

ГОСУДАРСТВЕННЫЙ КОМИТЕТ СССР
ПО ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИИ

ТРУДЫ
КАЗАХСКОГО РЕГИОНАЛЬНОГО
НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОГО
ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКОГО ИНСТИТУТА

Выпуск 105

ПРИКЛАДНАЯ МЕТЕОРОЛОГИЯ
И ОХРАНА
ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ

МОСКВА
ГИДРОМЕТЕОИЗДАТ
1990

06
КК-1

ГОСУДАРСТВЕННЫЙ КОМИТЕТ СССР ПО ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИИ

ТРУДЫ
КАЗАХСКОГО РЕГИОНАЛЬНОГО
НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОГО
ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКОГО ИНСТИТУТА

Выпуск

105

ПРИКЛАДНАЯ МЕТЕОРОЛОГИЯ
И ОХРАНА
ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ

Под редакцией
канд. техн. наук И. Г. ГУРШЕВА,
канд. техн. наук Э. И. МОНОКРОВИЧА



МОСКВА · МОСКОВСКОЕ ОТДЕЛЕНИЕ ГИДРОМЕТЕОИЗДАТА — 1990

Рассмотрены результаты экспериментальных исследований переноса солей во время песчаных бурь с осушенной части дна Аральского моря. Обсуждаются вопросы рассеивания газовых примесей в воздушном бассейне города и временные изменения его потенциала загрязнения. Излагаются принципы объективной классификации содержания тяжелых металлов в почве. Охарактеризована экономическая эффективность использования климатологической информации в ряде отраслей народного хозяйства.

Рассчитан на специалистов, занимающихся вопросами охраны атмосферы и прикладной климатологии.

П $\frac{1502020000-277}{069(02)-90}$ 56—90(1)

ISBN 5—286—00584—5

© Казахский региональный научно-исследовательский гидрометеорологический институт, 1990 г.

ВЕТРОВОЙ ПЕРЕНОС СОЛЕЙ В ПРИЗЕМНОМ СЛОЕ АТМОСФЕРЫ ВО ВРЕМЯ ПЕСЧАНО-СОЛЕВЫХ БУРЬ НА ПОБЕРЕЖЬЕ АРАЛА

Обнажившаяся часть дна моря сложена засоленными почвогрунтами и представляет собой громадные солончаковые поверхности. Солончаки современные, активные, связаны через капиллярную кайму с грунтовыми водами, лежащими в исследуемые годы на глубине 1—2 м. Грунтовые воды имеют минерализацию 11—60 г/л. Небольшая глубина их залегания, высокая гигроскопичность почвогрунтов и большая испаряемость способствуют интенсивному выносу солей к поверхности.

По морфологическим признакам они относятся к корковым и пухлым белым солончакам. По своему химическому составу — сульфатно-хлоридные и хлоридно-сульфатные, сформированные на песчаных и супесчаных приморских почвах. По содержанию солей почвогрунты относятся к сильнозасоленным, а навейный песчаный чехол в виде барханных гряд и других эоловых форм рельефа — к слабо- и средnezасоленным. Песчаные бури этого района было бы точнее называть песчано-солевыми и, естественно, при их исследованиях возникает вопрос об определении не только выносимых ветром масс песка, но и солей. Ранее, при определении массы песка и солей, выносимых из основных очагов выветривания вновь образованной суши, считалось, что в составе твердой фазы потока содержится 0,7—1,0% солей. Исходя из этого была получена масса солей, выносимых за год, в 50—70 тыс. т из общей массы аэрозоля в 7,3 млн. т [4].

Полученное значение существенно расходится с прогнозной оценкой массы солей, выносимой со всей осушенной к настоящему времени части дна моря, данной Н. М. Богдановой и Н. В. Рубановым [3]. По их расчетам эта масса достигает 39 млн. т/год. Столь большое различие в массе солей (в тысячу раз) заставляет вновь вернуться к уточнению методики расчета выноса солей с целью более корректного определения их количества. Следует отметить, что оценка годового выноса солей в 39 млн. т плохо согласуется и с подсчетами содержания солей в метровом слое осушенных почвогрунтов дна моря, выполненными почвоведом [2]. По их расчетам в метровом слое осушенного дна на территории Казахстана содержится 45 млн. т солей. Если принять вынос солей,

определенный Богдановой и Рубановым, то рассоление этого слоя почвогрунтов должно было бы произойти в течение одного-двух лет. По оценке зарубежных исследований из районов западной Сахары в сторону Атлантики выносится за год до 260 млн. т аэрозоля [5]. Выветриваемые площади песков Сахары конечно же во много раз больше площади осушенной части дна Арала. Поэтому очевидно, что массы в 7,3 млн. т песчано-солевого аэрозоля, выносимого ветром из района Арала, и 260 млн. т аэрозоля из Сахары более сопоставимы. Солевого же аэрозоля должно выноситься гораздо меньше, чем 7,3 млн. т. В пустынях могут встречаться почти химически чистые, без примесей частиц грунта, скопления солей на поверхности, образующие солевые коры. Однако на исследованной нами осушенной части дна Аральского моря в районе дельты Сырдарьи современные соляные коры, образующиеся в настоящее время при испарении морских вод, явление крайне редкое. Их появление можно ожидать лишь при дальнейшем падении уровня моря в районах, где будет наблюдаться садка солей с последующим полным высыханием рассола.

Экспериментальные исследования песчано-солевых бурь выполнялись экспедициями КазНИГМИ в 1982—1986 гг. в районе, расположенном южнее дельты Сырдарьи. Измерения проведены в четырех различных пунктах восточной окраины огромного песчаного массива от метеостанции Баян до о. Каска-Кулан. Массив представляет собой плоскую песчаную равнину, подверженную сильной ветровой эрозии и покрытую цепями подвижных барханов со средней высотой барханов от 0,6 до 1,5 м. Межбарханье понижения и открытые поверхности приморских солончаков были покрыты ровной песчано-солевой коркой, имеющей толщину от 2 до 5 см.

Содержание солей в песчано-солевой корке может достигать 15%, содержание солей в песках, слагающих навейный чехол, составляет примерно 0,2—0,5%. Отсюда можно сделать предположение, что основным поставщиком солей в атмосферу во время песчано-солевых бурь в этом районе являются межбарханье понижения и открытые поверхности приморских солончаков, подвергаемые абразивной обработке подвижным песком.

Для количественной характеристики переносимых в воздухе аэрозолей природного происхождения используются такие параметры, как твердый и общий расход. Твердым расходом $q(z)$ будем называть массу частиц твердой фазы, проносящуюся в единицу времени через единичную площадь поперечного потока на различных высотах. Общий расход аэрозолей в приземном слое атмосферы определяется интегрированием измеренных профилей твердого расхода.

Профили твердого расхода солей $q_S(z)$ и общий их расход Q_{S_2} в приземном слое атмосферы должны составлять лишь часть твердого и общего расхода песка, т. е.

$$q_S(z) = p(z) q(z), \quad (1)$$

$$Q_{Sz} = \int_0^h q_s(z) dz, \quad (2)$$

где $p(z)$ — процентное содержание солей в массе твердой фазы, уловленной пескоуловителями на высоте z ; $q(z)$ — твердый расход песка на высоте z ; h — высота приземного слоя атмосферы.

Для корректной оценки содержания солей в воздушном потоке задача сводится к получению отношений общего расхода солей и общего расхода песка в приземном слое атмосферы. Полученное среднее отношение Q_{Sz}/Q_z и должно быть мерой содержания солей в составе твердой фазы, выносимой во время бурь за пределы контуров осушки при климатических оценках, где Q_z — общий расход песка в приземном слое атмосферы. Задача определения Q_{Sz} в (1) сводится к получению $q_s(z)$.

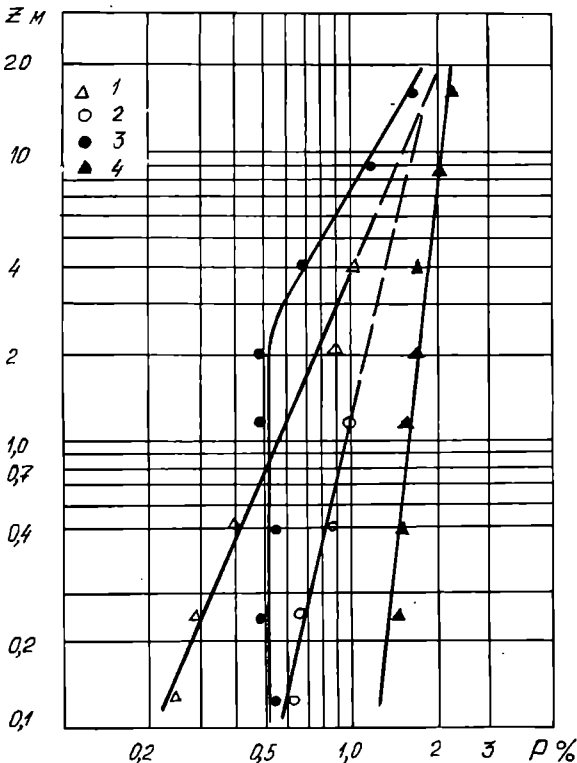


Рис. 1. Изменение содержания солей с высотой в составе твердой фазы потока:

1 — 1982 г., 2 — 1983 г., 3 — 1984 г., 4 — 1986 г.

Профили твердого расхода солей в приземном слое атмосферы получены нами по материалам экспедиций 1982—1986 гг. Общее содержание солей в составе твердой фазы ветропесчаного потока во время бурь и их ионный состав определялись химическим ана-

Твердый расход солей ($q_s(z)$ кг/(м²·с)) и общий расход солей (Q_{S_2} кг/(м·с)) на осушенной части дна Аральского моря

u_0 м/с	Высота над поверхностью песка, м							Q_{S_2}	
	0,12	0,25	0,5	1,2	3,1	4	9		16
1982 г.									
0,33	$1,4 \cdot 10^{-6}$	$5,4 \cdot 10^{-7}$	$3,3 \cdot 10^{-7}$	$2,8 \cdot 10^{-7}$	$1,6 \cdot 10^{-7}$	$9,0 \cdot 10^{-8}$	$6,5 \cdot 10^{-8}$	$4,5 \cdot 10^{-8}$	$2,8 \cdot 10^{-6}$
0,32	$5,1 \cdot 10^{-6}$	$1,8 \cdot 10^{-6}$	$1,5 \cdot 10^{-6}$	$6,4 \cdot 10^{-7}$	$3,4 \cdot 10^{-7}$	$2,0 \cdot 10^{-7}$	$1,1 \cdot 10^{-7}$	$6,4 \cdot 10^{-8}$	$6,8 \cdot 10^{-6}$
0,41	$4,4 \cdot 10^{-6}$	$1,8 \cdot 10^{-6}$	$1,1 \cdot 10^{-6}$	$8,7 \cdot 10^{-7}$	$5,6 \cdot 10^{-7}$	$4,9 \cdot 10^{-7}$	$2,6 \cdot 10^{-7}$	$1,4 \cdot 10^{-7}$	$8,8 \cdot 10^{-6}$
0,38	$2,4 \cdot 10^{-6}$	$2,0 \cdot 10^{-6}$	$9,4 \cdot 10^{-7}$	$5,6 \cdot 10^{-7}$	$3,4 \cdot 10^{-7}$	$1,9 \cdot 10^{-7}$	$1,2 \cdot 10^{-7}$	$7,1 \cdot 10^{-8}$	$7,03 \cdot 10^{-6}$
0,33	$2,0 \cdot 10^{-6}$	$1,2 \cdot 10^{-6}$	$7,2 \cdot 10^{-7}$	$3,8 \cdot 10^{-7}$	$4,5 \cdot 10^{-7}$	$2,1 \cdot 10^{-7}$	$1,6 \cdot 10^{-7}$	$1,0 \cdot 10^{-7}$	$4,1 \cdot 10^{-6}$
1983 г.									
0,38	$2,2 \cdot 10^{-5}$	$1,1 \cdot 10^{-5}$	$4,1 \cdot 10^{-6}$	$2,0 \cdot 10^{-6}$	$1,3 \cdot 10^{-6}$				$2,4 \cdot 10^{-5}$
0,26	$1,2 \cdot 10^{-6}$	$4,5 \cdot 10^{-7}$	$2,0 \cdot 10^{-7}$						$9,0 \cdot 10^{-5}$
0,25	$2,3 \cdot 10^{-6}$	$7,9 \cdot 10^{-7}$	$3,9 \cdot 10^{-7}$	$2,1 \cdot 10^{-7}$					$2,4 \cdot 10^{-6}$
0,30	$2,8 \cdot 10^{-6}$	$1,1 \cdot 10^{-6}$	$1,1 \cdot 10^{-6}$	$3,5 \cdot 10^{-7}$	$2,4 \cdot 10^{-7}$	$7,3 \cdot 10^{-8}$	$4,3 \cdot 10^{-8}$	$2,9 \cdot 10^{-8}$	$3,7 \cdot 10^{-6}$
0,33	$8,7 \cdot 10^{-6}$	$3,5 \cdot 10^{-6}$	$1,8 \cdot 10^{-6}$	$1,1 \cdot 10^{-6}$	$6,8 \cdot 10^{-7}$	$3,2 \cdot 10^{-7}$	$1,5 \cdot 10^{-7}$	$9,1 \cdot 10^{-8}$	$9,4 \cdot 10^{-6}$
0,26	$2,7 \cdot 10^{-5}$	$1,3 \cdot 10^{-5}$	$4,2 \cdot 10^{-6}$	$2,2 \cdot 10^{-7}$					$2,3 \cdot 10^{-6}$
1984 г.									
0,22	$2,6 \cdot 10^{-6}$	$9,4 \cdot 10^{-7}$	$7,8 \cdot 10^{-7}$	$2,5 \cdot 10^{-7}$	$1,6 \cdot 10^{-7}$	$6,1 \cdot 10^{-8}$	$3,2 \cdot 10^{-8}$	$2,5 \cdot 10^{-8}$	$3,1 \cdot 10^{-6}$
0,31	$3,0 \cdot 10^{-6}$	$1,2 \cdot 10^{-6}$	$6,0 \cdot 10^{-7}$	$1,4 \cdot 10^{-7}$	$6,0 \cdot 10^{-8}$	$3,9 \cdot 10^{-8}$	$2,5 \cdot 10^{-8}$		$2,8 \cdot 10^{-6}$
0,50	$1,7 \cdot 10^{-5}$	$1,0 \cdot 10^{-6}$	$3,5 \cdot 10^{-6}$	$1,7 \cdot 10^{-6}$	$9,5 \cdot 10^{-7}$	$4,2 \cdot 10^{-7}$	$2,3 \cdot 10^{-7}$	$1,8 \cdot 10^{-7}$	$2,1 \cdot 10^{-5}$
0,60	$3,2 \cdot 10^{-5}$	$2,4 \cdot 10^{-5}$	$1,0 \cdot 10^{-5}$	$2,8 \cdot 10^{-6}$	$1,9 \cdot 10^{-6}$	$9,5 \cdot 10^{-7}$	$4,9 \cdot 10^{-7}$	$4,6 \cdot 10^{-7}$	$4,4 \cdot 10^{-5}$
0,58	$4,0 \cdot 10^{-5}$	$1,7 \cdot 10^{-5}$	$1,0 \cdot 10^{-5}$	$3,4 \cdot 10^{-5}$	$1,7 \cdot 10^{-6}$	$8,8 \cdot 10^{-7}$	$4,7 \cdot 10^{-7}$	$3,7 \cdot 10^{-7}$	$4,8 \cdot 10^{-5}$
0,65	$5,0 \cdot 10^{-5}$	$3,1 \cdot 10^{-5}$	$1,2 \cdot 10^{-5}$	$4,9 \cdot 10^{-6}$	$2,4 \cdot 10^{-6}$	$1,1 \cdot 10^{-6}$	$5,9 \cdot 10^{-7}$	$5,3 \cdot 10^{-7}$	$6,4 \cdot 10^{-5}$
0,55		$1,7 \cdot 10^{-5}$	$4,3 \cdot 10^{-6}$	$1,0 \cdot 10^{-6}$	$9,5 \cdot 10^{-7}$	$4,3 \cdot 10^{-7}$	$1,6 \cdot 10^{-7}$	$1,1 \cdot 10^{-7}$	$2,9 \cdot 10^{-5}$
0,38	$3,1 \cdot 10^{-6}$	$1,2 \cdot 10^{-6}$	$2,4 \cdot 10^{-7}$	$1,8 \cdot 10^{-7}$	$4,7 \cdot 10^{-8}$	$2,6 \cdot 10^{-8}$			$3,2 \cdot 10^{-6}$
0,70	$5,0 \cdot 10^{-5}$	$3,1 \cdot 10^{-5}$	$1,8 \cdot 10^{-5}$	$1,5 \cdot 10^{-5}$	$1,1 \cdot 10^{-5}$	$2,0 \cdot 10^{-6}$	$9,4 \cdot 10^{-7}$	$9,3 \cdot 10^{-7}$	$1,0 \cdot 10^{-4}$
0,69	$6,0 \cdot 10^{-5}$	$3,4 \cdot 10^{-5}$	$2,2 \cdot 10^{-5}$	$1,8 \cdot 10^{-5}$	$1,0 \cdot 10^{-5}$	$2,3 \cdot 10^{-6}$	$1,1 \cdot 10^{-6}$	$8,6 \cdot 10^{-7}$	$1,2 \cdot 10^{-4}$

0,74	$1,3 \cdot 10^{-4}$	$5,0 \cdot 10^{-5}$	$3,6 \cdot 10^{-5}$	$2,6 \cdot 10^{-5}$	$1,3 \cdot 10^{-5}$	$3,8 \cdot 10^{-6}$	$1,8 \cdot 10^{-6}$	$1,5 \cdot 10^{-6}$	$2,0 \cdot 10^{-4}$
0,68	$1,6 \cdot 10^{-4}$	$6,5 \cdot 10^{-5}$	$3,9 \cdot 10^{-5}$	$2,4 \cdot 10^{-5}$	$1,2 \cdot 10^{-5}$	$2,9 \cdot 10^{-6}$	$1,6 \cdot 10^{-6}$	$1,2 \cdot 10^{-6}$	$2,0 \cdot 10^{-4}$
0,71	$1,0 \cdot 10^{-4}$	$5,0 \cdot 10^{-5}$	$3,1 \cdot 10^{-5}$	$2,1 \cdot 10^{-5}$	$1,2 \cdot 10^{-5}$	$3,1 \cdot 10^{-6}$	$1,2 \cdot 10^{-6}$	$1,1 \cdot 10^{-6}$	$1,7 \cdot 10^{-4}$
0,72	$1,4 \cdot 10^{-4}$	$5,0 \cdot 10^{-5}$	$4,5 \cdot 10^{-5}$	$2,2 \cdot 10^{-5}$	$1,1 \cdot 10^{-5}$	$2,7 \cdot 10^{-6}$	$1,2 \cdot 10^{-6}$	$8,5 \cdot 10^{-6}$	$1,9 \cdot 10^{-4}$
0,71	$1,9 \cdot 10^{-2}$	$1,0 \cdot 10^{-2}$	$6,5 \cdot 10^{-3}$	$4,2 \cdot 10^{-3}$	$2,3 \cdot 10^{-4}$	$4,5 \cdot 10^{-4}$	$1,1 \cdot 10^{-5}$	$6,7 \cdot 10^{-5}$	$3,28 \cdot 10^{-2}$
0,72	$2,7 \cdot 10^{-2}$	$1,0 \cdot 10^{-2}$	$9,0 \cdot 10^{-3}$	$4,2 \cdot 10^{-3}$	$2,2 \cdot 10^{-3}$	$4,0 \cdot 10^{-4}$	$1,1 \cdot 10^{-4}$	$5,3 \cdot 10^{-5}$	$4,23 \cdot 10^{-2}$
0,70		$8,8 \cdot 10^{-3}$	$8,7 \cdot 10^{-3}$	$3,6 \cdot 10^{-3}$	$1,7 \cdot 10^{-3}$	$3,1 \cdot 10^{-4}$	$6,3 \cdot 10^{-5}$	$3,8 \cdot 10^{-5}$	$6,60 \cdot 10^{-2}$
0,69		$7,2 \cdot 10^{-3}$	$8,8 \cdot 10^{-3}$	$2,5 \cdot 10^{-3}$	$1,1 \cdot 10^{-3}$	$2,5 \cdot 10^{-4}$	$5,7 \cdot 10^{-5}$	$3,5 \cdot 10^{-5}$	$5,25 \cdot 10^{-2}$

1986 г.

