуляции атмосферы над значительной частью Северного полушария. Поэтому использовалась информация об ОСО на пространстве от Атлантического до Тихого океанов. Такие данные регулярно публикуются в обзорах журнала «Метеорология и Гидрология», а также содержатся в работах [3, 4, 5 и др.].

Пространственные размеры Казахстана, по сравнению с крупномасштабными процессами, относительно не велики и можно было бы ограничиться типизацией полей распределения ОСО только над его территорией. Например, на рис 1 (а) и (б) для поля ОСО над Казахстаном характерны величины, близкие к норме (поле нулевых отклонений), а для поля ОСО на рисунке 1 (в) характерны повышенные концентрации ОСО, увеличивающиеся с юга на север, для (г) – пониженные концентрации ОСО и т.д. Однако, при такой типизации будет потеряна связь между распределением ОСО над Казахстаном и элементами общей циркуляции атмосферы, что не позволит использовать такую типизацию в качестве основы для

разработки рекомендаций к прогнозу или самого прогноза отклонения ОСО от нормы. Поэтому, имея в виду особенности распределения ОСО над Казахстаном, мы типизировали поля ОСО над значительно большей территорией от Атлантики до Тихого океана.

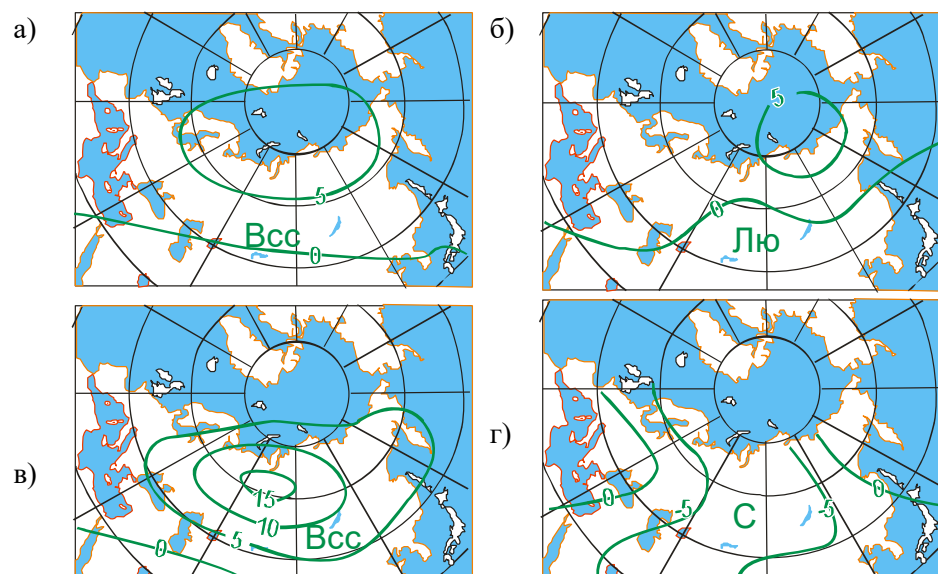


Рис. 1. Пример типа полей распределения ОСО в Северном полушарии.  
 а) высокое север Сибири (Всс); б) норма Ложбина на юге (Лю); в) высокое север Сибири (Всс); г) низкое (С)

Кроме того, в Казахстане имеется всего четыре станции, которые измеряют ОСО, и качество данных не всегда надежное [3, 7]. Поэтому наличие измерений ОСО на прилегающих территориях позволяет осуществлять пространственный контроль наших данных.

Все поля средних месячных величин ОСО мы типизировали по отношению к Казахстану, его условной центральной точки. В табл. 1 приведены формы поля ОСО, выделенные типы, средние и крайние величины ОСО, над Казахстаном, полученные на основе типизации средних месячных полей ОСО за 2004...2006 гг. над Казахстаном и прилегающими территориями [9]. Формы полей возможно пока излишне детализованы, т.к. еще не оценена степень значимости отдельных уточнений. Однако в целом разновидностей форм не так много.

На рис. 1 приведены некоторые типы распределения ОСО. Так на рис 1а и 1в представлен один и тот же тип «высокое, север Сибири» (Всс), т.е. область максимальных величин ОСО расположена над севером Западной Сибири. Различие заключается в интенсивности области и ее геогра-

фическом положении. В первом случае большая часть слабо оформленного центра (максимальное превышение ОСО над нормой 5%) расположена за Полярным кругом, горизонтальные градиенты ОСО невелики и через Казахстан, примерно деля его территорию пополам в широтном направлении, проходит изолиния нулевых отклонений месячных величин ОСО от нормы. Во втором случае максимальное превышение ОСО в центре составляет 15 %, центр компактно расположен в районе Полярного круга, горизонтальные градиенты ОСО велики. Через территорию Казахстана в широтном направлении, тоже примерно деля его территорию пополам, проходит изолиния 5 %, т.е. над северной частью Казахстана отклонение величин ОСО от нормы составляет 5...7 %, а над южной – 0...5 %.