0,30	$2,4 \cdot 10^{-6}$	$6,3 \cdot 10^{-7}$	$5,2 \cdot 10^{-7}$	$2,7 \cdot 10^{-7}$	$2,7 \cdot 10^{-7}$	$1,5 \cdot 10^{-7}$	$1,1 \cdot 10^{-7}$	$6,0 \cdot 10^{-8}$	$5,40 \cdot 10^{-6}$
0,37	$2,7 \cdot 10^{-5}$	$7,2 \cdot 10^{-6}$	$3,7 \cdot 10^{-6}$	$3,7 \cdot 10^{-6}$	$2,0 \cdot 10^{-6}$	$1,0 \cdot 10^{-6}$	$4,4 \cdot 10^{-7}$	$2,4 \cdot 10^{-7}$	$4,60 \cdot 10^{-5}$
0,32	$7,2 \cdot 10^{-6}$	$3,1 \cdot 10^{-6}$	$1,9 \cdot 10^{-6}$	$1,9 \cdot 10^{-6}$	$1,2 \cdot 10^{-6}$	$7,0 \cdot 10^{-7}$	$4,2 \cdot 10^{-7}$	$2,7 \cdot 10^{-7}$	$2,20 \cdot 10^{-5}$
0,24	$4,3 \cdot 10^{-6}$	$2,6 \cdot 10^{-6}$	$1,1 \cdot 10^{-6}$	$1,1 \cdot 10^{-6}$	$7,1 \cdot 10^{-7}$	$3,6 \cdot 10^{-7}$	$1,9 \cdot 10^{-7}$	$1,2 \cdot 10^{-7}$	$1,1 \cdot 10^{-5}$
0,26	$6,9 \cdot 10^{-6}$	$4,8 \cdot 10^{-6}$	$9,1 \cdot 10^{-7}$	$9,1 \cdot 10^{-7}$	$8,4 \cdot 10^{-7}$	$1,8 \cdot 10^{-7}$	$1,1 \cdot 10^{-7}$		$2,60 \cdot 10^{-5}$
0,26	$7,5 \cdot 10^{-6}$	$2,2 \cdot 10^{-6}$	$8,6 \cdot 10^{-7}$	$8,6 \cdot 10^{-7}$	$7,1 \cdot 10^{-7}$	$1,7 \cdot 10^{-7}$	$5,2 \cdot 10^{-8}$		$2,0 \cdot 10^{-5}$
0,27	$1,0 \cdot 10^{-5}$	$6,2 \cdot 10^{-6}$	$1,5 \cdot 10^{-6}$	$1,5 \cdot 10^{-6}$	$1,2 \cdot 10^{-6}$	$4,0 \cdot 10^{-7}$	$1,8 \cdot 10^{-7}$		$2,70 \cdot 10^{-5}$
0,41	$4,9 \cdot 10^{-5}$	$2,6 \cdot 10^{-5}$	$8,5 \cdot 10^{-6}$	$8,5 \cdot 10^{-6}$	$8,4 \cdot 10^{-6}$	$2,1 \cdot 10^{-6}$	$1,1 \cdot 10^{-6}$	$7,4 \cdot 10^{-7}$	$1,15 \cdot 10^{-4}$
0,27	$2,1 \cdot 10^{-6}$	$1,4 \cdot 10^{-6}$	$5,9 \cdot 10^{-7}$	$5,9 \cdot 10^{-7}$	$4,2 \cdot 10^{-7}$	$3,8 \cdot 10^{-7}$	$8,4 \cdot 10^{-8}$	$6,2 \cdot 10^{-8}$	$5,60 \cdot 10^{-6}$
0,28	$3,6 \cdot 10^{-6}$	$1,2 \cdot 10^{-6}$	$9,4 \cdot 10^{-7}$	$9,4 \cdot 10^{-7}$	$7,1 \cdot 10^{-7}$	$5,3 \cdot 10^{-7}$	$1,6 \cdot 10^{-7}$	$1,2 \cdot 10^{-7}$	$1,40 \cdot 10^{-5}$
0,28	$6,0 \cdot 10^{-6}$	$2,3 \cdot 10^{-6}$	$1,6 \cdot 10^{-6}$	$1,6 \cdot 10^{-6}$	$1,5 \cdot 10^{-6}$	$3,5 \cdot 10^{-6}$	$1,7 \cdot 10^{-7}$	$9,4 \cdot 10^{-7}$	$1,36 \cdot 10^{-5}$
0,27	$3,1 \cdot 10^{-6}$	$1,2 \cdot 10^{-6}$	$1,2 \cdot 10^{-6}$	$1,2 \cdot 10^{-6}$	$9,4 \cdot 10^{-7}$	$4,3 \cdot 10^{-7}$	$4,0 \cdot 10^{-7}$	$2,3 \cdot 10^{-7}$	$1,14 \cdot 10^{-5}$
0,29	$1,1 \cdot 10^{-5}$	$7,8 \cdot 10^{-6}$	$1,8 \cdot 10^{-6}$	$1,8 \cdot 10^{-6}$	$1,7 \cdot 10^{-6}$	$4,2 \cdot 10^{-7}$	$2,8 \cdot 10^{-7}$	$1,5 \cdot 10^{-7}$	$2,90 \cdot 10^{-5}$
0,20	$1,0 \cdot 10^{-6}$	$4,8 \cdot 10^{-7}$	$8,1 \cdot 10^{-7}$	$8,1 \cdot 10^{-7}$	$5,4 \cdot 10^{-7}$	$1,5 \cdot 10^{-7}$	$1,1 \cdot 10^{-7}$	$6,2 \cdot 10^{-8}$	
0,28	$6,6 \cdot 10^{-6}$	$2,9 \cdot 10^{-6}$	$1,9 \cdot 10^{-6}$	$1,9 \cdot 10^{-6}$	$1,5 \cdot 10^{-6}$	$5,5 \cdot 10^{-7}$	$3,4 \cdot 10^{-7}$	$3,1 \cdot 10^{-8}$	$2,90 \cdot 10^{-5}$
0,27	$1,0 \cdot 10^{-5}$	$6,5 \cdot 10^{-6}$	$1,3 \cdot 10^{-6}$	$1,3 \cdot 10^{-6}$	$9,4 \cdot 10^{-7}$	$2,8 \cdot 10^{-7}$	$1,1 \cdot 10^{-7}$	$8,7 \cdot 10^{-8}$	$1,50 \cdot 10^{-5}$
0,30	$1,8 \cdot 10^{-5}$	$1,4 \cdot 10^{-5}$	$2,1 \cdot 10^{-6}$	$2,1 \cdot 10^{-6}$	$1,4 \cdot 10^{-6}$	$4,7 \cdot 10^{-7}$	$2,2 \cdot 10^{-7}$	$1,8 \cdot 10^{-7}$	$3,80 \cdot 10^{-5}$
0,36	$3,1 \cdot 10^{-5}$	$2,3 \cdot 10^{-5}$	$2,9 \cdot 10^{-6}$	$2,9 \cdot 10^{-6}$	$2,9 \cdot 10^{-6}$	$7,3 \cdot 10^{-7}$	$2,8 \cdot 10^{-7}$	$2,2 \cdot 10^{-7}$	$9,30 \cdot 10^{-5}$
0,33	$2,5 \cdot 10^{-5}$	$2,2 \cdot 10^{-5}$	$1,9 \cdot 10^{-6}$	$1,9 \cdot 10^{-6}$	$1,9 \cdot 10^{-6}$	$4,7 \cdot 10^{-7}$	$2,2 \cdot 10^{-7}$	$1,8 \cdot 10^{-7}$	$9,30 \cdot 10^{-5}$
0,32	$1,8 \cdot 10^{-5}$	$1,1 \cdot 10^{-5}$	$1,0 \cdot 10^{-6}$	$1,0 \cdot 10^{-6}$	$9,3 \cdot 10^{-7}$	$2,7 \cdot 10^{-7}$	$1,3 \cdot 10^{-7}$	$1,1 \cdot 10^{-7}$	$5,3 \cdot 10^{-6}$

лизом методом водной вытяжки из массы аэрозоля, уловленной пескоуловителями на высотах 0,12; 0,25; 0,5; 1; 2; 4; 9 и 16 м. К сожалению, на высотах более 4 м улавливаемой массы твердой фазы было недостаточно для проведения анализа не только на ионный состав, но иногда и для получения информации о плотном остатке солей в пробах (общее содержание солей в процентах общей массы образца). Лишь в 1984 и 1986 гг. информация о плотном остатке $p(z)$ солей была получена на всех уровнях шестнадцатиметровой мачты.

На рис. 1 показано изменение с высотой содержания солей в составе твердой фазы песчано-солевого аэрозоля, полученное по материалам полевых измерений. Данные измерений за 1982, 1983 и 1986 гг. можно аппроксимировать функцией

$$p(z) = p_{0,1} \left(\frac{z}{z_{0,1}} \right)^\beta. \quad (3)$$

Здесь $p(z)$ — плотный остаток на высоте z , $p_{0,1}$ — плотный остаток на высоте $z_{0,1} = 0,125$ м, β — показатель степени, равный соответственно для 1982 г. 0,41, 1983 г. — 0,18 и 1986 г. — 0,09. Измерения в 1984 г. выполнялись во время очень сильных бурь. Как видно на рис. 1, данные этого года в слое до 2 м не меняются с высотой, т. е. характер зависимости $p(z)$ усложнился. В слое до 2 м

$$p(z) = p_{0,1} = 0,5\%, \quad (4)$$

а выше

$$p(z) = p_2 \left(\frac{z}{2} \right)^{0.69}. \quad (5)$$

где p_2 — значение функции $p(z)$ для $z = 2$ м.

Используя полученные данные о $p(z)$ и результаты измерений твердого расхода песка во время бурь 1982—1986 гг. по формуле (1) были рассчитаны профили твердого расхода солей $q_s(z)$ в приземном слое атмосферы. Полученные профили твердого расхода солей даны в табл. 1. Все профили $q_s(z)$ можно аппроксимировать степенной формулой, аналогичной выражению для профиля твердого расхода песка

$$q(z) = q_1 \left(\frac{z}{z_1} \right)^{-\alpha}, \quad (6)$$

где q_1 — расход песка на фиксированной высоте $z = z_1$, $\alpha = 0,57 \omega_g / u_*$, ω_g — скорость свободного падения в неподвижной атмосфере, u_* — динамическая скорость.

Только показатель степени профилей $q_s(z)$ по абсолютной величине меньше чем α для $q(z)$ при той же динамической скорости. Это указывает на меньшее значение ω_g для солевых частиц. Результаты определения общего расхода солей в приземном слое ат-

мосферы позволяют найти отношение Q_{Sz}/Q_z для всего приземного слоя и его среднее значение для дальнейших климатических оценок объемов выноса солей из района Аральского моря. В 1982 г. среднее значение этого отношения оказалось равным 0,52%, в 1983 г. — 1,42%, в 1984 г. — 0,53% и в 1986 г. — 1,74%. По измерениям всех четырех экспедиций среднее значение содержания солей в составе аэрозоля приземного слоя атмосферы оказалось равным 1,05%. Данные химического анализа водной вытяжки из образцов, уловленных на различных высотах приземного слоя атмосферы, приведены в табл. 2. На рис. 2 показано типичное изменение ионного состава солей по высоте переноса.

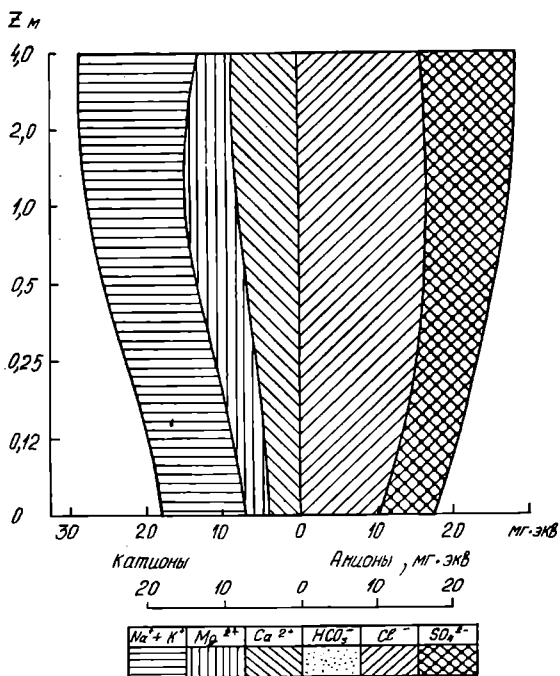


Рис. 2. Профиль солей в составе твердой фазы песчако-солевых бурь 1986 г.

В большинстве солевых профилей наблюдается закономерное увеличение содержания солей с высотой (табл. 2). Лишь солевые профили 1984 г. существенно отличаются от них. Профиль, объединяющий песчано-солевые бури 8, 12—13 июня, имеет повышенную концентрацию солей в приповерхностном слое — до 24 мг·экв на высоте 0,12 м. Иная картина наблюдалась во время бури 15—16 июня. В солевом профиле за 15 июня максимум содержания солей в составе твердой фазы приходится на уровень 0,25 м и равен 26 мг·экв, 16 июня содержание солей в приповерхностном слое уменьшилось до 14 мг·экв и наблюдалось увеличение содержания солей с высотой до 18 мг·экв на уровне 2 м. Та-

Результаты химического анализа $\left(\frac{\%}{\text{мг. экв}} \right)$ водной вытяжки из образцов твердой фазы

Высота, м	CO_3^{2-}	HCO_3^-	Cl^-	SO_4^{2-}	$\text{Na}^+ + \text{K}^+$	Ca^{2+}	Mg^{2+}	$\frac{\text{Cl}}{\text{SO}_4}$	Плотный остаток
8, 12, 13 июня 1984 г.									
0,125	0,001	0,012	0,237	0,216	0,147	0,055	0,031	—	0,70
	0,04	0,20	6,68	4,50	6,12	2,75	2,55	1,48	—
0,125	0,001	0,012	0,299	0,230	0,186	0,055	0,036	—	0,81
	0,04	0,20	8,44	4,80	7,73	2,75	3,00	1,76	—
0,125	0,001	0,013	0,240	0,226	0,160	0,056	0,027	—	0,72
	0,04	0,22	6,76	4,70	6,67	2,80	1,25	1,44	—
0,25		0,016	0,170	0,168	0,111	0,048	0,019	—	0,53
		0,26	4,80	3,50	4,61	2,40	1,55	1,37	—
0,5		0,017	0,206	0,223	0,138	0,059	0,025	—	0,66
		0,28	5,80	4,65	5,73	2,95	2,05	1,25	—
1,2		0,024	0,068	0,288	0,094	0,050	0,021	—	0,53
		0,40	1,95	6,00	4,10	2,50	1,75	0,32	—
2,1		0,021	0,065	0,216	0,016	0,068	0,026	—	0,40
		0,35	1,85	4,50	0,700	3,375	2,125	0,41	—
15 июня 1984 г.									
0,12		0,016	0,195	0,168	0,017	0,054	0,020	—	0,57
		0,26	5,48	3,50	4,89	2,70	1,65	1,56	—
0,25		0,017	0,247	0,269	0,153	0,084	0,027	—	0,80
		0,28	6,96	5,60	6,39	4,20	2,25	1,24	—
1,2		0,018	0,142	0,152	0,052	0,042	0,034	—	0,14
		0,30	4,05	3,166	2,516	2,125	2,875	1,28	—

2,1		<u>0,021</u> 0,35	<u>0,040</u> 1,15	<u>0,256</u> 5,333	<u>0,030</u> 1,333	<u>0,068</u> 3,375	<u>0,025</u> 2,125	<u>—</u> 0,22	<u>0,44</u> —
-----	--	----------------------	----------------------	-----------------------	-----------------------	-----------------------	-----------------------	------------------	------------------

16 июня 1984 г.

0,12		<u>0,017</u> 0,28	<u>0,136</u> 3,80	<u>0,120</u> 2,50	<u>0,086</u> 3,58	<u>0,34</u> 1,70	<u>0,016</u> 1,30	<u>—</u> 1,52	<u>0,40</u> —
0,12		<u>0,018</u> 0,30	<u>0,143</u> 4,04	<u>0,120</u> 2,50	<u>0,093</u> 3,89	<u>0,034</u> 1,70	<u>0,015</u> 1,25	<u>—</u> 1,62	<u>0,42</u> —
0,12	0,001 0,04	<u>0,013</u> 0,22	<u>0,138</u> 3,88	<u>0,118</u> 2,45	<u>0,090</u> 3,74	<u>0,033</u> 1,65	<u>0,115</u> 1,20	<u>—</u> 1,58	<u>0,40</u> —
0,12		<u>0,018</u> 0,30	<u>0,138</u> 3,88	<u>0,134</u> 2,80	<u>0,093</u> 3,88	<u>0,032</u> 1,60	<u>0,018</u> 1,50	<u>—</u> 1,38	<u>0,43</u> —
0,25		<u>0,020</u> 0,32	<u>0,159</u> 4,48	<u>0,144</u> 3,00	<u>0,098</u> 4,10	<u>0,044</u> 2,20	<u>0,018</u> 1,50	<u>—</u> 1,49	<u>0,48</u> —
0,25		<u>0,018</u> 0,30	<u>0,156</u> 4,40	<u>0,154</u> 3,20	<u>0,103</u> 4,30	<u>0,043</u> 2,15	<u>0,018</u> 1,45	<u>—</u> 1,38	<u>0,49</u> —
0,25		<u>0,017</u> 0,28	<u>0,156</u> 4,40	<u>0,156</u> 3,25	<u>0,105</u> 4,38	<u>0,040</u> 2,00	<u>0,019</u> 1,55	<u>—</u> 1,35	<u>0,49</u> —
0,25		<u>0,018</u> 0,30	<u>0,156</u> 4,40	<u>0,137</u> 2,85	<u>0,097</u> 4,05	<u>0,039</u> 1,95	<u>0,019</u> 1,55	<u>—</u> 1,54	<u>0,46</u> —
0,25		<u>0,017</u> 0,28	<u>0,158</u> 4,44	<u>0,142</u> 2,95	<u>0,105</u> 4,37	<u>0,036</u> 1,80	<u>0,018</u> 1,50	<u>—</u> 1,50	<u>0,47</u> —
0,25		<u>0,020</u> 0,32	<u>0,153</u> 4,32	<u>0,134</u> 2,80	<u>0,099</u> 4,14	<u>0,038</u> 1,90	<u>0,017</u> 1,40	<u>—</u> 1,54	<u>0,46</u> —
0,25		<u>0,020</u> 0,32	<u>0,153</u> 4,32	<u>0,139</u> 2,90	<u>0,102</u> 4,24	<u>0,037</u> 1,85	<u>0,018</u> 1,45	<u>—</u> 1,49	<u>0,46</u> —
0,5	0,001 0,04	<u>0,016</u> 0,26	<u>0,159</u> 4,48	<u>0,149</u> 3,10	<u>0,098</u> 4,08	<u>0,049</u> 2,45	<u>0,016</u> 1,35	<u>—</u> 1,44	<u>0,48</u> —
1,2		<u>0,015</u> 0,25	<u>0,130</u> 3,70	<u>0,160</u> 3,333	<u>0,070</u> 3,033	<u>0,042</u> 2,125	<u>0,026</u> 2,125	<u>—</u> 0,81	<u>0,43</u> —

кие вариации солевого профиля связаны, по-видимому, с изменением дисперсного состава солевого аэрозоля за счет его механического разрушения и истирания песком в процессе переноса, и, как следствие, уменьшением содержания крупных частиц солей. Кроме того, в процессе переноса участвуют соли маршевых и приморских солончаков, расположенных вдоль береговой линии на наветренной стороне массива. Они также влияют на содержание солей в профиле. В целом можно отметить уменьшение содержания солей в составе твердой фазы за время бури 15—16 июня примерно на одну треть. В профиле, суммирующем все бури за время экспедиции 1986 г. (рис. 2), содержится значительно больше солей. Содержание их изменяется от 1,5% на высоте 0,25 м до 2% на высоте 16 м. На месте проведения экспедиции 1986 г. наблюдается и повышенное содержание солей в подвижных барханах по сравнению с другими местами наблюдений на этом массиве песков.

Анализ ионного состава солевых профилей 1983—1986 гг. показывает на закономерное уменьшение доли ионов Cl^- и $\text{Na}^+ + \text{K}^+$ и увеличение доли ионов SO_4^{2-} , Ca^{2+} и Mg^{2+} , что говорит о более интенсивном выносе сульфатов с исследуемого массива. Аналогичные данные получены в [2] для песчано-солевых бурь в районе Аральска. Повышенное содержание ионов SO_4^{2-} в аэрозолях в приземном слое атмосферы над высохшим дном моря отмечено также в [1].

Таким образом, можно считать установленным, что приморские солончаки являются одним из основных источников выноса солей с осушенной части дна Аральского моря. Большая часть выносимых солей представлена сульфатами.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Петренчук О. П., Ионин В. А., Нестерова Н. В. Химический состав атмосферных осадков и аэрозолей над акваторией Аральского моря и в некоторых районах Средней Азии // Тр. ГГО. — 1983. — Вып. 467. — С. 117—124.
2. Прогноз формирования почвенного покрова обсыхающего дна Аральского моря / М. Е. Бельгибаев, Т. Ф. Некрасова, Р. Х. Киевская, Н. Ф. Можайцева // Природопользование Северного Казахстана. — Алма-Ата: Кайнар. — 1983. — С. 63—86.
3. Рубанов Н. В., Богданова Н. М. Количественная оценка солевой дефляции на осушающемся дне Аральского моря // Проблемы освоения пустынь. — 1987. — № 3. — С. 9—16.
4. Семенов О. Е. О расчете ветрового выноса песка и солей с осушенной части дна Аральского моря // Научно-технический прогресс в пустыне. — Ашхабад: Ылым. — 1986. — С. 23—25.
5. Schutz L., Jaenicke R., Pietrek H. Saharan dust transport over the North Atlantic Ocean // Geological Society of America. Special Paper 186. — 1981. — P. 87—100.

ВОЗМОЖНОЕ ОБЪЯСНЕНИЕ МЕХАНИЗМА ОБРАЗОВАНИЯ КОНТУРА БАРХАНА

Несмотря на сравнительную редкую возможность образования, одиночные барханы могут существовать. Развиваемые ниже теоретические соображения относятся именно к таким случаям, т. е. одиночный бархан обтекается со всех сторон воздушным потоком.

Будем рассматривать форму бархана, обладающую симметрией относительно продольной оси. Для решения задачи о нахождении закономерностей формы бархана спроектируем характерные линии его тела на некоторую горизонтальную плоскость. В результате получим систему кривых 1, 2, 3. Для выполнения необходимых в дальнейшем математических преобразований введем систему координат XOY , располагая ее так, как показано на рисунке. В силу выдвинутого предположения о симметричности формы бархана относительно продольной оси OX будем решать задачу о нахождении уравнений кривых 1, 2, 3 для верхней половины тела бархана. Однако

удобнее ввести другую систему координат $X_1O_1Y_1$ и все рассуждения проводить в новой системе координат. Связь между координатами дается соотношениями $x_1 = x - d$, $y_1 = y$, причем d — некоторая постоянная. Выделим произвольный отрезок AB на кривой 1. Время, в течение которого частица пройдет путь между двумя любыми близкими точками, равно

$$\Delta t = \frac{\Delta S}{v(x_1, y_1)}, \quad (1)$$

где ΔS — длина пути, $v(x_1, y_1)$ — скорость частицы воздуха.

Переходя к бесконечно малым величинам, получим

$$dt = \frac{dS}{v(x_1, y_1)}, \quad (2)$$

где

$$dS = \sqrt{1 + y_1'^2} dx_1, \quad y_1' = \frac{dy_1}{dx_1} [1].$$

Конкретно все дальнейшие математические построения будем проводить для контура 1, именуемым в дальнейшем внешним.

Полное время, в течение которого частица пройдет путь AB , будет равно

$$T = \int_0^{t_1} dt = \int_{x_{1A}}^{x_{1B}} \frac{dS_{AB}}{v(x_1, y_1)} = \int_{x_{1A}}^{x_{1B}} \frac{\sqrt{1+y_1'^2}}{v(x_1, y_1)} dx_1. \quad (3)$$

Решение задачи о нахождении уравнения для внешнего контура будем искать, предполагая, что время, необходимое для движения материальной частицы по траектории от точки A до точки B должно быть минимальным. В таком виде поставленная задача является задачей вариационного исчисления по отысканию уравнения кривой $y_1(x_1)$ для интеграла T . Для упрощения задачи предположим, что $v(x_1, y_1)$ является функцией переменной y_1 , т. е. $v(y_1)$. В простейшем случае предполагаем существование следующей зависимости:

$$v(y_1) = v_0 + cy_1, \quad (4)$$

где c, v_0 — некоторые постоянные.

Таким образом, имеем следующее выражение:

$$T = \int_{x_{1A}}^{x_{1B}} \frac{\sqrt{1+y_1'^2}}{v_0 + cy_1} dx_1 = \int_{x_{1A}}^{x_{1B}} F(x_1, y_1, y_1') dx_1. \quad (5)$$

Для составления уравнения Эйлера вычисляем следующие соотношения [2]:

$$F_{y_1'} = \frac{1}{v} \frac{y_1'}{\sqrt{1+y_1'^2}}, \quad (6)$$

$$F_{y_1' y_1'} = \frac{1}{v(1+y_1'^2)^{3/2}}, \quad (7)$$

$$F_{y_1} = -\frac{v y_1'}{v^2} \sqrt{1+y_1'^2}, \quad (8)$$

$$F_{y_1 y_1'} = -\frac{v y_1'}{v^2} \frac{y_1'}{\sqrt{1+y_1'^2}}. \quad (9)$$

В соответствии с работой [2] составляем уравнение Эйлера для интеграла (5), используя равенство (6)—(8), преобразуя его, получим

$$y_1'' = -\frac{v y_1'}{v(y_1)} (1+y_1'^2). \quad (10)$$

Используя (4), имеем следующее уравнение:

$$y_1' = - \frac{c}{v_0 + cy_1} (1 + y_1'^2). \quad (11)$$

Последнее уравнение может быть проинтегрировано следующим образом:

$$y_1' y_1 + y_1' \frac{v_0}{c} + y_1'^2 = -1, \quad (12)$$

$$\frac{d}{dx_1} (y_1 y_1') + \frac{v_0}{c} \frac{dy_1'}{dx_1} = -1, \quad (13)$$

$$y_1 y_1' + \frac{v_0}{c} y_1' = -x_1 + \text{const}, \quad (14)$$

$$\frac{1}{2} y_1^2 + \frac{v_0}{c} y_1 = -\frac{1}{2} x_1^2 + x_1 \text{const} + \text{const}_1, \quad (15)$$

$$y_1^2 + \frac{2v_0}{c} y_1 - (2 \text{const}_1 + 2 x_1 \text{const} - x_1^2) = 0, \quad (16)$$

где const , const_1 — постоянные интегрирования.

Из соотношения (16) определяем уравнение линии для контура 1:

$$y_1 = - \frac{v_0}{c} \pm \sqrt{-x_1^2 + 2 x_1 \text{const} + \frac{v_0^2}{c^2} + 2 \text{const}_1}. \quad (17)$$

Введение переменной $y_2 = y_1 + \frac{v_0}{c}$ позволяет увидеть, что соотношение (17) представляет собой уравнение эллипса, так как согласно работе [1] выполняются следующие признаки:

$$\begin{aligned} a &= -1 < 0, \quad \Delta = 4ac' - b^2 = -4 \left(\frac{v_0^2}{c^2} + 2 \text{const}_1 \right) - 4 \text{const}^2 = \\ &= -4 \left(\frac{v_0^2}{c^2} + 2 \text{const}_1 + \text{const}^2 \right) < 0, \quad b = 2 \text{const}, \quad c' = \frac{v_0^2}{c^2} + 2 \text{const}_1. \end{aligned}$$

Возвращаясь к старой системе координат, получим следующее соотношение:

$$y + \frac{v_0}{c} = \sqrt{-(x-d)^2 + 2(x-d) \text{const} + \frac{v_0^2}{c^2} + 2 \text{const}_1}. \quad (18)$$

Экспериментальное подтверждение тому, что внешний контур бархана представляет собой эллипс, находим в [3]. Следовательно, имеется определенное подтверждение исходного допущения о существовании минимального времени движения материальной частицы по траектории.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бронштейн И. Н., Семендяев К. А. Справочник по математике. — М.: Наука. — 1981. — 718 с.
2. Смирнов В. И. Курс высшей математики. Т. IV. — М.: Главиздат. — 1953. — 804 с.
3. Lettau K., Lettau H. Experimental and micrometeorological field studies of dune migration. Exploring the world's driest climate // JES REPORT 101, July, 1978, p. 110—147.

И. Г. ГУРШЕВ

К ВОПРОСУ ТУРБУЛЕНТНОГО РАССЕИВАНИЯ ГАЗОВЫХ ПРИМЕСЕЙ В ПРИЗЕМНОМ СЛОЕ АТМОСФЕРЫ

Оценка времени снижения концентрации вредных газов в городской атмосфере под влиянием ветра является одной из многочисленных задач, посвященных рассмотрению вопросов оздоровления воздушных бассейнов городов. Решение этой задачи сопряжено с рассмотрением вопроса об изменении во времени концентрации вредного газа, для чего воспользуемся следующими уравнениями [1]:

$$\frac{\partial c_1}{\partial t} + u \frac{\partial c_1}{\partial x} + v \frac{\partial c_1}{\partial y} + w \frac{\partial c_1}{\partial z} + k \beta c_1 = \frac{\partial}{\partial x} \left(D_x \frac{\partial c_1}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(D_y \frac{\partial c_1}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(D_z \frac{\partial c_1}{\partial z} \right) + B, \quad (1)$$

где $c_1 = c(x, y, z, t) - c'_0$, $c(x, y, z, t)$ — концентрация вредного вещества; c'_0 — концентрация газов в набегающем воздушном потоке; u, v, w — составляющие вектора скорости ветра соответственно вдоль осей координат Ox, Oy, Oz ; k — безразмерная постоянная с размерностью, обратной времени; D_x, D_y, D_z — коэффициенты турбулентной диффузии; B — выброс массы вредного газа в единицу времени в единицу объема; t — время; x, y, z — координаты.

Необходимо отметить следующее: начало системы координат расположим на границе города, ось Ox ориентируем по направлению воздушного потока, Oy — поперек ветра; Oz — вертикально вверх.

Ход решения рассмотрим на примере одномерного уравнения (1) и при следующих предположениях: $B = B(t)$, $D_x = \text{const}$, $u = u(t)$ для некоторой постоянной высоты.

Вводим в рассмотрение функции

$$c_1 = c_2(x, t) e^{-k \beta t}, \quad c_2 = c_2 - \int_{t_0}^t B(t') e^{k \beta t'} dt', \quad (2)$$

где t' — переменная интегрирования.

Используя (2), находим соотношение

$$\frac{\partial c_2}{\partial t} + u(t) \frac{\partial c_2}{\partial x} = D_x \frac{\partial^2 c_2}{\partial x^2}. \quad (3)$$

Последнее уравнение решается методом разделения переменных с помощью преобразования

$$c_2 = \text{const } \Phi(t) e^{x/d}. \quad (4)$$

Здесь постоянная a имеет размерность длины, т. е. эту величину можно выбрать в качестве характерного размера. Используя эти соображения, получаем равенства

$$\frac{\partial \Phi}{\partial t} + \frac{u}{d} \Phi = \frac{D_x}{d^2} \Phi, \quad (5)$$

$$\Phi = \exp\left(\frac{D_x t}{d^2} - \frac{E}{d} + A\right) = A_1 \exp\left(\frac{D_x t}{d^2} - \frac{E}{d}\right), \quad (6)$$

$$c_2 = A_2 \exp\left(\frac{D_x t}{d^2} - \frac{E}{d} + \frac{x}{d}\right), \quad (7)$$

$$c_2 = A_2 \exp\left(\frac{D_x t}{d^2} - \frac{E}{d} + \frac{x}{d}\right) + \int_{t_0}^t B(t') e^{k\beta t'} dt', \quad (8)$$

$$c_1 = A_2 \exp\left(\frac{D_x t}{d^2} - \frac{E}{d} + \frac{x}{d} - k\beta t\right) + e^{-k\beta t} \int_{t_0}^t B(t') e^{k\beta t'} dt', \quad (9)$$

где приняты следующие обозначения: A — постоянная, $A_1 = e^A$, $A_2 = A_1 \text{ const}$, $E = \int u(t) dt$.

Небольшое упрощение возможно при $u(t) = u_0 = \text{const}$, т. е. $E = u_0 t + A_3$. В этом случае решение (9) имеет вид

$$c_1 = A_4 \exp\left(\frac{D_x t}{d^2} - \frac{u_0 t}{d} + \frac{x}{d} - k\beta t\right) + e^{-k\beta t} \int_{t_0}^t B(t') e^{k\beta t'} dt', \quad (10)$$

где $A_4 = A_2 e^{-A_3/d}$.

Принимая во внимание, что подвижные и неподвижные источники выбросов вредного газа рассредоточены практически по всей территории города, представляется более удобным использование в дальнейших расчетах средней по пространству концентрации газа как характеристики загрязнения атмосферы города. Используя равенство (10), вычислим среднюю концентрацию

$$\begin{aligned} \bar{c}_1 = \frac{1}{d} \int_0^d c_1 dx = A_4 (e - 1) \exp\left(\frac{D_x t}{d^2} - \frac{u_0 t}{d} - k\beta t\right) + \\ + e^{-k\beta t} \int_{t_0}^t B(t') e^{k\beta t'} dt'. \end{aligned} \quad (11)$$

Под d будем понимать характерный размер городской территории. Для определения постоянной A_4 используем начальное условие $t=t_0$, $\bar{c}_1=\bar{c}_{01}$. Окончательно имеем соотношение

$$\bar{c}_1 = \bar{c}_{01} \exp\left(\frac{Dx}{d^2} - \frac{u_0}{d} - k\beta\right)(t-t_0) + e^{-k\beta t} \int_{t_0}^t B(t') e^{k\beta t'} dt' \quad (12)$$

Как известно, ветер при любой скорости способствует снижению концентрации загрязнения приземного слоя городской атмосферы. Предлагается в качестве характеристики очищения атмосферы за счет выноса примесей за пределы воздушного бассейна города брать интервал времени снижения средней концентрации от c_1 до c_2 . Задача об определении интервала времени снижения концентрации вредного газа до определенной может быть решена с помощью соотношения (12). Представим функцию в следующем виде: $B(t') = B_0 f(k\beta t')$, причем $f(k\beta t')$ является безразмерной функцией, характеризующей источник, $B_0 = \text{const}$ имеет размерность $\text{мг}/(\text{м}^3 \cdot \text{с})$. Полагая $t=t_1$, т. е. что уменьшение концентрации происходит за конечный интервал времени, проведем преобразование формулы (12):

$$\begin{aligned} \bar{c}_1 &= \left[\bar{c}_{01} \exp\left(\frac{Dx}{d^2} - \frac{u_0}{d}\right)(t_1-t_0) + \frac{B_0}{k\beta} e^{-k\beta t_0} \int_{t_0}^{t_1} f(u) e^u du \right] e^{-k\beta(t_1-t_0)} = \\ &= \left[\bar{c}_{01} \exp\left(\frac{Dx}{d^2} - \frac{u_0}{d}\right)(t_1-t_0) + \frac{B_0}{k\beta} (F(u)) \Big|_{t_0}^{t_1} \right] e^{-k\beta(t_1-t_0)}, \quad (13) \end{aligned}$$

где $u = k\beta t'$ — безразмерная переменная, F — результат вычисления интеграла.

С помощью этого соотношения определим интервал времени, по истечении которого средняя концентрация станет достаточно малой ($\bar{c}_1 \approx 0$), т. е. происходит за время t_1-t_0 такой воздухообмен над городской территорией, который приводит практически к полному очищению атмосферы от вредного газа. Применяя это условие к соотношению (13), получим

$$\bar{c}_{01} \exp\left(\frac{Dx}{d^2} - \frac{u_0}{d}\right)(t_1-t_0) + \frac{B_0}{k\beta} e^{-k\beta t_0} [F(k\beta t_1) - F(k\beta t_0)] = 0. \quad (14)$$

Условие $e^{-k\beta(t_1-t_0)} = 0$ неудовлетворительно, так как эквивалентно условию $t_1-t_0 \rightarrow \infty$, а интервал времени является конечным. Таким образом, из равенства (14) находим

$$t_1-t_0 \left(1 - \frac{k\beta}{M}\right) = \frac{1}{M} \ln \frac{B_0 N}{\bar{c}_{01} k\beta}, \quad M = \frac{Dx}{d^2} - \frac{u_0}{d}. \quad (15)$$

Здесь $N = F(k\beta t_0) - F(k\beta t_1)$, так как результатом вычисления определенного интеграла является число. В данном случае оно без-

размерно. Характерный размер городской территории может иметь порядок $d \sim 10^4$ м. Зависимость (15) может быть упрощена в случае $D_x/d^2 \sim 10^{-7} \div 10^{-10} \text{ с}^{-1}$, т. е. если $D_x \sim 10 \div 10^{-2} \text{ м}^2/\text{с}$. В этом случае имеем

$$t_1 - t_0 = \frac{dk \beta}{u_0} t_0 + \frac{d}{u_0} \ln \frac{\bar{c}_{01} k \beta}{B_0 N}. \quad (16)$$

Считая, что всегда можно принять $t_0 = 0$, т. е. за начальный момент времени можно условно принять любой произвольный момент времени и от него вести отсчет, получим окончательно

$$t_1 = \frac{d}{u_0} \ln \frac{\bar{c}_{01} k \beta}{B_0 N}. \quad (17)$$

В работе [2] также рассматривался вопрос о ветровом очищении атмосферы города и принималось, что ветер может полностью очистить воздушный бассейн города, если ветровой поток пересекает город из конца в конец. Таким образом, считалось, что время очищения атмосферы пропорционально частному от деления длины города в направлении ветра на время пробега ветра. Этот результат, по существу, содержится в зависимости (17), но его можно получить в более простом виде, разлагая функцию в ряд и ограничиваясь первыми двумя слагаемыми, т. е.

$$\frac{\bar{c}_{01} k \beta}{B_0 N} = e^{u_0 t_1 / d}, \quad \frac{\bar{c}_{01} k \beta}{B_0 N} \approx 1 + \frac{u_0 t_1}{d}, \quad (18)$$

$$t_1 = \frac{d}{u_0} \left(\frac{\bar{c}_{01} k \beta}{B_0 N} - 1 \right) = E_1 \frac{d}{u_0}, \quad (19)$$

где E_1 — безразмерный коэффициент.