На рис. 1б представлено распределение величин ОСО при типе «Ложбина с юга» (ЛЮ). В этом случае ось ложбины проходит примерно через центральные районы Казахстана и над большей частью его территории имеют место пониженные величины ОСО.

На рис. 1г представлен тип «Седловина», когда территория Казахстана находится между двумя активными областями повышенных величин ОСО западнее и восточнее от него.

Нет необходимости и возможности в статье приводить анализ всех выделенных типов. В то же время в названиях типов, приведенных в табл. 1, содержится указание на форму поля ОСО, аналогично тому, как это принято для полей давления. В табл. 1 можно видеть также, что средние величины отклонений ОСО, снятые для центра территории Казахстана, от месяца к месяцу меняются слабо, в пределах 2...3 % от нормы. Редко эти отклонения достигают 4 %. Представлялось поэтому, что для огромной территории такие отклонения не достаточно показательны, т.к. они характеризуют только общий фон ОСО. Поэтому найдены также экстремальные величины отклонений от нормы, наблюдавшиеся над Казахстаном в каждом месяце. Можно видеть, что размах таких отклонений редко был меньше 5 %, часто превышая 10 % при средних в 6...7 %.

Разработанная типизация полей ОСО над территорией Казахстана, в дальнейшем может быть использована при разработке рекомендаций к прогнозу или самого прогноза полей ОСО. Создать метод прогноза ОСО в целом для Казахстана в будущем, ввиду большого размаха пространственных отклонений будет достаточно сложно.

Как возникают аномалии? Это медленное смещение значений ОСО в ту или другую сторону, наблюдающееся в течение месяца или кратко-

временные большие скачки, влияющие на величину средних за месяц величин? Попробуем разобраться.

Таблица 1

Форма поля, средние и экстремальные величины ОСО над Казахстаном

	Месяц											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
2004 год												
Форма поля	С	С	С	ЛЮ	НЮС	НВ	ГЮ	ГЮ	РазГ	ГЮ	ГЮ	ГЮ
Среднее	2	3	-2	3	-3	0	2	3	1	1	2	3
Экстремумы	1/-2	3/-2	2/-5	9/-5	-3/2	-5/2	9/-4	8/-2	4/-3	8/-2	7/-2	5/0
2005 год												
Форма поля	ГЮ	ГЮ, ВВ, ВВ, НЮЗС	НЗ	наГЮ	НЗС	НВ	РазС	ГЮ	ГЮ	ЛСЗ	ЛС	С
Среднее	2	2	0	0	0	-2	1	3	2	-4	-4	-2
Экстремумы	4/-2	5/-5	2/-2	-5/1	-5/1	-10/1	2/-1	5/-2	3/-2	-5/1	-7/1	-2/2
2006 год												
Форма поля	ВВ	ЛЮ	ЛЮ	РазН	НЮ	С	НВ	ВСС	РазН	С	С	Нк
Среднее	3	-2	-2	-2	-3	-2	3	3	2	2	1	-3
Экстремумы	-6/2	-8/2	8/2	-6/-1	-9/0	3/-5	-6/-2	10/0	9/2	2/-2	6/-2	7/-6

*Примечание:* С – седловина, НЗ – низкое, западное, ЛЮ – ложбина с юга, ВВ – высокое, восточнее Казахстана, НЮ – низкое, юг Сибири, НЗС – низкое, Западная Сибирь, НВ – низкое восточнее Казахстана, НВ – низкое, восточнее, ГЮ – гребень с юга, Нк – низкое над Казахстаном, РазГ – размытый гребень, ВСС – высокое, север Сибири, РазН – размытое низкое, ЛСЗ – ложбина на северо-западе, НЮЗС – низкое, юг Западной Сибири, ЛС – ложбина на севере (севернее)

Анализ обширного имеющегося материала показал, что иногда знак отклонения от нормы в том или ином районе сохраняется из месяца в месяц в течение квартала и более. В других же случаях обширные и значительные аномалии, отмечаемые в каком-то районе в одном месяце, в следующем месяце изменяются на обширные и значительные аномалии ОСО, но уже другого знака. Устойчивость аномалий отклонений величин ОСО от нормы видимо облегчали бы их прогноз, (например, методами простой временной автокорреляции), а неустойчивость ведет к усложнению предсказуемости [8, 9].