С помощью (17) можно провести расчет по порядку величин. В качестве вредного вещества выберем окись углерода и примем $c_{01} \sim 10 \text{ мг}/\text{м}^3$, $u_0 \sim 1 \text{ м}/\text{с}$. Выброс CO в сутки от автотранспорта, как дающего наибольший вклад в загрязнение воздуха, примем порядка 100 т/сут, т. е. секундный выброс CO составит $1,15 \times 10^6 \text{ мг}/\text{с}$. Первоначальный объем V_0 пространства, в который выбрасывается окись углерода, предлагается определить как произведение площади города S_r на высоту выхлопной трубы h автомобиля, что по порядку величин составляет $V_0 \sim 1,6 \cdot 10^8 \text{ м}^2 \times 1 \text{ м} \sim 1,6 \cdot 10^8 \text{ м}^3$, так как автомобили, как источники CO, сравнительно равномерно распределяются по площади города в течение определенного интервала времени. Таким образом, секундный выброс CO в единицу объема составляет

$$B_0 = \frac{1,15 \cdot 10^6}{V_0} = \frac{1,15 \cdot 10^6}{1,6 \cdot 10^8} = 0,72 \cdot 10^{-2} \text{ мг}/(\text{м}^3 \cdot \text{с}).$$

Принимая $N_1 = k\beta/N \sim 1,5 \cdot 10^{-2} \text{ с}^{-1}$ определим интервал времени, в течение которого произойдет снижение концентрации СО практически до нуля

$$t_1 \sim \frac{10}{1} \ln \frac{10 \cdot 1,5 \cdot 10^{-2}}{0,72 \cdot 10^{-2}} = 8,4 \text{ ч.}$$

Из формулы (17) можно получить некоторые следствия, в частности рассмотреть вопрос о влиянии скорости на интервал времени снижения концентрации вредного вещества. Для двух разных скоростей u_0 и u_1 ($u_0 \neq u_1$) имеем зависимость

$$\frac{\bar{c}_{01} k \beta}{B_0 N} = e^{u_0 t_1 / d}, \quad \frac{\bar{c}_{01} k \beta}{B_0 N} = e^{u_1 t_2 / d}. \quad (20)$$

Отсюда получаем

$$1 = e^{(u_0 t_1 / d) - (u_1 t_2 / d)}, \quad (21)$$

$$u_0 t_1 - u_1 t_2 = 0, \quad \frac{u_0}{u_1} = \frac{t_2}{t_1}. \quad (22)$$

Если $u_1 = u_0/n$ и $n > 1$, т. е. происходит уменьшение скорости ветра, то увеличивается время снижения концентрации газа и наоборот при $n < 1$. С помощью зависимости (17) можно получить следующий вывод: при изменении характерного размера города, по направлению господствующего ветра, в несколько раз и прочих равных условиях время наступления близкой к нулю концентрации газа увеличивается во столько же раз.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Гуршев И. Г. Некоторые случаи решения уравнения турбулентной диффузии // Тр. КазНИГМИ. — 1988. Вып. 102. — С. 95—105.
2. Гельмгольц Н. Ф., Нурумов С. Ж. О некоторых закономерностях ветрового самоочищения атмосферы // Тр. КазНИГМИ. — 1978. — Вып. 64. — С. 9—16.

В. Г. ДЕЯЧЕВА, Г. Ю. БЕРЕЗКИНА,
Е. А. ТИХОНОВА

ОБ ОБЪЕКТИВНОЙ КЛАССИФИКАЦИИ СОДЕРЖАНИЯ ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ В ПОЧВЕ В РАЙОНЕ ЭКИБАСТУЗСКОГО ТОПЛИВНО-ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО КОМПЛЕКСА

В последнее десятилетие значительно возрос интерес к задачам распознавания образов. Задача распознавания образов заключается в классификации некоторой группы объектов на основе определенных требований. Причем объекты, относимые к одному классу образов, должны обладать общими свойствами. Основные

результаты работ по проблеме распознавания образов получили широкое применение в различных областях исследований, включая метеорологию.

В данной статье сделана попытка применения методов объективной классификации для типизации содержания тяжелых металлов в почве. Для объективной типизации содержания тяжелых металлов в почве был применен алгоритм Б. А. Головкина [2]. Данный алгоритм позволяет выделить наиболее типичные (эталонные) объекты, характеризующие классы, однозначно распределить все объекты по классам и оптимальным образом с помощью специального критерия оценить само количество классов.

Алгоритм задачи классификации Головкина состоит в следующем. Имеется множество G объектов x_i ($i=1, \dots, n$), которое требуется разбить на k непустых подмножеств. Между каждой парой объектов x_i и x_j определена степень близости S_{ij} . В каждом подмножестве выделяется эталонный объект, сумма значений близости между которым и остальными объектами данного подмножества минимальна.

Разбиение на k подмножеств можно характеризовать суммой S_{ij} между каждым объектом x_i ($i=1, \dots, n$) и эталоном того класса, в который входит данный объект, т. е. суммой $F(k)$ из k чисел, каждое из которых представляет сумму S_{ij} между всеми объектами какого-либо подмножества и эталонным объектом этого подмножества [2]:

$$F(k) = \sum_{i \in P} \sum_{j \in Q_i} S_{ij}. \quad (1)$$

Здесь p — множество индексов эталонных объектов, Q_i — множество индексов объектов, входящих в подмножество с эталонным объектом x_i , $i \in p$.

С уменьшением $F(k)$ количество разбиения повышается, происходит объединение объектов с малыми S_{ij} и распределение по разным подмножествам объектов с большими S_{ij} . Наилучшим считается разбиение множества объектов x_i на k классов, для которого минимально значение [2]:

$$F(k) \min = \min F(k). \quad (2)$$

Простота показателя $F(k)$ и его линейный характер позволяют строить эффективные вычислительные схемы решения задачи для больших n и различных k .

В основу приближенного рекуррентного алгоритма решения задачи минимизации $F(k)$ в [2] положена процедура отыскания наилучших наборов эталонных объектов. Исходным является весь набор объектов, из числа которых отбираются k объектов, определяющих итоговое разбиение множества n объектов $x_i \in G$ на k подмножеств. В качестве исходной совокупности служили данные по концентрации десяти тяжелых металлов по девяти станциям Казахстана.

Здесь приводятся данные только по Экибастузскому топливно-энергетическому комплексу (ЭТЭК), предмету исследований. Для оценки загрязнения почв региона ЭТЭК были использованы материалы по содержанию тяжелых металлов в поверхностном слое почвы (0—5 см). Замеры проводились в северо-восточном направлении преобладающих ветров (юго-западное) и западном направлениях от Экибастуза (начальная точка отбора проб находилась в 12—16 км от ГРЭС-1) на расстоянии до 50 км с интервалом в 1 км.

Фоновые значения концентрации тяжелых металлов в почве для района ЭТЭК были получены при осреднении проб, взятых на станции фонового мониторинга Баян-Аул (в 80 км южнее Экибастуза), и проб, взятых на расстоянии 50 км западнее и северо-восточнее Экибастуза.

Район исследования в основном имеет равнинный характер. Почвы представляют собой южные малогумусные черноземы и каштановые почвы. Каждая реализация описывалась вектором из девяти чисел $x = \{x_1, x_2, \dots, x_9\}$. В качестве меры близости S_{ij} между полями x_i и x_j использовалось евклидово расстояние вида

$$S_{ij} = \sqrt{\sum_{\alpha=1}^9 (x_{i\alpha} - x_{j\alpha})^2}. \quad (3)$$

Для реализации алгоритма Б. А. Головкина на ЭВМ серии ЕС использовалась программа, составленная в Гидрометцентре СССР А. А. Бурцевым. В результате численных экспериментов для ЭТЭК для восьми элементов было выделено по два класса, исключая никель (три класса) и ванадий (шесть классов). Известно, что признаком успешной классификации является уменьшение внутриклассовой дисперсии по сравнению с общей дисперсией. Чем лучше качество классификации, тем это отношение будет меньше единицы. В данном случае отношение составило 0,45—0,56, что указывает на приемлемость проведенной классификации. Для всех элементов для всех классов оказалось характерным, что их концентрации близки к фоновым или чуть превышают. Однако для никеля выделены три класса, где концентрации в северо-восточном направлении превышают фоновые более чем в 1,5 раза, а в юго-западном направлении — лишь в 1,2 раза (таблица). Далее в радиусе 15 км формируется поле второго класса, где концентрации в северо-восточном направлении в 1,2 раза, а в юго-западном в 1,1 раза выше фона. Поле третьего класса характеризуется убыванием концентрации до значений фоновых после 16 км, что характерно для обоих направлений (таблица).

Такое распределение никеля и выделение классов объясняется рядом факторов. В выбросах ГРЭС, как известно [1], рассеяние металлов следует закономерностям рассеяния пыли или лучей зо-лы. При этом по мере удаления от источника пыли средние размеры выпадающих частиц уменьшаются. Крупные частицы поступают на поверхность, главным образом, в виде сухих выпадений.

Типовые классы загрязнения тяжелыми металлами почвы

Элемент	Плотность, г/см	Фоновая концентрация, млн. ⁻¹	Класс	Эталон, км	Средняя концентрация для определенных направлений, млн. ⁻¹	
					СВ	ЮЗ
Ni	8,9	28	1	4	45	34
			2	15	35	30
			3	16	30	22
Co	8,8	23	1	11	26	24
			2	26	22	23
Pb	11,4	20 (ПДК)	1	9	26	26
			2	29	26	21
Mn	7,4					24
Cu	8,9	20	1	12		24
			2	25		24
Mo	10,2	1,7	1	7	2,0	
			2	9	2,0	
			3	19	2,0	
Zn	7,2	49	1	18	50	
			2	28	49	
Cr	7,2	10,2	1	4	10,4	
			2	23	10,1	
			3	27	10,1	
Sn	7,3	3,2	1	4	3,3	
			2	19	3,4	

Поэтому можно предположить, что отличающаяся от других элементов изменчивость никеля связана с большей долей сухих выпадений в ближней зоне. Следует отметить, что никель характеризуется наибольшей скоростью сухого осаждения [1], которая составляет более 1,1 см/с. Содержание никеля наблюдается в выбросах ТЭС и ГРЭС-1, так как никель ($5,8 \cdot 10^{-3}\%$) [1] содержится в пылевых выбросах топливно-энергетических предприятий, использующих уголь в качестве топлива.

В среднем время пребывания антропогенных и природных веществ в атмосфере зависит от высоты первоначального выброса и физико-химических свойств. Как правило, время пребывания растет с увеличением высоты выброса и дисперсности аэрозольных частиц. Таким образом, чем меньше размеры частиц, тем дольше они могут присутствовать в атмосфере и тем дальше они могут переноситься ветровым потоком.

Для свинца характерны два класса полей, где концентрации не отличаются для выбранных направлений. Это объясняется тем, что выбросы свинца в основном обусловлены автотранспортом (передвижение автотранспорта осуществляется по обоим направлениям). Концентрации в пределах 15 км, где наблюдается основное движение автотранспорта, в 0,1 выше фона. Далее концентрации в поле второго класса уменьшаются до фоновых значений (таблица).

Следует отметить, что для концентраций ближних зон характерны неоднородности, формируемые ветровым переносом и отличием размеров частиц.

Таким образом, загрязнение почвы приводит к нарушению соотношений концентраций элементов в окружающей среде, а это, в свою очередь, приводит к нарушению биохимических процессов в отдельных живых организмах и в биосфере в целом.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Василенко В. Н., Назаров И. М., Фридман Ш. Д. Мониторинг загрязнения снежного покрова. — Л.: Гидрометеонадат. — 1985. — 182 с.
2. Головкин Б. А. Машинное распознавание и линейное программирование. — М.: Сов. радио. — 1973. — 99 с.

В. И. ДЕГТЯРЕВ

ПРЕДВАРИТЕЛЬНАЯ ОЦЕНКА АНТРОПОГЕННЫХ ИЗМЕНЕНИЙ МЕЗОКЛИМАТА РЕГИОНА ЭКИБАСТУЗСКОГО ТОПЛИВНО- ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО КОМПЛЕКСА (ЭТЭК)

Масштабы развития энергетики в территориально-производственном комплексе Павлодара—Экибастуза весьма перспективны, что несет в себе большую экологическую нагрузку на атмосферу и природную среду в целом всего региона. Для определения возможного антропогенного воздействия загрязнения на мезоклимат в данный период были подробно проанализированы материалы 18 метеостанций и 4 постов Павлодарской области за 1961—1981 гг., а также материалы спутниковой информации.

Дальние атмосферные переносы дыма от ГРЭС-1, если они имеют протяженность более 50 км, можно проследить по инфракрасным и телевизионным снимкам со спутников NOAA—6,7 и «Метеор». Были просмотрены все негативы снимков масштаба 1 : 2 000 000 Казахстана за 1981—1982 гг. На негативах изображений очертаний земной поверхности и полей облачности более четкие, чем на снимках, что позволяет в ясную погоду в районе ЭТЭКа проследить наличие шлейфов дыма. Обнаружено, что за этот период имело место 27 шлейфов дыма, из них 20 случаев наблюдалось в 1981 г. Дальность их переноса в 11 случаях достигала 100 км, в четырех — 160 км, из них два шлейфа в августе 1981 г. перекрывали г. Павлодар и два проходили севернее.

Подтверждением этому служит и высокая повторяемость (77 дней в году) скоростей ветра равных и более 15 м/с, свидетельствующих о том, что в районе ЭТЭКа возможны регулярные переносы аэрозольных частиц на большие расстояния от места эмиссии.

Это служит прямым подтверждением, что воздействие загрязнений на атмосферу уже не носит локальный характер, а переросло в региональный. Следовательно, все процессы, происходящие в пограничном слое атмосферы, перестали носить только микроклиматический характер, а перерастают в мезоклиматические, что неизбежно должно проявиться и на изменении параметров мезоклимата. Рассмотрим некоторые из них на примере температуры и влажности воздуха, тумана и дымки.

Годовое распределение температуры воздуха в районе Экибастуза отвечает условиями резкой континентальности климата. Лето короткое, но довольно жаркое, средние месячные температуры воздуха составляют 18,1 ... 21,6°C с повышением в отдельные дни до 40,6°C. Зима холодная со средними месячными температурами от -12,3 до -15,3°C, с понижением в отдельные дни до -41,8°C (таблица). При изучении распределения по площади средней многолетней температуры воздуха обнаруживается, что она равномерно понижается с юго-запада на северо-восток с небольшим повышением (0,3°C) в районе Экибастуза. Некоторое повышение в этом районе дает и максимальная температура (0,3°C), но наибо-

Годовое распределение температуры и влажности воздуха по данным метеостанции Экибастуз

Месяц	Температура воздуха, °С					Влажность воздуха		
	средняя	максимальная	минимальная	абс. максимум	абс. минимум	упругость, гПа	относительная влажность, %	
							средняя	минимальная
I	-15,2	-10,7	-19,9	5,1	-41,7	1,7	77	51
II	-15,3	-9,6	-19,8	5,1	-40,2	1,8	79	50
III	-6,9	-1,8	-11,4	15,1	-37,0	3,3	80	34
IV	5,6	12,0	-0,1	32,5	-23,6	3,8	60	14
V	14,6	21,1	8,4	39,1	-7,2	7,2	48	10
VI	20,3	27,2	13,3	40,6	-1,3	11,1	48	10
VII	21,6	28,2	15,5	39,5	6,1	13,1	53	17
VIII	18,1	24,4	12,2	38,1	1,2	11,3	57	16
IX	12,0	19,1	6,8	34,9	-5,8	8,0	57	15
X	3,5	8,0	-0,9	27,3	-17,7	5,4	69	18
XI	-5,4	-0,3	-8,8	23,9	-38,2	3,5	76	32
XII	-12,3	-6,4	-16,4	7,4	-41,8	2,2	78	45
Год	3,3	9,2	-1,8	40,6	-41,8	6,0	65	26

лее ощутимое влияние ЭТЭКа проявляется на максимальной температуре. На изотермах минимальной температуры воздуха выпуклость в северо-восточном направлении возникает с повышением температуры до $1,4^{\circ}\text{C}$. Здесь отмечается и уменьшение средних суточных амплитуд температуры воздуха до $1,5^{\circ}\text{C}$ (рис. 1).

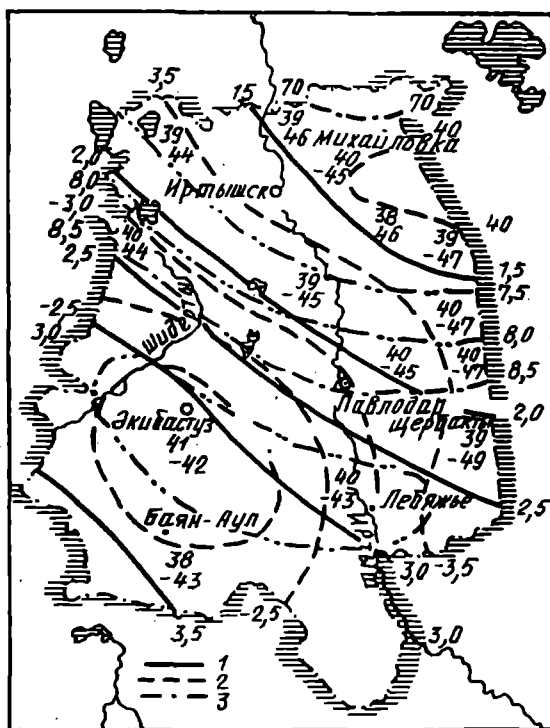


Рис. 1. Поле средней многолетней (1), минимальной (2), максимальной (3) температур воздуха

В таблице и на рис. 2 представлены также материалы по влажности воздуха. Средняя многолетняя упругость водяного пара в районе Экибастуза составляет $6,0$ гПа с минимумом в январе ($1,7$ гПа) и максимумом ($13,1$ гПа) в июле, а относительная влажность воздуха в течение всего холодного периода (ноябрь—март) превышает 70% (таблица). Изучение распределения по площади средней многолетней упругости водяного пара показывает, что она изменяется очень мало и составляет $5,7$ — $6,4$ га с небольшими локальными отклонениями. Относительная влажность закономерно увеличивается в направлении с юга на север от 65 до 71% , за исключением данных метеостанции Баян-Аул, расположенной в горной долине и несколько обособленной местными условиями. Наибольший интерес представляет относительная влажность, равная и более 80% , способствующая образованию тумана и дымки. Ее повторяемость увеличивается на север и достигает максимума 100 дней в год в лесостепной зоне. Некоторое увели-

чение числа дней с влажностью равной и более 80% и значительное увеличение числа дней (порядка 10) с влажностью равной и менее 30% наблюдается в районе Экибастуза (рис. 2).

В результате загрязнения воздушных бассейнов больших городов и промышленных комплексов происходит значительное увеличение повторяемости туманов и дымки, несмотря на понижение

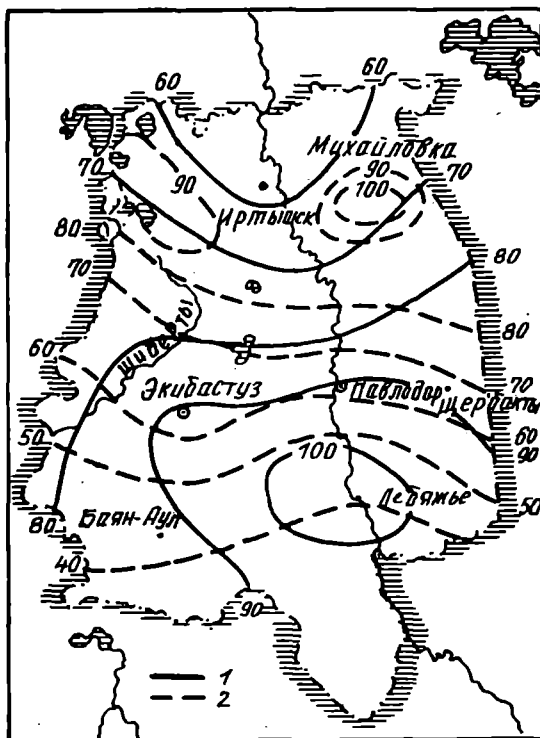


Рис. 2. Распределение среднего многолетнего числа дней с относительной влажностью равной и менее 30% (1), равной и более 80% (2)

относительной влажности и повышение температуры воздуха в них [2]. За рассматриваемый период на гидрометеорологической сети станций во время производства наблюдений за туманами, в силу сложности процесса туманообразования, четкого разграничения смоги туманами и смогами не производилось. Поэтому выделить смогу в самостоятельный ряд наблюдений довольно трудно. Но факт их присутствия в городах Казахстана неоспорим и также выражается в увеличении повторяемости туманов на 20—30 дней в год [1].

В районе же Экибастуза, в силу его малых размеров, значительного увеличения средней многолетней повторяемости туманов на данном этапе развития не происходит. По всей Павлодарской области повторяемость числа дней с туманом распределяется рав-

номерно с постепенным увеличением с 10 до 20 дней с юго-запада на северо-восток (рис. 3). Происходит это, по-видимому, из-за высоких скоростей ветра в этом регионе.

В течение года число дней с туманом распределяется неравномерно, достигая максимума (10—15 дней) в зимние месяцы и минимума в летние (0—5 дней). В некоторых пунктах с мая по сен-

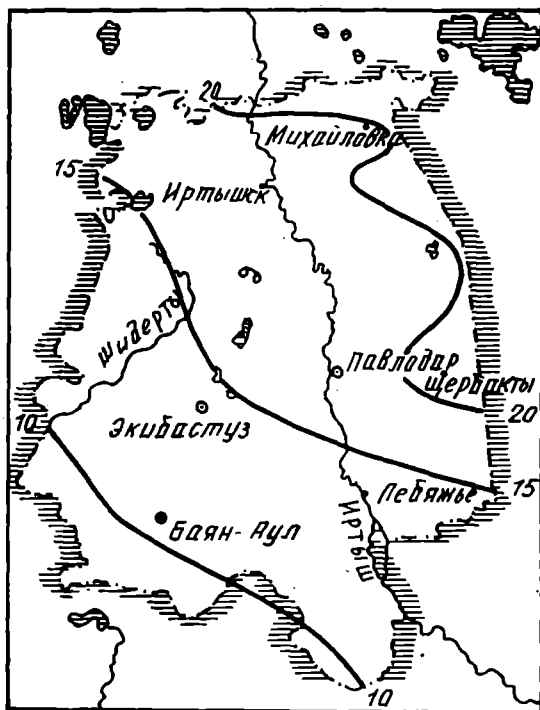


Рис. 3. Распределение среднего многолетнего числа дней с туманом

тябрь туманы вообще отсутствуют. В суточном ходе повторяемость туманов достигает максимума с 3 до 6 ч, а минимума — с 11 до 14 ч. Число дней с дымкой в отличие от числа дней с туманом в Экибастузе и подфакельной зоне ГРЭС-1 увеличивается. Увеличение числа дней с дымкой происходит в восточном и северо-восточном направлениях и составляет порядка 10 дней (рис. 4). Увеличение числа дней с дымкой на севере и юго-востоке Павлодарской области объясняется влиянием особенностей в размещении промышленных объектов в этих районах.

Значительные изменения в метеорологических параметрах под влиянием выбросов тепла, влаги и загрязняющих веществ следует ожидать после введения в строй выше четырех ГРЭС, с объемом выработки электроэнергии 16 млн. кВт. Оценить эти изменения представляется возможным только спустя некоторое время после начала эксплуатации всех ГРЭС.

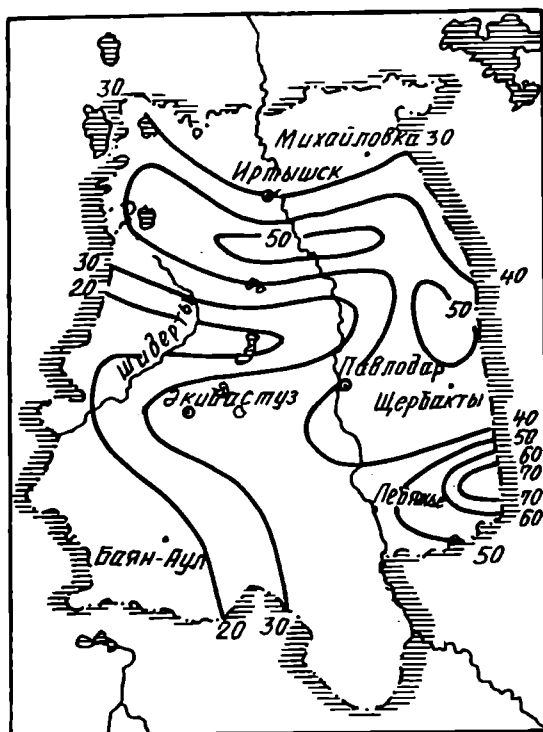


Рис. 4. Распределение среднего многолетнего числа дней с дымкой

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Дегтярев В. И. О количественной оценке загрязнения воздушного бассейна города серной кислотой и возможности ее предсказания // Тр. КазНИИ Госкомгидромета. — 1982. — Вып. 83. — С. 91—95.
2. Чебаченко В. Б. Роль промышленных туманов в загрязнении атмосферы и их влияние на микроклимат района // Тр. ЗСРНИГМИ. — 1977. — Вып. 33. — С. 109—114.

С. С. АЛДАБЕРГЕНОВ, В. И. ДЕГТЯРЕВ

О ДИНАМИКЕ НОЧНОГО ПЕРЕНОСА ЗАГРЯЗНЕННОЙ ВОЗДУШНОЙ МАССЫ В АЛМА-АТЕ

Проблема загрязнения воздушного бассейна городов и промышленных комплексов ставит ряд задач по исследованию роли климатических факторов в формировании высоких уровней концентрации вредных веществ в воздухе. Одним из факторов, влияющих на скорость очищения воздушных бассейнов городов и промышленных комплексов от вредных веществ являются выносы ветром загрязненной воздушной массы за пределы их территории.

Отличительной особенностью Алма-Аты является ее высокая защищенность горами и очень слабые воздушные переносы в этой предгорной зоне [1—4]. В связи с этим рассмотрим подробнее режим ветра. Для этого используем материалы наблюдений за ветром по городской станции Алма-Ата, ГМО и станций Верхний Горельник, Усть-Горельник — в ущелье р. Малая Алматинка и Большое Алма-Атинское озеро — в ущелье р. Большая Алматинка за период наблюдений с 1936 по 1965 г. и с 1966 по 1980 г. с целью проследить за возможными изменениями в режиме скоростей ветра в связи с ростом и развитием города. Для оценки ночных переносов загрязненного воздуха привлечены материалы экспедиционных работ в октябре и декабре 1987 г. Приводимые ниже данные наблюдений являются в определенной мере продолжением работ [1, 4].

Скорости ветра на северных склонах гор и в предгорье слабые, испытывают незначительные колебания в многолетнем ходе и на ст. Алма-Ата, ГМО за тридцатилетний период (1936—1965 гг.) составляют: средняя за год 1,7 м/с, с максимумами 2,2 м/с в июне, июле, августе и с минимумами 1,1 м/с в декабре, январе. На горных станциях (Верхний Горельник, Усть-Горельник, Большое Алма-Атинское озеро) скорости ветра в среднем многолетнем практически одинаковые, но с более ровным годовым ходом. За последние пятнадцать лет (1965—1980 гг.) скорости ветра в ущельях рек Малой и Большой Алматинки не изменились, чего нельзя сказать о городе. По данным ст. Алма-Ата, ГМО скорость ветра за последние пятнадцать лет уменьшилась в среднем многолетнем на 0,2 м/с, по нашему мнению, за счет строительства плотины на Медео и интенсивной застройки южной части города, что вызвало увеличение сопротивления подстилающей поверхности и ослабление воздушного потока с гор (табл. 1).

В табл. 2 представлены материалы по распределению многолетних скоростей ветра ст. Алма-Ата, ГМО по градациям. Повторяемость скоростей с градацией 0—1 м/с за тридцатилетний период составляет в среднем за год 59%, с максимумом 77% в январе. В летний период, по сравнению с зимним, увеличивается повторяемость скоростей с градацией 2—3 м/с и достигает 37% в сентябре. За последние пятнадцать лет повторяемость скоростей с градацией 0—1 м/с увеличилась на 15% и составляет в среднем за год 74%, с максимумом 88% в декабре и минимумом 57% в июне.

В городе в течение всего года преобладают южные направления ветра и за тридцатилетний период юго-восточные, южные и юго-западные в среднем за год составляют 35, 15, 11% соответственно, в летний период повторяемость ветра с гор увеличивается и достигает максимума 51% в сентябре при юго-восточном направлении. Повторяемость штилей за этот период составляет в среднем многолетнем 21%, с максимумом 34% в январе и минимумом 12% в августе, сентябре. За последние пятнадцать лет в повторяемости направлений ветра по румбам заметны изменения. Про-

Таблица 1

Средняя месячная и годовая скорость ветра, м/с

Станция	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Год
1936—1965 гг.													
Алма-Ата, ГМО	1,1	1,2	1,5	1,9	2,1	2,2	2,2	2,2	2,1	1,7	1,2	1,1	1,7
Верхний Горельник	1,8	1,8	1,8	1,9	2,0	1,9	2,0	2,2	2,1	1,9	1,8	1,9	1,9
Усть-Горельник	1,6	1,7	1,7	1,7	1,9	1,9	1,9	1,8	1,8	1,7	1,6	1,6	1,7
Большое Алма-Атинское озеро	1,9	1,8	2,0	1,6	1,5	1,5	1,5	1,5	1,6	1,8	1,9	1,8	1,7
1966—1980 гг.													
Алма-Ата, ГМО	1,0	1,1	1,3	1,7	1,8	2,0	1,9	1,9	1,8	1,5	1,1	1,0	1,5
Верхний Горельник	1,7	1,7	1,7	1,7	1,8	1,9	1,9	2,0	1,9	1,8	1,7	1,9	1,8
Усть-Горельник	1,5	1,6	1,6	1,7	1,9	1,9	1,9	1,8	1,8	1,7	1,6	1,6	1,7
Большое Алма-Атинское озеро	1,8	1,7	1,8	1,5	1,5	1,7	1,6	1,5	1,6	1,7	1,8	1,7	1,7

Таблица 2

Повторяемость (%) различных градаций скорости ветра

Скорость ветра, м/с	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Год
1936—1965 гг.													
0—1	76,7	73,3	64,5	52,8	51,0	49,5	46,8	44,8	46,2	58,9	72,3	75,6	59,2
2—3	18,8	22,3	27,7	33,4	31,6	31,3	34,5	36,3	36,7	30,7	22,7	20,1	28,9
4—5	3,7	3,8	6,2	10,9	12,5	14,3	14,5	15,0	14,2	8,5	4,0	3,5	9,3
1966—1980 гг.													
0—1	86,3	83,8	77,3	66,7	61,6	57,3	60,5	63,6	70,5	80,5	87,4	88,3	73,7
2—3	12,9	15,0	21,4	30,1	34,7	38,0	36,3	34,0	27,5	18,3	11,9	10,2	24,2
4—5	0,7	1,1	1,2	2,8	3,3	4,0	2,9	2,1	1,8	1,1	0,7	0,4	1,8

изошло снижение повторяемости ветра южных румбов (ЮВ, Ю, ЮЗ) в среднем на 7%, которые сейчас составляют 14, 29, 11% соответственно. Повторяемость штилей за эти годы увеличилась в среднем многолетнем на 5%, особо заметное увеличение штилей на 10—13% произошло в зимние месяцы. Объясняется это теми же возможными причинами — строительство плотины в Медео и увеличение высоты и плотности застройки в южной части города (табл. 3).

Таблица 3

Повторяемость (%) направления ветра и штилей

Месяц	С	СВ	В	ЮВ	Ю	ЮЗ	З	СЗ	Штиль
1936—1965 гг.									
I	9	12	7	23	16	20	7	6	34
II	10	12	5	21	16	17	10	9	30
III	9	15	4	25	15	15	9	8	22
IV	10	16	4	27	16	10	9	8	18
V	9	15	6	31	15	10	8	6	17
VI	6	12	6	39	17	8	7	5	15
VII	5	11	6	45	17	8	4	4	13
VIII	6	9	6	48	14	7	5	5	12
IX	8	9	6	51	11	5	4	6	12
X	9	12	6	44	12	6	5	6	17
XI	10	13	6	29	15	13	7	7	29
XII	9	12	7	23	17	18	7	7	23
Год	18	12	6	35	15	11	7	6	21
1966—1980 гг.									
I	19	8	5	9	24	13	13	9	45
II	18	9	5	9	20	11	15	13	43
III	16	10	7	9	22	11	14	11	29
IV	14	10	6	13	27	9	12	9	19
V	18	8	6	14	32	11	10	7	17
VI	12	7	6	15	35	10	8	7	13
VII	10	8	6	16	36	11	7	6	12
VIII	12	8	6	16	35	10	7	6	12
IX	14	7	6	18	33	8	7	7	14
X	14	8	6	19	30	8	8	7	25
XI	13	8	6	15	29	11	10	8	34
XII	15	7	6	12	24	14	13	9	43
Год	14	8	6	14	29	11	10	8	26

Таблица 4

Повторяемость (%) горно-долинной циркуляции

I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Год
1936—1965 гг.												
40	47	51	67	70	77	60	73	81	69	51	42	60
1966—1980 гг.												
57	57	63	67	67	68	70	77	77	66	61	51	64

Вклад горно-долинной циркуляции в ресурсы ветра за последние годы (1966—1980 гг.) увеличился на 4%, что хорошо прослеживается по материалам ее повторяемости (табл. 4). Если за тридцатилетний период повторяемость составляла в среднем многолетнем 60%, с максимумом 81% в сентябре и минимумом 40% в январе, то за 1966—1980 гг. — 64, 77, 51% соответственно.

Таблица 5

Время (ч) самоочищения воздушного бассейна Алма-Аты при различных направлениях и скоростях ветра

Направление ветра	Длина секущей, км	Скорость ветра, м/с			
		0,5	1	1,5	2
ЮЗ, СВ	37	12,3	6,1	4,1	3,0
ЮВ, СЗ	20	6,6	3,3	2,2	1,6
Ю, С	57	19,0	9,5	6,3	4,7
З, В	40	13,3	6,6	4,4	3,3

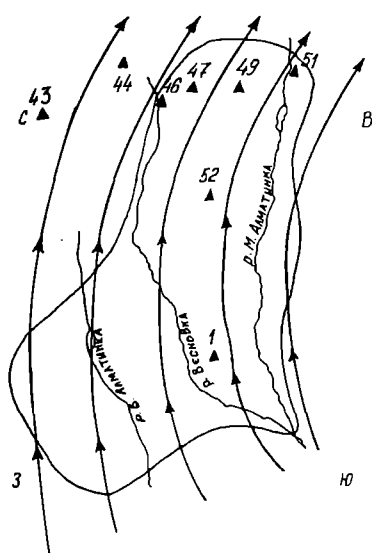


Рис. 1. Схема расположения постов наблюдений и линий токов горного ветра

Высокая повторяемость горно-долинного ветра имеет определяющее значение для вентиляции города.

Время самоочищения атмосферы города Алма-Аты можно рассчитать, используя представленные материалы по ветру (табл. 5). Оно определено для различных скоростей ветра, типичных для Алма-Аты, с учетом ветрового коэффициента для четырехэтажной застройки равного 0,6, полученного по материалам работы [4].

Для выявления переноса загрязненной воздушной массы в Алма-Ате ветром с год в ночное время (с 18 до 05 ч) нами проведены измерения с 20 по 23 октября 1987 г. и комплексный эксперимент с 30 ноября по 4 декабря 1987 г. Наряду с наземными на-

блюдениями в этот же период проводилось самолетное зондирование воздушного бассейна с отбором проб воздуха для определения содержания углерода на различных высотах. В городе отбор проб воздуха на окись углерода у земли на высоте 1,5 м выполнялся в 24 пунктах, а в гостинице «Казахстан» по высоте на уровнях 1,5; 10; 25; 50; 75 м с круглосуточным отбором проб воздуха

днем через 1 ч и ночью через 30 мин. Одновременно с отбором проб воздуха в ночное время проводились микроклиматические наблюдения на постах 1, 43, 44, 46, 47, 51, 52 и на одном (пост 51) градиентные наблюдения за температурой, влажностью воздуха и скоростью ветра (рис. 1). Пост 1 — метеорологическая площадка ст. Алма-Ата, ГМО; пост 43 — метеорологическая площадка аэропорта Бурундай, АМСГ, 25 км северо-западнее Алма-Аты; пост 44 — площадка на северо-западной окраине поселка Каянкус; пост 46 — площадка на территории детского сада поселка «Пятилетка Турксиба»; пост 47 — школьный двор поселка «Вторая пятилетка Турксиба»; пост 51 — открытый участок на западной окраине поселка Красное Поле в районе аэропорта Алма-Аты; пост 52 асфальтированная площадка перед кинотеатром «Шугла» (Алма-Ата). Посты 43, 44, 46, 47, 51 входят в широтный разрез северной части Алма-Аты (рис. 1).