Данных об ОСО только станций Казахстана оказалось недостаточно. К тому же, как отмечено выше, наши данные часто бракуются Миро-

выми центрами анализа. Поэтому мы использовали данные об ОСО с прилегающих территорий. Для поиска ответа на данный вопрос мы попытались систематизировать всю имеющуюся у нас и в литературе информацию о характере изменения месячных величин ОСО. Результаты этой работы представлены в табл. 2.

Таблица 2

Особенности образования аномалий ОСО над некоторыми районами

Район	Месяц	Год	Тип отклонения	Характер
Екатеринбург	апрель	2004	выше нормы	аномально высокие ежедневные данные;
Петропавловск-Камчатский	май	2004	дефицит ниже порога аномальности	в течение трех дней ОСО ниже порога аномальности;
Сибирь и Казахстан	май	2004	ниже нормы	в течение шести дней наблюдалась озоновая аномалия;
ЕТР	декабрь	2003	ниже нормы	регулярные низкие значения в течение месяца на фоне аномально высоких температур;
Чарджоу	3 квартал	2004	выше нормы	ежедневные повышенные значения ОСО;
Ханты-Мансийск	апрель	1999	выше нормы	регулярные значения весь месяц;
Средняя Азия и Казахстан	апрель	1999	аномально высокие	во второй и третьей декадах;
Сибирь	май	1999	аномально низкие	вторая половина мая;
ЕТР	май	1999	выше нормы	повышенные ежедневные значения;
Красноярск	июнь	1999	дефицит	в течение месяца (4 раза за месяц фиксировались положительные отклонения);
Караганда	октябрь	1999	максимальный дефицит	продолжительные периоды пониженного отклонения ОСО;
Ашхабад	декабрь	1999	максимальный дефицит	продолжительные периоды пониженного отклонения ОСО.

Можно видеть, что в некоторых случаях, например, в Чарджоу, третий квартал 2004 г., величины ОСО были выше нормы ежедневно в течение нескольких месяцев. В то же время, над Сибирью и Казахстаном в

мае 2004 г. большой дефицит ОСО был только в течение шести дней. Этого оказалось достаточным, чтобы среднее за месяц значение ОСО оказалось ниже нормы.

В табл. 2 видно, что и те и другие случаи встречаются часто. В работе [8] показано, что в субтропических широтах временная изменчивость ОСО меньше, чем в умеренных. Видимо, по югу Казахстана в будущем, если такая задача будет решена, прогнозы средних месячных отклонений ОСО от нормы будут более успешными, чем по северу территории.

В результате выполненных исследований ОСО, пространственного распределения месячных, квартальных и годовых величин над Восточной частью Северного полушария и Казахстана получено следующее:

- все многообразие распределения экстремумов ОСО над полушарием, для территории Казахстана удалось свести к трем имеющим достаточно высокую повторяемость типам;
- поскольку предполагается, что каждый конкретный тип формируется в результате вполне определенных циркуляционных условий, то следует изучить эти условия и, научившись их прогнозировать на месяц, сезон, год, легко разработать и соответствующие методы прогноза отклонений ОСО от нормы;
- внутримесячная структура ОСО сложная. Это может быть и плавный изо дня в день, повышенный (пониженный) по сравнению с нормой ход ОСО, дающий соответствующую аномалию за месяц. Возможны и кратковременные в течение трех или более дней резкие до 35...40 % отклонения значений ОСО от нормы, которые затем влияют на значение средних ОСО за месяц. Природа таких ситуаций разная, соответственно анализ и прогноз их тоже сложен [1, 10].

Далее нами были отобраны случаи экстремальных величин ОСО над Казахстаном. При этом за случай брали ситуацию, когда хотя бы на одной из станций Казахстана ОСО отклоняется в любую сторону от нормы до 2,5 или больше значений среднего квадратического отклонения ( $\sigma$ ) [11, 12].

Для примера рассмотрим аэросиноптические условия, когда имели место экстремальные значения ОСО. **Случай аномально высокого ОСО в Семипалатинске за 20 сентября 2006 г.** Согласно приземной карте барической топографии, через Семипалатинск прошли два холодных атмосферных фронта, переместившиеся с северо-запада. За холодными фронтами отмечается антициклон с центром немного северо-западнее Семипалатинска. Наличие этого антициклона указывает на то, что холодное вторжение было интен-

сивным. Это подтверждается и разностью температур в зоне фронтов, которая составляет 17 °С. Известно, что приземные температуры могут сглаживаться облачностью и орографией. Однако анализ карты  $OT_{1000}^{500}$  показывает, что разность средних температур нижней тропосферы перед и за холодными фронтами составляет 15...16 °С, (рис. 2). Таким образом, произошло мощное северное вторжение. Ложбина холода на уровне 500 гПа ориентирована от циклона с центром северо-западнее Новой Земли к юго-востоку, затем вдоль меридиана 70 °в.д. и далее к юго-юго-западу (рис. 3). Холодный воздух в системе этой ложбины проник до южных границ Казахстана и в Среднюю Азию.

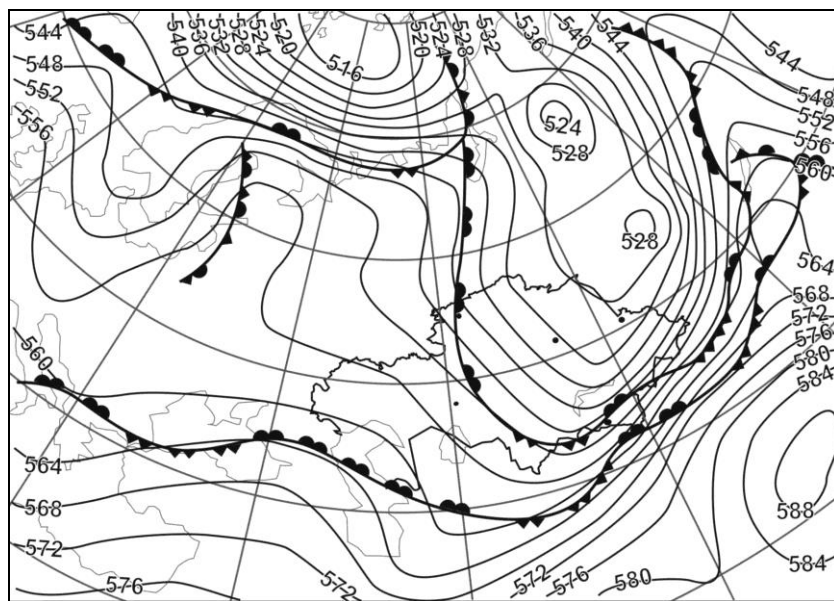


Рис. 2. Карта схема  $OT_{1000}^{500}$  за 20.09.2006 г.

Вместе с холодным арктическим воздухом, который согласно приземной карте проник только до широты Алматы западнее от нее, но захватил Семипалатинск, пришел и атмосферный озон, максимум которого имеет место в районе полярного круга.

Особенно хорошо ложбина просматривается на уровне АТ-300 (рис. 4). По периферии ложбины наблюдалось струйное течение, особенно сильное в юго-восточной части ложбины, т.е. в зоне атмосферных фронтов. На уровне 300 гПа скорости ветра на оси струйного течения достигали 45...60 м/с. Семипалатинск находился под этой областью, однако холодные фронты через него уже прошли.

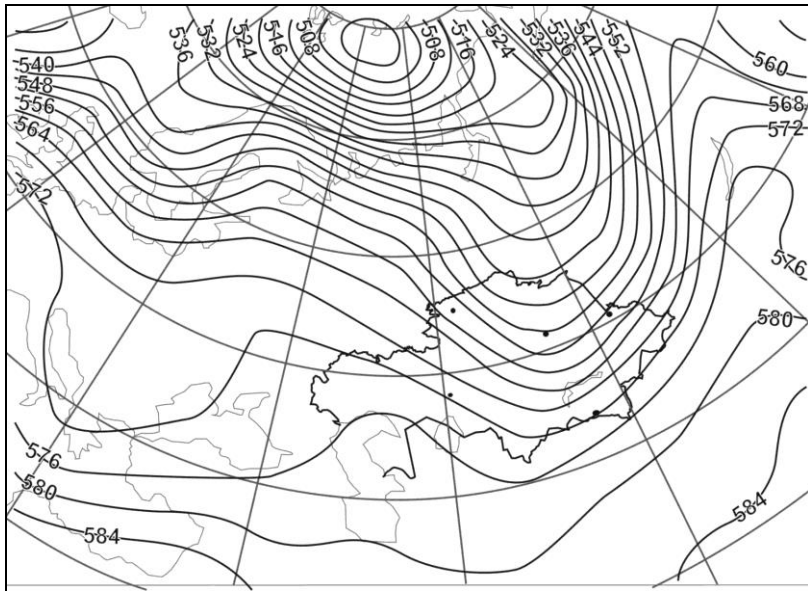


Рис. 3. Карта схема AT-500 за 20.09.2006 г.