Во время проведения экспериментов преобладал антициклональный тип погод. В осеннем эксперименте первые две ночи были ясными, с появлением небольшой облачности 22 октября 1987 г.

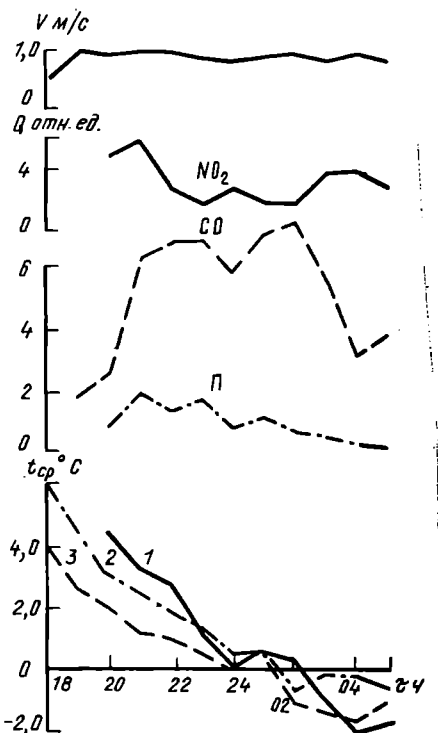


Рис. 2. Ночной ход температур воздуха, скорости ветра, концентраций пыли, окиси углерода и двуокиси азота на северной окраине Алма-Аты 20(1), 22(2), 23(3) октября 1987 г.

и некоторым усилением ветра до 4 м/с в районе Бурундайского аэропорта. Этого оказалось достаточно для прекращения горно-долинной циркуляции в ночь с 22 на 23 октября. По аэрологическим данным все остальные ночи сохранялась мощная приземная инверсия до 600 м с интенсивностью до 7°C в предутренние часы,

т. е. сохранялись благоприятные условия для горно-долинной циркуляции. В зимнем эксперименте также отмечалась малооблачная погода, вызванная прохождением фронтальных зон. В ночные часы все время сохранялась слабая приземная инверсия, близкая к безразличной стратификации.

Материалы осенних наблюдений представлены на рис. 2 и в табл. 6. Анализ этих данных показал, что высокие температуры воздуха за период наблюдений по северной зоне города приходятся на вечерние часы (18—19 ч) и составляют в среднем 4,5°C. Это связано с тем, что нагретая за день поверхность земли и зданий не успевает быстро охладиться, вследствие чего происходит медленное понижение температуры воздуха. Минимум температу-

Таблица 6

Распределение ночных метеорологических элементов и концентраций загрязняющих веществ в Алма-Ате

Характеристика	Концентрация, отв. ед.			t °C	f %	и м/с
	NO ₂	CO	пыль			
20—23 октября						
Пост 1						
Средняя	—	2,77	—	1,1	87	1,0
Максимальная	—	8,50	—	2,4	94	2,0
Пост 43						
Средняя	—	2,37	—	1,8	89	1,7
Максимальная	—	7,46	—	6,8	98	4,0
Пост 46						
Средняя	3	12,80	0,96	3,4	66	0,2
Максимальная	5	21,92	2,35	6,2	89	0,7
Пост 51						
Средняя	4	4,90	1,02	1,4	88	0,8
Максимальная	10	8,68	2,81	9,8	100	1,6
30 ноября — 4 декабря						
Пост 1						
Средняя	6	4,0	0,3	—5,3	73	1,0
Максимальная	12	10,0	1,0	0,8	93	2,0
Пост 44						
Средняя	—	2,56	—	—7,5	73	0,8
Максимальная	—	11,89	—	—3,9	97	1,2
Пост 47						
Средняя	—	4,21	—	—5,6	91	1,0
Максимальная	—	24,82	—	—0,6	96	1,2
Пост 52						
Средняя	—	8,48	—	—5,1	90	1,0
Максимальная	—	32,12	—	—0,6	95	1,2

ры воздуха приходится на утренние часы (4—5 ч) и составляет в среднем — 1,6°C.

Относительная влажность воздуха имеет ход противоположный температуре, и при минимальных температурах воздуха наблюдаются максимальные ее значения (87—100%).

Наблюдались скорости ветра, не превышающие 1 м/с, за исключением северо-западной окраины (пост 43), где средняя скорость воздуха составляла 1,7 м/с (табл. 6). Максимальные значения скорости ветра прослеживались в вечерние часы с 18 до 20 ч, что связано с возникновением горно-долинной циркуляции воздушных потоков. Минимумы скорости ветра приходятся на утренние часы (4—5 ч), во время ослабления контрастов температур в пониженных частях рельефа в результате более интенсивного радиационного выхолаживания и кататического стока холодного воздуха с гор.

Средние значения концентрации пыли на северных окраинах города наблюдаются в 21 ч, а максимальные, превышающие предельно допустимые концентрации (ПДК), в различных участках в период с 20 до 03 ч. Концентрации пыли, превышающие ПДК в 2—4 раза, появлялись в 20—22 ч в зависимости от скорости ветра. Минимальные значения приходились на утренние часы. В это время концентрации в воздухе достигали нулевых значений (табл. 6, рис. 2).

Высокие значения концентрации окиси углерода в ночном ходе прослеживались с 21 до 02 ч, после чего отмечалось довольно резкое их падение, что, очевидно, связано с окончанием работы значительной части автотранспорта.

Концентрации двуокиси азота за исследуемый период не превышали ПДК и в ночном ходе распределялись неравномерно, с максимумом до 12 отн. ед. в 21 ч (рис. 2).

Из всех материалов осеннего эксперимента следует, что перенос загрязненной воздушной массы через северные окраины города происходит в северо-восточном секторе со средней скоростью 0,8 м/с вдоль понижений рельефа и русел рек Малая Алматинка, Мойка, Весновка и наблюдается с 20 до 04 ч, что согласуется с расчетными данными, представленными в табл. 5.

В период зимнего эксперимента с 30 ноября по 4 декабря 1987 г. наблюдения велись в основном за окисью углерода по городу и метеорологическими параметрами на четырех пунктах: 1, 44, 47, 52.

Температура воздуха в среднем за этот период по городским постам 1, 47, 51 составляла —5,3; —5,0; —5,1°C соответственно, а в пригороде (пост 44) —7,5°C. Минимальные значения температуры воздуха в эти дни прослеживались ночью и утром, с колебаниями от —10 до —14°C. Во второй половине дня в результате прогрева атмосферы температура воздуха повышалась до 3—5°C.

Относительная влажность воздуха по средним значениям составляла 73—92%, по максимальным — 92—97% (табл. 6).

Скорость ветра по средним значениям на всех постах составляла 0,8—1,2 м/с, с максимумами, не превышающими 2,0 м/с, в вечерние часы (с 18 до 20 ч) и минимумами в утренние часы (с 5 до 7 ч).

Воздух в городе за период зимнего эксперимента был более загрязненный, что хорошо прослеживается по окиси углерода. Весь период по окиси углерода наблюдались превышения разовых ПДК в 2—6 раз, с максимальной концентрацией 32 отн. ед., на посту 52 в 2 ч. Высокие концентрации окиси углерода, наблюдавшиеся на этом посту, связаны, очевидно, с влиянием крупной магистрали (пр. Сейфулина) и парка экспедиционного автотранспортного предприятия, располагавшихся поблизости (табл. 6). Вынос воздуха с высокой концентрацией окиси углерода и других ингредиентов, превышающих разовые ПДК, за этот период через северные окраины города наблюдался практически всю ночь в же секторе — поймы речек Весновка, Мойки, Малая Алматинка.

В результате анализа всех материалов получены сведения, уточняющие режим горно-долинной циркуляции и его изменения, время самоочищения атмосферы города, зону переноса максимально загрязненной воздушной массы через северные окраины Алматы в ночное время (с 20 до 05 ч) этими ветрами. Получено также, вопреки принятой точке зрения, что вынос загрязненной воздушной массы в ночное время происходит не строго на север, а вдоль понижений рельефа — поймы речек Весновки, Мойки, Малая Алматинка в северо-восточном направлении.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ахмеджанов Х. А., Гельмгольц Н. Ф. Особенности климатических условий г. Алма-Аты и их роль в загрязнении воздушного бассейна города // Тр. КазНИГМИ. — 1970. — Вып. 36. — С. 127—135.
2. Ахмеджанов Х. А., Дегтярев В. И. Об оценке факторов, формирующих микроклимат г. Алма-Аты // Метеорология и гидрология. — 1979. — № 1. — С. 66—71.
3. Дегтярев В. И. Об азрационнo-климатической модели города // Метеорология и гидрология. — 1980. — № 10. — С. 52—58.
4. Климат Алма-Аты / Под ред. Х. А. Ахмеджанова, Ц. А. Швер. Л.: Гидрометеониздат, 1985. — 266 с.

Т. Г. ПЕРЕВЕРЗЕВА

ВРЕМЕННЫЕ ИЗМЕНЕНИЯ ПОТЕНЦИАЛА ЗАГРЯЗНЕНИЯ АТМОСФЕРЫ АЛМА-АТЫ

Загрязнение воздушного бассейна Алма-Аты определяется не только количеством поступающих в атмосферу вредных выбросов, но и неблагоприятными климатическими условиями, приводящими нередко к накоплению примесей. Сочетание метеорологических параметров, определяющих возможный при заданных выбросах

уровень загрязнения атмосферы, называют потенциалом загрязнения атмосферы (ПЗА) [1].

Различают метеорологический и климатический ПЗА. Метеорологический ПЗА включает сочетание наблюдаемых (или ожидаемых) метеорологических параметров в определенный период (час, сутки) и используется при прогнозировании возможных изменений уровня загрязнения на короткие временные интервалы. Климатический ПЗА включает многолетние климатические характеристики. Поэтому он позволяет оценить ожидаемый в данном физико-географическом районе (при заданных выбросах) средний уровень загрязнения.

Для городских условий с преобладанием низких выбросов показатель ПЗА может быть определен по номограмме [1] в зависимости от вероятности реализации неблагоприятных для рассеивания метеорологических условий P_1 и P_2 . При этом

$$P_1 = P_{ин} + P_{сл} - P_3 + P_T, \quad (1)$$

$$P_2 = P_3 + P_T, \quad (2)$$

где $P_{ин}$ — повторяемость приземных инверсий, $P_{сл}$ — повторяемость слабых (0—1 м/с) ветров, P_3 — повторяемость застоев воздуха (сочетание приземных инверсий со слабым ветром), P_T — повторяемость туманов (отношение продолжительности тумана в часах к общему числу в рассматриваемом периоде).

Для расчета показателя ПЗА для Алма-Аты были использованы данные ст. Алма-Ата, ГМО за 1981—1984 гг.

Для Алма-Аты характерен очень высокий показатель ПЗА. Его среднее значение за исследуемый период составляет 3,8, а в отдельные месяцы ПЗА достигает значения 4,4. По нашим расчетам повторяемость приземных инверсий составляет 48%. Очень часто приземные инверсии сопровождаются слабыми скоростями ветра (0—1 м/с), их повторяемость — 40%. Повторяемость туманов составляет 2%.

Таким образом, очень высокие показатели ПЗА обусловлены частой повторяемостью метеорологических условий, неблагоприятных для рассеивания выбрасываемых примесей и способствующих их накоплению в нижнем слое атмосферы. В холодное полугодие преобладающим типом синоптического положения является юго-западная периферия отрога сибирского антициклона. Наблюдается устойчивая ясная погода. В нижнем слое атмосферы слабые ветры, штиль. В приземных слоях идет выхолаживание воздушной массы, так как радиационный баланс в эту пору положителен только в течение 6—7 дневных часов, а в остальное время суток он отрицателен. Однако в свободной атмосфере прослеживается адвекция тепла. Летом юго-западная периферия антициклона кратковременна и неустойчива [2]. Кроме того, для Алма-Аты характерно влияние горно-долинной циркуляции. В зимнее время при застывании линзы холодного воздуха в предгорьях опускаю-

щийся холодный воздух адиабатически нагревается и у подножия гор оказывается теплее приземного воздуха. В результате этого воздушный поток не может проникнуть к поверхности земли, а скользит по поверхности линзы холодного воздуха, обтекая город сверху. Этот процесс способствует формированию и долгому сохранению мощных приземных инверсий. В ночное время летом горный ветер, опускаясь вниз по долине, растекается по земной поверхности. При этом он вытесняет более теплый воздух, способствуя, наряду с радиационным фактором, формированию приземной инверсии [3].

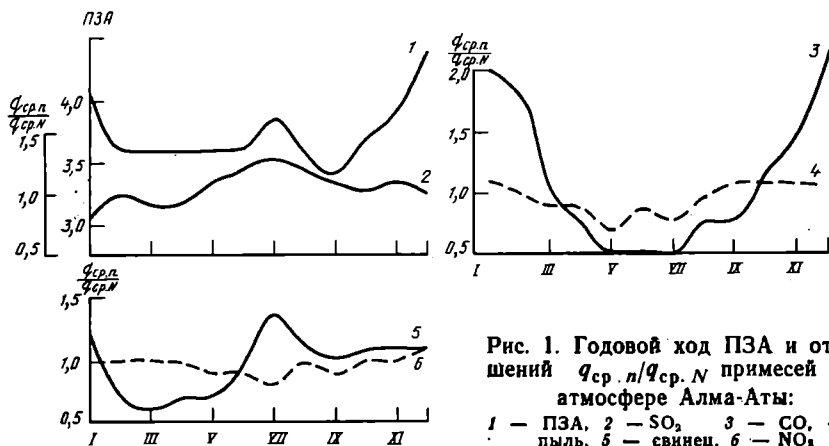


Рис. 1. Годовой ход ПЗА и отношений $q_{\text{ср.п.}}/q_{\text{ср.н.}}$ примесей в атмосфере Алма-Аты:
1 — ПЗА, 2 — SO₂, 3 — CO, 4 — пыль, 5 — свинец, 6 — NO₂

Важными факторами, определяющими высокий ПЗА, являются также малое количество осадков, большая интенсивность солнечной радиации, способствующая возникновению в загрязненной атмосфере различных фотохимических реакций, в результате которых образуются более токсичные вещества [4]. Все эти факторы оказывают решающее влияние на годовой ход ПЗА и этим же объясняется наличие двух максимумов (зимой и летом) его годового хода (рис. 1, кривая 1).

Изменения ПЗА по срокам наблюдений представлены на рис. 2, данные которого позволяют сделать следующие выводы:

1) по среднегодовому значению ПЗА, равному 3,8, Алма-Ату следует отнести к городам, лежащим в зоне с очень высоким его значением;

2) значения ПЗА претерпевают значительные изменения в течение года и в течение суток (рис. 1, 2);

3) наиболее благоприятными для рассеивания примесей в атмосфере города являются ночные и утренние часы в течение всего года, когда ПЗА превышает значение 4,0, а с октября по март — в течение всех суток значения ПЗА превышают 3,0.

Для выявления закономерностей загрязнения атмосферы города изучались сезонные изменения концентрации примесей на материале систематических наблюдений в Алма-Ате за четырехлет-

ний период, вычислялись средние за месяц, средние годовые значения и их отношение. Такой подход дает возможность выделить месяцы, в которых наблюдались отклонения от среднего за год значения и сравнивать сезонные изменения уровня загрязнения различных ингредиентов.

Рассмотрим сезонный ход концентрации пыли. Увеличение концентрации пыли в воздухе обычно наблюдается в холодное полугодие, что обусловлено повышенными выбросами котельных в связи с переходом их на зимний режим работы. На сезонные изменения запыленности воздуха, кроме характера выбросов про-

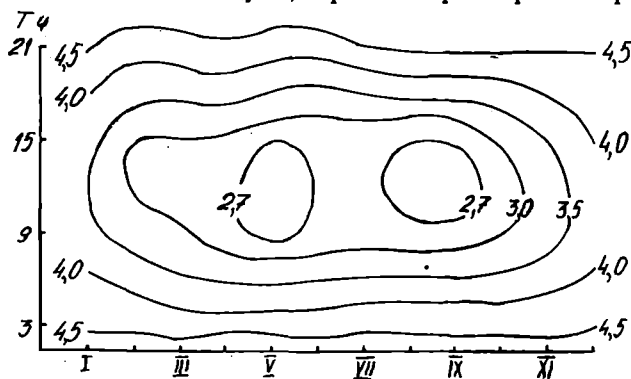


Рис. 2. Временные изменения ПЗА

мышленных предприятий и условия их рассеивания, большое влияние оказывает степень покрытости почвы растительностью или снегом. Отсутствие растительного покрова осенью и весной, после таяния снега, определяет увеличение запыленности в эти периоды года. Минимум запыленности в мае объясняется тем, что в это время выпадает максимальное количество осадков (рис. 1).

Годовой ход газообразных примесей более сложный. Это вызвано главным образом тем, что метеорологические условия по-разному влияют на распространение примесей от высоких и низких источников выбросов. Поэтому размещение промышленных предприятий по территории города, различие в характере и высоте их выбросов играет существенную роль в формировании годового хода содержания примеси в атмосфере [1].

В Алма-Ате, где наряду с низкими источниками выбросов имеются трубы высотой 100 м и более, годовой ход концентрации разных примесей различается. Например, наблюдается летний максимум концентрации сернистого газа, зимний максимум окиси углерода, а повышенный уровень содержания окиси азота отмечается и летом и зимой (рис. 1).

На характер годового хода концентрации газообразных примесей оказывают влияние также режим работы отопительных систем и промышленных предприятий, вид используемого топлива и другие факторы, от которых зависит уменьшение выбросов.

В годовом ходе концентрации окиси углерода прослеживаются хорошо выраженные зимний максимум и летний минимум. Это связано прежде всего с ростом выбросов от низких источников и большой повторяемостью неблагоприятных условий рассеивания их в приземном слое воздуха в зимнее время года. Летом способность атмосферы к самоочищению увеличивается и концентрация CO снижается.

Годовой ход концентрации сернистого газа имеет летний максимум, связанный, по-видимому, с увеличением количества автотранспорта. Кроме того, максимальные значения концентрации SO_2 в июле связаны с максимальными значениями ПЗА в этом же месяце. Однако повышение концентрации SO_4 отмечается также в весенний и осенний периоды, что можно объяснить наличием туманов в это время.

Влияние туманов на содержание примесей в воздухе носит сложный характер. При туманах нередко наблюдаются специфические условия распределения метеорологических величин, способствующие увеличению концентрации примесей у земли. Примеси частично поглощаются водяными каплями, но при их растворении иногда образуются новые более вредные вещества.

При образовании тумана в его каплях концентрируется не только примесь, которая находилась вблизи подстилающей поверхности в его отсутствии, но также и значительная часть примеси из вышележащих (нередко наиболее загрязненных) слоев. Таким образом, капли тумана как бы аккумулируют примесь из весьма протяженного слоя, что существенно увеличивает суммарное загрязнение воздуха вблизи подстилающей поверхности [5].

В годовом ходе концентрации свинца отмечается два максимума (зимой и летом) и два минимума (весной и осенью). Летний максимум связан с увеличением количества автотранспорта на дорогах города в летние месяцы. Зимний максимум связан с неблагоприятными условиями рассеивания примесей.

Изменения концентрации окислов азота в течение года незначительны. Источниками поступления NO_x в атмосферу являются выбросы продуктов высокотемпературного сгорания топлива (отработавшие газы автотранспорта, выбросы промышленных предприятий и тепловых электростанций). В зимнее время года уменьшается количество автотранспорта, но начинается отопительный сезон. В летнее время наоборот: прекращаются выбросы от котельных и домовых печей частного сектора, но увеличивается количество автотранспорта.