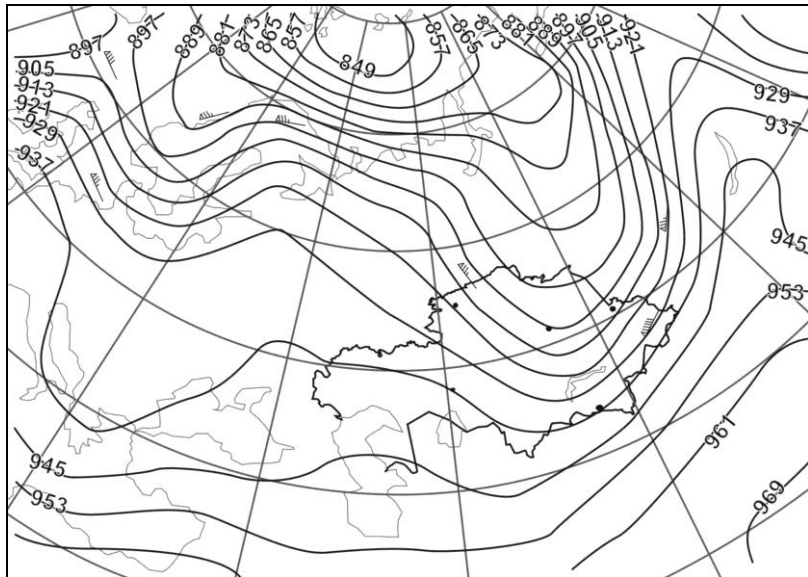


Рис. 4. Карта схема AT-300 за 20.09.2006 г.

Таким образом, экстремально высокие концентрации озона наблюдались в системе особенно глубокой ложбины, на ее юго-восточной периферии в результате вторжения холодного арктического воздуха, богатого озоном.

**Случай аномально низкого ОСО в мае 2004 г.** Случай аномально низкого содержания озона отмечался в Караганде и Семипалатинске одновременно и продолжался в течение нескольких суток с перерывами. Ввиду



значительной продолжительности наблюдаемой ситуации рассмотрим аэросиноптический материал за двое смежных суток.

15 мая над северо-востоком Казахстана, югом Центральной Сибири и Монголией располагался обширный антициклон. Караганда находилась на западной периферии, а Семипалатинск несколько ближе к центру. Два теплых атмосферных фронта, перемещались на периферии антициклона, проходя с севера Каспийского моря к северо-северо-востоку, и только над севером Западной Сибири приняли широтное направление.

На карте  $OT_{1000}^{500}$  центральные районы Казахстана, юг Урала, юг и центральные районы Западной Сибири занимал обширный гребень тепла. Ось гребня проходила значительно западнее Алматы (рис. 5). Вблизи оси располагалась изогипса 576...580 дкм, т.е. гребень был очень теплым.

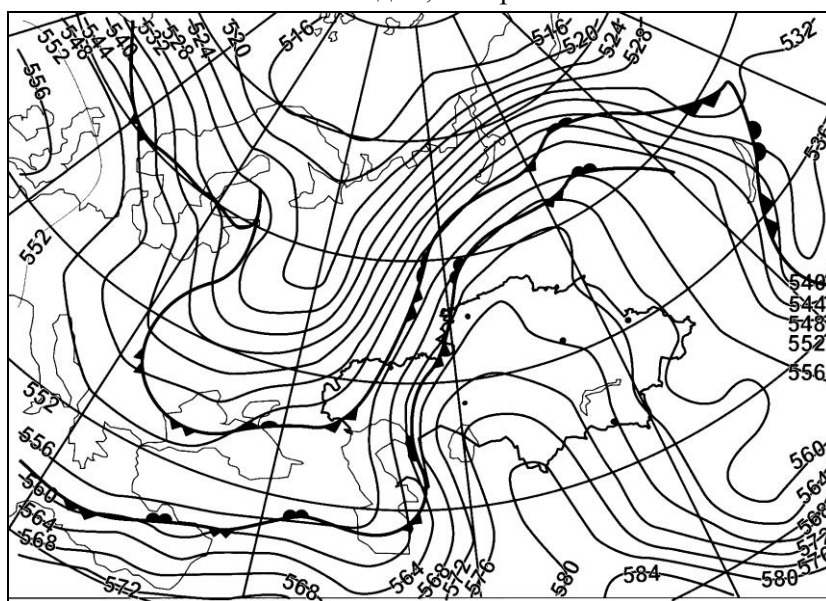


Рис. 5. Карта схема  $OT_{1000}^{500}$  за 15.05.2004 г.