Анализ годового хода загрязнения воздуха показывает сложность взаимосвязи его с колебаниями выбросов и метеорологическими факторами. В одни месяцы решающая роль принадлежит ослабленному переносу воздушной массы, в другие — отсутствию осадков, в третьи — значительной устойчивости нижних слоев атмосферы. Каждый из этих факторов может оказывать значительное влияние на загрязнение воздуха.

Изучение климатических условий распространения примесей в атмосфере, влияющих на формирование уровня загрязнения, позволяет выделить некоторые технические мероприятия, которые могут оказаться наиболее эффективными при данных климатических условиях для обеспечения чистоты атмосферы. Как следует из наших расчетов, наименьшее значение ПЗА (2,7), имеет с апреля по сентябрь в сроки с 9 до 15 ч, когда и конвекция наиболее развита. Заметное снижение уровня загрязнения может быть достигнуто при уменьшении количества низких и неорганизованных выбросов. На промышленных предприятиях ремонт газоочистного оборудования и профилактические регламентные работы необходимо планировать на периоды суток и года, наиболее благоприятные для рассеивания примесей, т. е. с учетом сведений о климатических условиях и о сезонных и суточных изменениях концентрации примесей в атмосфере, определяемых этими климатическими условиями.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Безуглая Э. Ю. Метеорологический потенциал и климатические особенности загрязнения воздуха городов. — Л.: Гидрометеониздат. — 1980. — 183 с.
2. Бугаев В. А., Джорджио В. А. и др. Синоптические процессы Средней Азии. — Ташкент; Изд-во АН УзССР. — 1957. — 474 с.
3. Гельмгольц Н. Ф. Горно-долинная циркуляция северных склонов Тянь-Шаня. — Л.: Гидрометеониздат. — 1963. — 329 с.
4. Климатические характеристики условий распространения примесей в атмосфере. Справочное пособие. — Л.: Гидрометеониздат. — 1983. — 326 с.
5. Прогноз и регулирование загрязнения атмосферы / Берлянд М. Е. — Л.: Гидрометеониздат. — 1985. — 271 с.

И. А. ВИРФЕЛЬ

О ВЕРТИКАЛЬНОЙ СТРУКТУРЕ ПОЛЯ КОНЦЕНТРАЦИИ ОКСИ УГЛЕРОДА НАД АЛМА-АТОЙ

Изучение процессов вертикального переноса загрязняющих веществ в атмосфере над городом имеет важное значение для решения ряда прикладных природоохранных задач. Для Алма-Аты характерны часто возникающие неблагоприятные метеорологические условия, при которых выбрасываемые в большом количестве вредные примеси, например окись углерода (СО), не выносятся за пределы городской территории воздушными потоками. В частности, происходит образование мощных приземных и приподнятых инверсий температур в слое воздуха высотой 1—2 км. Сложный комплекс неблагоприятных метеорологических процессов формирует структуру полей концентрации окиси углерода на высотах и непосредственно в приземном слое атмосферы.

Для изучения вертикального распределения вредных примесей над городами и промышленными объектами традиционно исполь-

зуются вертолет. В работах [1—3] освещены методические основы вертолетного зондирования, а также приведен ряд экспериментальных данных локального характера. При изучении масштабных процессов загрязнения атмосферы чаще используется самолетное зондирование [4].

В октябре и декабре 1987 г. в рамках комплексного межведомственного эксперимента по изучению загрязнения атмосферы Алма-Аты было осуществлено пространственное зондирование атмосферы над городом методом отбора проб воздуха и их последующим анализом на содержание окиси углерода с помощью стандартных газоанализаторов «Палладий-2м». Работы по отбору проб воздуха выполнялись коллективом летающей лаборатории Ил-18 Главной геофизической обсерватории им. А. И. Воейкова, анализ полученных проб проводился в КазНИГМИ.

Отбор проб производился на высотах 300, 600, 1000 м и в отдельных случаях на высотах 1500, 2000, 2500, 2700, 3000, 3500 м над поверхностью земли по шести параллельным маршрутам. Они были ориентированы с северо-востока на юго-запад над площадью 35×15 км², охватывали воздушный бассейн города и его окрест-

Частота повторяемости (%) нормированных концентраций СО

q _H	Октябрь 1987 г.			Декабрь 1987 г.		
	H=300 м	H=600 м	H=1000 м	H=300 м	H=600 м	H=1000 м
0,1	56	25	22	1	8	18
0,2	11	8	12	5	20	28
0,3	8	13	11	8	26	32
0,4	6	11	8	12	17	12
0,5	5	6	13	10	6	6
0,6	3	8	6	6	9	2
0,7	1	5	4	4	2	1
0,8	1	4	4	2	3	0
0,9	1	4	2	7	1	0
1,0	1	3	2	3	1	0
1,1	2	2	3	5	0	0
1,2	1	1	3	3	1	0
1,3	0	2	2	3	1	0
1,4	0	1	2	4	0	0
1,5	1	1	1	2	1	0
1,6	0	1	1	2	0	0
1,7	0	1	1	2	0	0
1,8	1	1	0	3	0	0
1,9	0	1	1	2	0	0
2,0	0	0	0	2	0	0
2,1	0	1	0	2	0	0
2,2	0	1	0	1	1	0
2,3	0	0	1	1	1	0
2,4	0	0	1	3	0	0
2,5	0	0	0	1	0	0
2,6	0	0	0	0	0	0
2,7	0	0	1	1	0	0
2,8	0	0	0	1	0	0
2,9	0	0	1	0	0	0
3,0	0	0	1	1	0	0

ностей, за исключением его юго-восточной горной части. На каждом маршруте отбирались 10—20 проб в течение 5 мин, на отбор одной пробы затрачивалось 5—10 с. Время облета всех маршрутов одного высотного уровня составило в среднем 1 ч, а продолжительность полета в целом — около 4 ч. При анализе результатов зондирования дополнительно использовались метеоданные Алма-Атйской аэрологической станции, расположенной в северо-восточной части города на высоте 670 м над уровнем моря.

Слабая устойчивость атмосферы в октябре, интенсивное разрушение приземных и приподнятых инверсий в течение дня способствовали значительному перемешиванию и выносу загрязненных воздушных масс в верхние слои атмосферы, что прослеживается в виде наибольшей повторяемости концентрации q_H близких к нулевым, особенно для высоты 300 м (таблица).

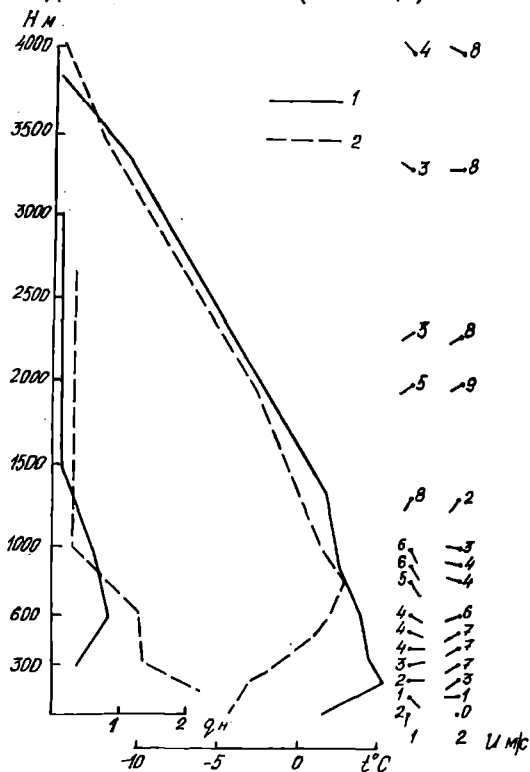


Рис. 1. Вертикальные профили метеорологических элементов в атмосфере над городом в октябре (1) и декабре (2) 1987 г.

Характер повторяемости концентраций на высотах 600 и 1000 м (вторые максимумы) можно объяснить возможным существованием приподнятых инверсий с нижней границей около 1000 м или несколько выше.

Начало декабря характеризовалось высокой устойчивостью атмосферы, мощными приземными инверсиями, сохраняющимися в течение дня. Слои атмосферы на высотах 300 и 600 м характеризуются широким спектром концентраций СО с четко выраженными максимумами повторяемости больших, чем в октябре, значений концентраций. На высоте 1000 м все измеренные величины имеют меньшую изменчивость значений концентраций.

На рис. 1 а приведены изменения осредненных для каждого высотного разреза концентраций окиси углерода с высотой над городом. Значения концентрации q_H указаны в условных единицах, полученных путем нормирования на среднее значение за весь период измерений. В октябре наблюдается характерный для приподнятой инверсии или безразличной стратификации вертикальный профиль концентрации (кривая 1) [1]. Наш результат качественно согласуется с характерными для данного периода высотами приподнятых инверсий.

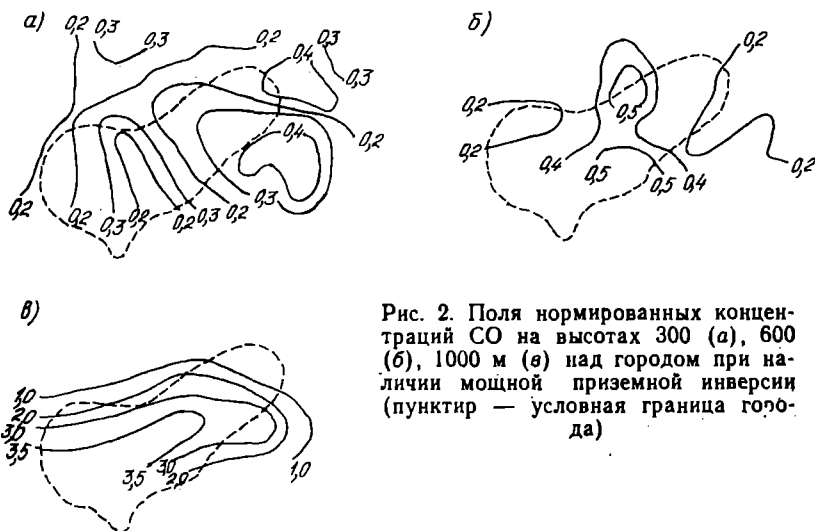


Рис. 2. Поля нормированных концентраций СО на высотах 300 (а), 600 (б), 1000 м (в) над городом при наличии мощной приземной инверсии (пунктир — условная граница города)

В декабре мощные приземные инверсии, как правило, не разрывались в течение всего дня. Происходило значительное накопление окиси углерода в приземном слое до 600 м и выше (рис. 1 а, кривая 2). Причем концентрация СО плавно уменьшалась от максимальной у поверхности земли до минимальной в надынверсионном слое. В этом случае данные самолетного зондирования дополнены измеренными одновременно профилями концентрации окиси углерода на высотном здании гостиницы «Казахстан» (продолженные линии 2 ниже 300 м на рис. 1 а).

На рис. 2 представлены поля концентраций СО по высотным разрезам по данным полета 3 декабря. Мощная приземная инвер-

сия способствовала сплошному заполнению выбросами вредных примесей 300-метрового слоя атмосферы над городом. На высотах 600 и 1000 м рассмотрение распределения концентрации СО показывает, что можно выделить замкнутые изолинии концентраций, расположенные над высотными источниками выбросов СО и напоминающие их факелы. Этот факт позволяет судить о том, что лишь горячие выбросы наиболее мощных высотных источников пробивают слой инверсии.

На рис. 3 представлены вертикальные разрезы поля концентрации вдоль одного маршрута, расположенного непосредственно над городом. В условиях общей устойчивости атмосферы получают развитие процессы местной горно-долинной циркуляции воздуха в частности в направлении с юго-запада на северо-восток (ось ОХ).

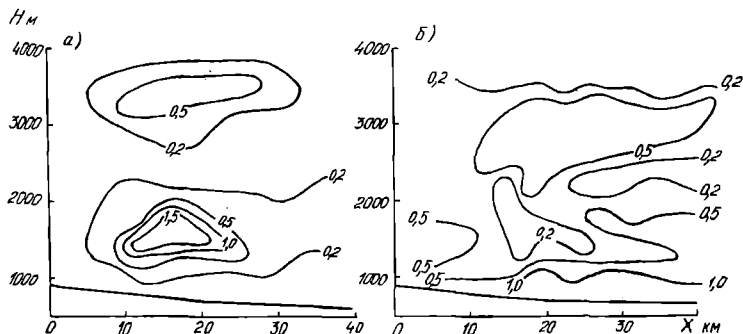


Рис. 3. Поле концентрации окиси углерода над Алма-Атой:
а — октябрь, б — декабрь

В октябре наблюдались два слоя окиси углерода над городом (рис. 3а). Возможно, что ниже первого слоя образуется пространство более чистого воздуха за счет потоков долинного ветра и турбулентного обмена у земли, а между слоями формируется сравнительно чистый противоток воздуха с гор.

В декабре нижний слой СО располагается непосредственно у поверхности земли. Происходит полное заполнение всего приземного слоя атмосферы оксидом углерода до высоты 300—600 м (рис. 3б). Воздушные циркуляционные потоки, увлекая загрязненные слои воздуха, определяют их суточную динамику. Днем за счет долинного ветра происходит перенос примесей вместе с нижним слоем атмосферы в горы. Ночью горный ветер обуславливает вынос загрязненного воздуха в направлении на север и северо-восток.

Таким образом, различные состояния устойчивости атмосферы в октябре и декабре определяют тип вертикального распределения окиси углерода. Мощные приземные инверсии обуславливают плавное убывание концентрации СО с высотой. Приподнятые инверсии формируют максимум содержания окиси углерода в инверсионном слое.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Аваньян В. А., Ахмеджанов Х. А. К вопросу об изучении структуры пограничного слоя и вертикального распределения атмосферных загрязнений средствами вертолетного зондирования // Тр. САРНИГМИ. — 1976. — Вып. 29 (110). — С. 22—35.
2. Буренин Н. С., Вдовин Б. Н. Вертикальное распределение окиси углерода по экспериментальным данным // Тр. ГГО. — 1982. — Вып. 450. — С. 72—76.
3. Горошко Б. Б., Зайцев А. С., Назаренко В. Л. Вопросы методики и результаты исследования загрязнения атмосферы с помощью вертолета // Тр. ГГО. — 1968. — Вып. 234. — С. 85—94.
4. Gloria H. R., Bradburn R. F., Pitts J. N. et al. Airborne Survey of Major Air Basins in California // JARSA. — 1974. — Vol. 24. — N 7. — P. 645—652.

И. А. ВИРФЕЛЬ

К ВОПРОСУ ИЗУЧЕНИЯ ПЕРЕНОСА ОКИСИ УГЛЕРОДА В УСЛОВИЯХ АЛМА-АТЫ

Комплексный подход и использование экспериментальных методов позволят ускорить изучение проблемы оздоровления воздушного бассейна города.

В данной работе обсуждаются результаты исследования динамики переноса окиси углерода (СО) в приземном слое атмосферы Алма-Аты при неблагоприятных метеорологических условиях по данным измерений осеннего 1986 г. и осенне-зимнего эксперимента 1987 г. Одним из основных источников СО является автотранспорт. В условиях значительной повторяемости мощных температурных инверсий и слабой ветровой активности атмосферы, наиболее характерной для осенне-зимнего периода, загрязнение атмосферного воздуха Алма-Аты может достигать критических значений. При этом основными процессами, оказывающими влияние на суточную динамику поля концентрации окиси углерода, являются интенсивность выбросов автотранспорта, суточный ход метеорологических величин, а также горно-долинная циркуляция воздушных масс [1].

На рис. 1 представлен суточный ход концентрации СО, нормированной на среднесуточное значение, полученных в октябре и декабре 1987 г. Измерения проводились в двух пунктах: пункт 1 — в 3 км от северной границы города и автомагистралей, пункт 2 — в южной части города в 150 м от прилегающих к району транспортных магистралей. Полученная опытным путем зависимость суточного хода концентрации СО имеет некоторые характерные особенности. Вечерний максимум в загородном пункте 1 выше утреннего, а в пункте 2 утренний максимум выше вечернего. Наступление максимумов на северном пункте происходит с запаздыванием на несколько часов по сравнению с южным.

Утренний максимум концентраций СО на территории города вблизи автомагистралей связан, как правило, с ростом интенсивности движения транспорта (утренний час пик). Кроме того, утром наблюдается значительная устойчивость атмосферы, препятствующая рассеиванию примеси. В дневное время происходит разрушение задерживающих слоев и развивается вертикальное перемешивание, а также происходит приток чистого воздуха за счет долинного ветра. Вечерний максимум интенсивности движения транспорта и временное затишье в результате смены направления ветра местной горно-долинной циркуляции обуславливают рост содержания окиси углерода (рис. 1, кривая 2).

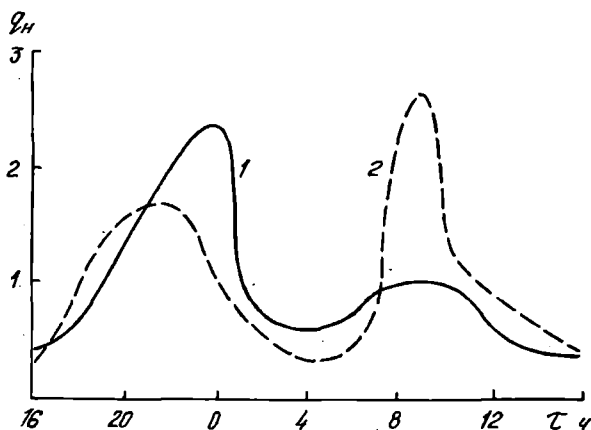


Рис. 1. Суточный ход нормированной концентрации окиси углерода:

1 — северная окраина города, 2 — южная часть города

Особенности формирования и развития горно-долинной циркуляции, ее роль в процессе самоочищения атмосферы Алма-Аты освещены в работах [1—3]. Сильно вытянутый в меридиональном направлении город расположен у северной подошвы хребта Заилийского Алатау. Его северные окраины лежат на 250 м ниже южных. Ночью ветер представляет собой кататический сток холодного воздуха вниз с горных склонов в северном направлении. Холодный горный воздух, как более плотный, растекается в виде линзы по земной поверхности, вытесняя более теплый. Концентрация СО в результате притока чистого воздуха резко падает (рис. 1). По мере продвижения горного потока с юга на север масса загрязненного воздуха вытесняется частично в верхние слои атмосферы, а частично стекает на северные окраины города. В случае недостаточной мощности потока холодного воздуха не происходит полного очищения атмосферы северной части города. В зимнее время такие ситуации довольно часты. Сформированная в результате стока и радиационного выхолаживания линза холодного воздуха не всегда успевает разрушаться в течение дня и проис-

ходит дальнейшее накопление примесей в приземном слое атмосферы.

На рис. 2 а (кривые 1 и 2) показано распределение (нормированное на среднее значение всего ряда измерений) концентрации окиси углерода по разрезам запад—восток. Кривые построены по данным эксперимента 1986 г. Взяты средние концентрации для ночного периода с 20 до 5 ч, когда основное влияние на динамику поля концентрации окиси углерода оказывает горный ветер, а выбросы автотранспорта минимальны. Оба разреза располагались в центральных и южных районах города. В результате анализа опытных данных было обнаружено, что максимальный перенос загрязненных воздушных масс происходит в северном направлении вдоль русел рек Большая Алматинка и Весновка. Этот вывод согласовался с представлениями об основных направлениях стока горного воздуха [2].