На уровне 500 гПа над севером Казахстана отмечалась самостоятельная область высокого давления, которая захватывала и Алматы. Станции Караганда и Семипалатинск находились вблизи центра антициклона (рис. 6). На уровне 300 гПа (рис. 7) полоса между Аралом и Алматы занята гребнем высокого давления, который над центральными районами Казахстана существенно расширялся. Ось гребня и струйные течения западнее Семипалатинска находились за пределами Казахстана далеко на северо-западе (рис. 7).

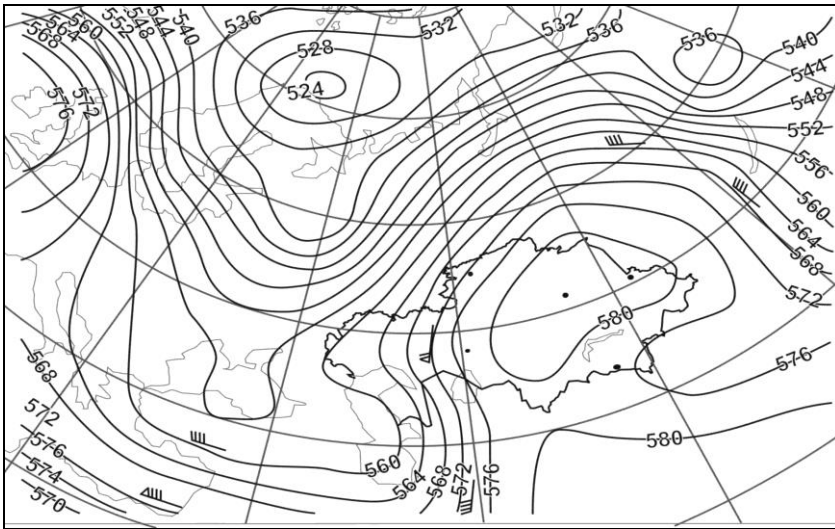


Рис. 6. Карта схема AT-500 за 15.05.2004 г.

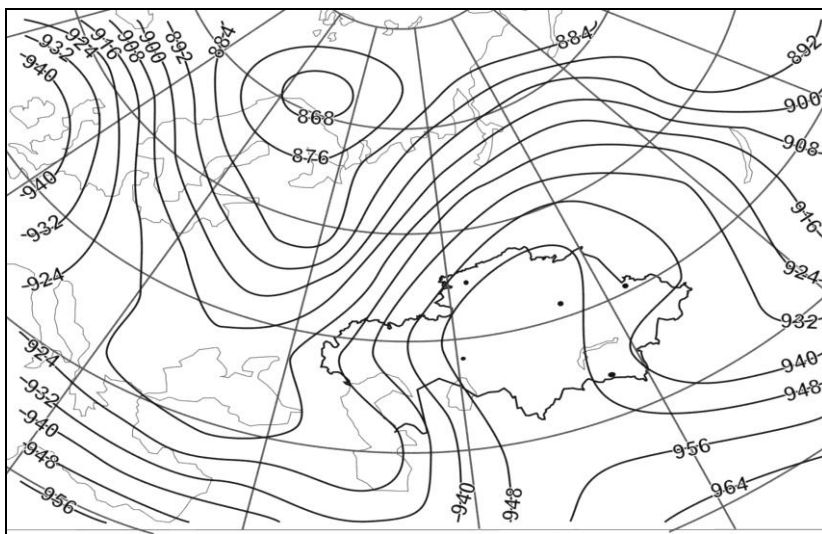


Рис. 7. Карта схема AT-300 за 15.05.2004 г.

Положение изогипс на уровне 500 гПа (они меридианальны и над Западным Казахстаном сгущены) указывает на то, что в ближайшее время следует ожидать продолжения выноса тепла на Казахстан, усиление гребня тепла на  $OT_{1000}^{500}$ , и медленного смещения всей системы к востоку.

16 мая антициклон у земли разделен на две самостоятельные области высокого давления. Произошло смещение всей системы к востоку. На  $OT_{1000}^{500}$  ось гребня тепла по-прежнему была ориентирована меридианально

и располагалась между Аралом и Алматы (рис. 8). Однако температура нижней тропосферы повысилась. Если 15 мая через Алматы проходила изогипса 560 дкм, то 16 мая – 569 дкм. Повышение температуры нижней тропосферы так же произошло над центральными и восточными районами Казахстана.

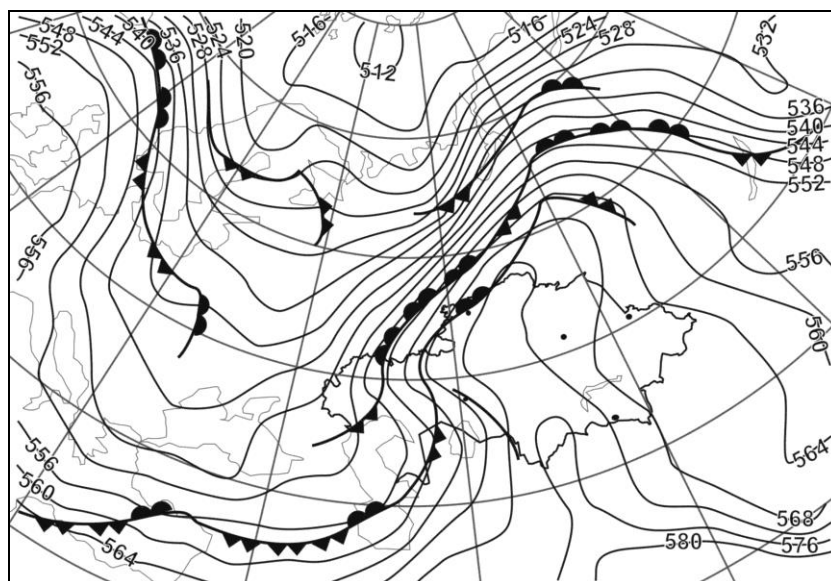


Рис. 8. Карта схема  $OT_{1000}^{500}$  за 16.05.2004 г.

На уровне 500 гПа над центральными и восточными районами Казахстана сформировалась самостоятельная область высокого давления, замкнутая изогипсой 584 дкм, тогда как 15 мая она замыкалась изогипсой 580 дкм, т.е. имел место рост давления. По югу Казахстана, произошло некоторое падение давления на этом уровне, что возможно связано с орографией. Над Западным Казахстаном изогипсы сгущены и ориентированы меридианально, т.е. вынос тепла с юга на северные районы продолжался (рис. 9).

На уровне 300 гПа над Севером Казахстана и югом западной Сибири сформировалась самостоятельная область высокого давления, замкнутая изогипсой 948 дкм. Ветры над этими районами слабые, только северо-западнее Центрального Урала на периферии в районе атмосферных фронтов имело место струйное течение (как и в прошлые сутки), ориентированное к северо-востоку. Скорости на оси около 30...40 м/с, изогипсы сгущены умеренно (рис 10).

Таким образом, дефицит ОСО, составивший  $2,7\sigma$ , а в последующие сутки и более, имел место в системе гребня, сформировавшегося в результате

интенсивного меридианального выноса тропического воздуха через западные районы Казахстана. В верхней тропосфере на 300 гПа сформировалась самостоятельная область высокого давления, указывающая одновременно и на интенсивность выноса тепла и то, что смещение системы будет медленным. На самом деле так и было. С перерывами, в результате пульсации параметров аэросиноптической системы, дефицит ОСО имел место в течение нескольких суток как над Карагандой, так и над Семипалатинском. Над Алматы, однако, дефицит ОСО не наблюдался, так как здесь имело место поступление холодного воздуха по восточной периферии системы.

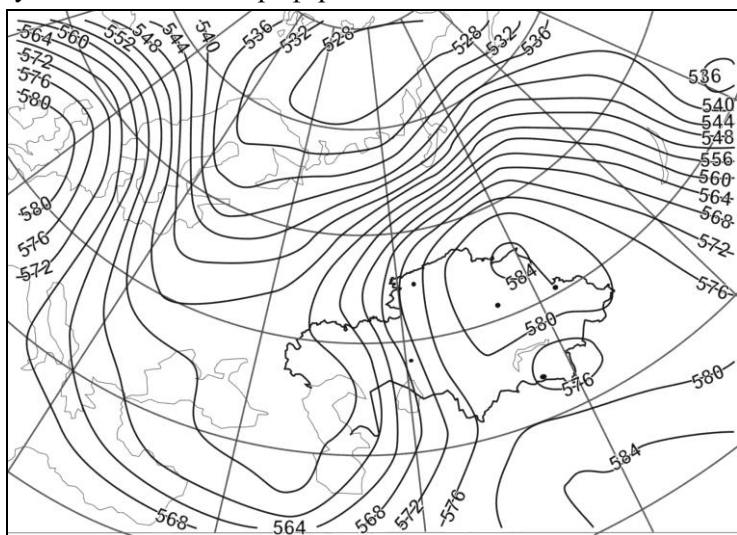


Рис. 9. Карта схема АТ-500 за 16.05.2004 г.

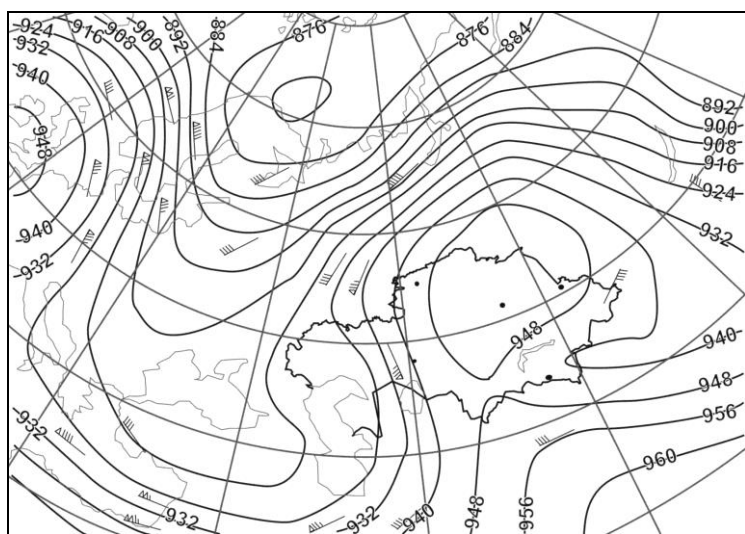


Рис. 10. Карта схема АТ-300 за 16.05.2004 г.

Глубокий анализ всех случаев аномальных ОСО, которые мы собрали, может позволить найти количественные характеристики между ОСО над Казахстаном и параметрами циркуляции, на основе которых возможна разработка рекомендаций к прогнозу экстремальных ОСО.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Белан И.Д. Проблема тропосферного озона и некоторые результаты его измерений. // Оптика атмосферы и океана. – 1996. – Том 9. – № 9. – С. 1184 - 1213.
2. Вароцос К.А., Кондратьев К.Я. Загрязнение тропосферы и ультрафиолетовая солнечная радиация. // Оптика атмосферы и океана. – 1994. – № 2. – С.1020-1030.
3. Егорова Т.А., Розанов Е.В., Зубов В.А., Кароль И.Л. Модель для исследования трендов озона (мезон). // Известия РАН. Физика атмосферы и океана. – 2003. – Том 39. – № 3. – С. 310-326.
4. Еланский Н.Ф. Российские исследования атмосферного озона в 1999...2002 гг. // Известия РАН. Физика атмосферы и океана. – 2004. – Том 40. – № 4. – С. 567-576.
5. Кароль И.Л., Киселев А.А. Фотохимические модели атмосферы и их использование в исследованиях озоносферы и климата (обзор) // Известия РАН. Физика атмосферы и океана. – 2006. – Том 42. – № 1. – С. 3-34.
6. Кондратьев К.Я. Глобальная динамика озона. // Итоги науки и техники. Сер. Геомагнетизм и высокие слои атмосферы. Том 19. – М.: ВИНТИ, 1989. – 212 с.
7. Кондратьев К.Я., Вароцос К.А. Исследование тропосферного озона в Европе // Метеорология и гидрология. – 2000. – № 10. – С. 12-23.
8. Перов С.Я., Хргиан Л.Х. Современные проблемы атмосферного озона. – Л.: Гидрометеиздат, 1980. – 287 с.
9. Хргиан А.Х. Физика атмосферного озона. – Л.: Гидрометеиздат, 1973. – 292 с.
10. Sinnhuber В.М. et al. Large loss of total ozone during the Arctic winter of 1999/2000. – Geophys. Res. Lett., 2006, Vol. 27. – No. 21. – P. 3473 - 3476.
11. The Northern Hemisphere Stratosphere in the Winter and Spring of 1999/2000. – The Report of European Ozone Research Coordinating Union. – 2000. – P. 4 - 6.
12. World Meteorological Organization (WMO). Scientific Assessment of Ozone Depletion: 2002, Global Ozone Research and Monitoring Project – Report № 47. – 2003, P. 3.1—3.58.

Казахский научно-исследовательский институт экологии и климата, г. Алматы

## **ҚАЗАҚСТАНДА ОЗОННЫҢ ЖАЛПЫ ҚҰРАМЫНЫҢ АЙЛЫҚ ШАМАСЫНЫҢ ДИНАМИКАСЫ ЖӘНЕ ІШКІ ҚҰРЫЛЫМЫ**

Геогр. ғылымд. канд. А.В. Чередниченко

*Қазақстан Республикасының аймағы үшін алғаш рет орындалған озонның жалпы құрамының алабын типтеу берілген. Нақты түрлер – бұл, солтүстік жарты шар аймағындағы ірі өлшемді циркуляциялық процесстердің нәтижелері екені көрсетілген. Мысал ретінде республикадағы озонның ең аз және ең көп концентрациялары бар синоптикалық материалдарды қолданғандағы типтік жағдайлар келтірілген.*