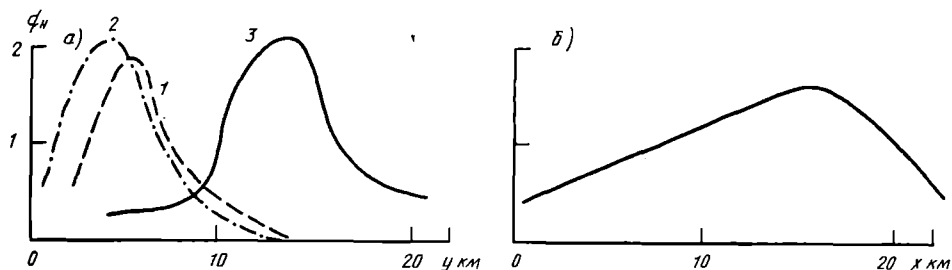


Рис. 2. Распределение нормированной концентрации CO по разрезам: а — запад—восток ($1-x=5$ км, $2-x=8,5$ км, $3-x=20$ км), б — юг—север ($y=10$ км)

Осенью 1987 г. получено распределение концентрации окиси углерода по секущей запад—восток, проходящей по северной части города и захватывающей северо-западные пригородные районы (рис. 2 а, кривая 3). Максимум ночной концентрации расположен на территории северо-восточной части города. Сравнение измерений концентраций CO в загородных пунктах показало, что в ночные и ранние утренние часы происходит вынос окиси углерода в северные и северо-восточные пригородные районы (рис. 1, кривая 1), в то время как на северо-западных части города вынос CO практически не наблюдается. Следовательно, перемещение основной массы загрязненного воздуха из южных и центральных городских районов в ночное время происходит в северо-восточные районы города и пригорода.

На рис. 2 б показано распределение нормированных концентраций окиси углерода вдоль секущей юг—север. При этом система координат ориентирована так: ось X направлена на север, Y — на восток. Кривая построена по данным двух экспериментов. Максимум концентрации смещен к северной границе города. Возможно, происходит это вследствие замедления потока горного воздуха. Значит основная масса загрязненного воздуха в ночное время находится на северной окраине, причем в ряде пунктов ночная концентрация может в несколько раз превосходить дневную.

Используя результаты непрерывной регистрации концентраций CO , можно определить начало прохождения потока горного воздуха. На кривой 2 (рис. 1) этому соответствует начало резкого снижения концентраций после вечернего максимума в южной части города. На северной окраине (рис. 1, кривая 1) достижение вечернего максимума связано с приходом выносимых горным ветром загрязненных масс воздуха. Время последующего снижения концентрации окиси углерода однозначно связано с приходом более чистого воздушного потока. Используя метод пары станций [4], по разнице во времени прохождения воздушных масс над двумя точками, можно определить скорость движения потока. В данном случае расстояние между пунктами составляло 18 км, время запаздывания между максимумами 2,5 ч. Скорость потока горного воздуха и переноса загрязненных воздушных масс составила 2 м/с. Скорости ветра по данным городской метеостанции в это время не превышали 1—2 м/с.

Таким образом, при неблагоприятных метеорологических условиях скопившаяся в течение дня в приземном слое атмосферы окись углерода ночью под действием горного ветра переносится на северные и северо-восточные районы города. В случае недостаточной мощности горного потока значительные массы загрязненного воздуха остаются на окраине города, причем наиболее загрязненной оказывается его северо-восточная часть.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ахмеджанов Х. А., Гельмгольц Н. Ф. Особенности климатических условий г. Алма-Аты и их роль в загрязнении воздушного бассейна города // Тр. КазНИГМИ. — 1970. — Вып. 36. — С. 127—135.
2. Гельмгольц Н. Ф. Горно-долинная циркуляция северных склонов Тянь-Шаня. — Л.: Гидрометеоздат. — 1963. — 330 с.
3. Гельмгольц Н. Ф., Нурумов С. Ж. О некоторых закономерностях ветрового самоочищения атмосферы г. Алма-Аты // Тр. КазНИГМИ. — 1978. — Вып. 64. — С. 9—16.
4. Bruckmann P., Borchert H., Külske S. et al. Die Smog-Periode in Januar 1985 // Staub—Reinhalt. Luft. — 46(1986). — N. 7—8. — S. 334—342.

И. Г. ПОХИЛЕНКО

ЭКОЛОГО-ЭКОНОМИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ В СИСТЕМЕ НОРМИРОВАНИЯ ВЫБРОСОВ И ПЛАНИРОВАНИЯ ВОЗДУХООХРАННОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ

В последние годы в стране сложилась принципиально новая экологическая ситуация. Она характеризуется непрерывно усиливающимся воздействием производственной деятельности на окружающую среду и увеличением их взаимопроникновения. В этих условиях огромное теоретическое и практическое значение приоб-

ретает проблема нахождения оптимальных связей между экономикой и окружающей средой, между потребностями экономического развития и необходимостью защиты среды обитания человека. В то же время практика планирования и организации природоохранной деятельности имеет ряд серьезных недостатков.

Не осуществляется целевая координация работ, с чем связана ведомственная разобщенность при решении вопросов охраны природы и рационального использования природных ресурсов. Это выражается в подмене общегосударственных интересов частными отраслевыми задачами, распылением сил при планировании и осуществлении природопользования.

Отсутствует системный подход и единое плановое начало в деятельности министерств и ведомств по экологизации производственных процессов, машин и оборудования. Нет механизма экономической заинтересованности и ориентации разработчиков на создание мало- и безотходных, ресурсо- и энергосберегающих технологических процессов и оборудования.

Не разработана теория планирования природоохранной деятельности, в частности, сочетания отраслевого и территориального принципов планирования. Нуждаются в совершенствовании методы оценки экономической эффективности природоохранных мероприятий и минимизации природоохранных затрат, а также эколого-экономические модели оптимизации природопользования.

Изложим некоторые соображения по совершенствованию планирования воздухоохранной деятельности на основе эколого-экономического моделирования. До недавнего времени процесс разработки планов по охране природы и рациональному использованию природных ресурсов состоял из трех основных этапов: подготовительного (предпланового), основного (организационно-методического) и заключительного (директивного).

На предплановом этапе основным документом управления природопользования в городах являлись территориальные комплексные схемы охраны природы. В ходе их разработки нужно было установить исходный уровень природоохранной деятельности и состояния окружающей среды; проанализировать возможности научно-технического прогресса в природопользовании; разработать нормативно-методические документы для составления плана, основа которого — технико-экономическое обоснование системы перспективных мероприятий. На организационно-методическом этапе намеченный комплекс природоохранных мероприятий должен был получать конкретную реализацию в форме соответствующих разделов генпланов городов, схем и проектов районной планировки и промузлов, отраслевых проектов по охране природы. На заключительном этапе предприятиям устанавливались плановые директивные задания по снижению объемов выбросов вредных веществ. Однако вследствие недостаточной разработанности нормативно-методических основ механизм планирования природоохранной деятельности не образовывал целостной системы, поэтому между выделенными этапами не было необходимой взаимосвязи и преем-

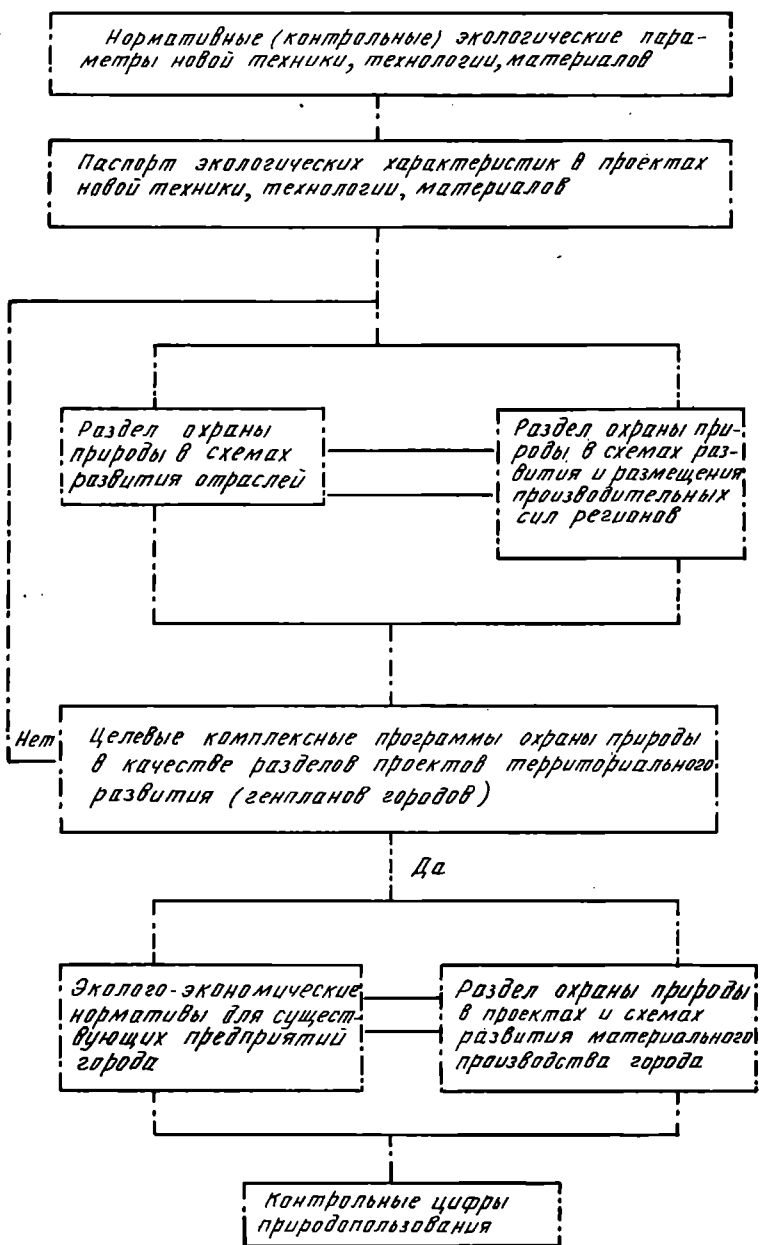
ственности, отсутствовали приоритеты народнохозяйственных результатов, допускалось дублирование работ, не обеспечивалось научно обоснованное соотношение между ростом промышленного потенциала и пределами антропогенных нагрузок, допускался рост выбросов вредных веществ в регионах с повышенным уровнем загрязнения. Такая схема планирования природопользования не учитывала необходимость проведения экологических проработок на ранних предплановых стадиях — в проектах новой техники и технологии, схемах развития отраслей, развития и размещения производительных сил регионов.

Сегодня, при перестройке экономики страны, изменении структуры управления, природоохранное планирование должно определять стратегию природопользования и формировать долгосрочные приоритеты природоохранной деятельности. Экономическая составляющая природоохранного планирования должна обеспечивать формирование системы ценообразования с учетом совокупности затрат на воспроизводство используемых природных ресурсов, охрану и восстановление окружающей среды.

Июньский (1987 г.) Пленум ЦК КПСС выдвинул новую, радикальную реформу управления экономикой страны, включающую и перестройку организации и планирования природоохранной деятельности. В частности, предусмотрены коренные изменения процедуры и инструментов планирования. Пятилетние и годовые планы должны теперь разрабатываться и утверждаться самими предприятиями. При этом предусматривается доводить до них лишь контрольные цифры. По существу контрольные цифры будут носить в значительной степени принудительный характер, ибо отклонение от них будет чревато нарушением стабильности работы предприятия в условиях хозрасчета и самофинансирования. При этом планирование природопользования должно опираться на систему взаимозвязанных экологических и экономических нормативов, являющихся основой перехода на новые условия хозяйствования. В данных условиях схема природоохранного планирования может быть представлена в виде рисунка.

Учитывая необходимость усиления экологической направленности научно-технического прогресса, в схему планирования введен такой элемент предплановых разработок, как формирование комплекса экологических нормативов и характеристик новой техники, технологии, материалов. Это позволит включить плановые начала в деятельность министерств и ведомств по экологизации производственных процессов, созданию мало- и безотходных, ресурсо- и энергосберегающих технологий и т. д.

В оптимизации природоохранного планирования определяющую роль должно сыграть технически и экономически обоснованное нормирование техногенной нагрузки на природную среду и, в частности, нормирование выбросов вредных веществ в атмосферный воздух. При этом крайне важно увязать отраслевое нормирование с территориальным через программно-целевой подход. Однако в настоящее время нормирование выбросов осуществляется



Модель структуры природоохранного планирования на базе нормативных методов

по цепи: ведомственный проект норм ПДВ (ВСВ) — сводный том нормативов выбросов в целом по городу, т. е. с преимущественно отраслевой направленностью. Формирование сводных томов на базе ведомственных проектов не позволяет выявить первостепенные (приоритетные) цели и задачи, а также пути их решения, а лишь формализует ведомственные предложения по осуществлению воздухоохранных мероприятий. Назрела задача переориентации направленности работ по нормированию выбросов с отраслевого на территориальный уровень. В этом случае сводный том должен разрабатываться как предплановый документ, включающий нормативы и контрольные цифры в виде целевой комплексной программы природоохранной деятельности города в детальной увязке с прогнозными проработками развития народнохозяйственного комплекса. Для введения в практику регионально-отраслевого нормирования прямых и обратных связей, обеспечения его гибкости необходимо выделить в системе целевых комплексных программ прогнозную, расчетную и нормативную подсистемы. В прогнозную часть должны войти поиск и анализ оптимальных пропорций между масштабами социально-экономического развития региона (города) и экологическими ограничениями. В расчетную — меры по оптимизации региональной системы «общество—природа». В нормативную — нормативы техногенных нагрузок на природную среду существующих и планируемых народнохозяйственных объектов города, а также комплекс отраслевых и общегородских природоохранных мероприятий. Эти мероприятия — технического, технологического, градостроительного и организационного характера — должны разрабатываться на вариантной основе в соответствии с критериями социально-экономической эффективности. Схема формирования целевой комплексной программы по охране атмосферного воздуха представлена в приложении.

Управление природопользованием и охраной окружающей среды экономическими методами предполагает необходимость рассматривать материальное производство как сложную эколого-экономическую систему [2, 3, 5]. Причем в условиях перехода предприятий на полный хозрасчет и самофинансирование возрастает актуальность минимизации природоохранных затрат. Одним из путей их снижения является выбор оптимальной структуры природоохранных мероприятий.

Защита окружающей среды от загрязнения непосредственно связана с решением социальных и экономических проблем. Естественно, что принципы оценки ее эффективности должны базироваться на основных положениях теории эффективности капитальных вложений, новой техники, использования природных ресурсов. Так как народное хозяйство является неразрывным комплексом отраслей и производств, необходим учет межотраслевых эффектов каждого внутриотраслевого мероприятия. Поэтому экономическую эффективность мероприятий по охране природы нельзя определять только на основе анализа деятельности одного предприятия и даже одной отрасли. Следовательно, возникает необходимость раз-

работки такой программы природопользования региона (города), которая позволила бы выбрать оптимальные природоохранные решения с экономической и экологической точек зрения. Этого можно достичь за счет внедрения в практику планирования природоохранной деятельности эколога-экономического моделирования. При этом необходимо использование принципов целенаправленного поиска доминантных источников антропогенного воздействия, определения для них нижних (нормативных) уровней воздействия, а затем расчет приоритетности природоохранных мероприятий по условиям минимизации затрат, т. е. плановой концентрации ресурсов города на главных направлениях. В этом случае алгоритм решения задачи может быть основан на оптимизации структуры мероприятий, в частности по охране атмосферного воздуха, с применением метода динамического программирования при поиске экстремума функций затрат и предотвращенного экономического ущерба, выражающего эффективность планируемых мероприятий.

Указанный алгоритм состоит из следующих блоков.

1. Расчет рассеивания выбросов вредных веществ в целом по городу на основе материалов инвентаризации источников выбросов — для существующих объектов; проектно-сметной документации — для строящихся объектов; прогнозных параметров выбросов — для объектов, намечаемых к строительству согласно схемам развития отраслей. Прогнозные параметры выбросов принимаются на основе существующих аналогов или исходя из установленных удельных величин выбросов вредных веществ на единицу планируемой к выпуску продукции. При условии планируемого расширения или реконструкции существующих предприятий параметры выбросов расширения принимаются как прогнозные.

2. Определение контрольных величин предельно допустимых выбросов (ПДВ) и этапов их достижения (ВСВ) по методике комплексного нормирования, разработанной ИПП.

3. Определение предотвращенного экономического ущерба по каждому пронормированному источнику выбросов и в целом по городу.

4. Разработка предприятиями совместно с генпроектировщиками или любыми другими проектными организациями на вариантной основе комплекса воздухоохраных мероприятий с учетом заданных величин предотвращенного экономического ущерба.

5. Определение наиболее экологически и экономически эффективной системы воздухоохраных мероприятий в целом по городу по условиям минимизации приведенных затрат при заданной контрольной величине предотвращенного экономического ущерба (комплекс мероприятий для достижения предельно допустимых и временно согласованных выбросов):

$$\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m (C_{ij} + E_{ij}K_{ij}) = \min \text{ при } \sum_{i=1}^n \Pi_i \geq \sum_{i=1}^n \Pi_i^{\text{треб}},$$

$$P_i \text{ и } P_i^{\text{пред}} = \sum_{j=1}^m \gamma_j \sigma_j f_j A_j m_j - \sum_{j=1}^m \gamma_j \bar{\sigma}_j \bar{f}_j A_j \bar{m}_j,$$

где C_{ij} , K_{ij} — соответственно текущие и капитальные затраты на мероприятия по уменьшению загрязнения приземного слоя воздуха выбросами j -го вещества i -м источником; E_n — нормативный коэффициент капиталовложений; P_i — экономический ущерб, предотвращаемый в результате снижения (прекращения) выброса примесей в атмосферный воздух по i -му источнику загрязнения; γ_j — стоимостной показатель 1 т уловленного j -го вредного вещества (р./усл. т.); f_j и \bar{f}_j — безразмерный коэффициент рассеяния по j -му веществу до и после снижения выброса; σ_j и $\bar{\sigma}_j$ — безразмерный коэффициент относительной опасности загрязнения j -м веществом атмосферного воздуха над территориями различных типов до и после снижения выбросов; A_j — показатель относительной агрессивности примесей каждого вида (усл. т./т); m_j и \bar{m}_j — масса выброса j -го вещества до и после снижения выброса.

Сформулируем технико-экономическую постановку задачи: любое воздухоохранное мероприятие можно представить в виде зависимости предотвращенного экономического ущерба P от объема приведенных затрат Z . Следовательно, для группы подобного типа мероприятий можно получить заданный предотвращенный экономический ущерб при затратах не менее $Z_{i,\min}$ и не более $Z_{i,\max}$. Возможна другая группа воздухоохранных мероприятий, где каждое мероприятие имеет одно решение с единственным значением приведенных затрат (больше нуля) — $\bar{Z}_j = Z_j = \text{const}$ и соответствующим (больше нуля) предотвращенным экономическим ущербом — $\bar{P}_j = P_j = \text{const}$, где \bar{P} и \bar{Z} — текущие значения P и Z . Кроме того, для обеих групп мероприятий имеется условие, при котором $P=0$ в случае $Z=0$. Следует выбрать оптимальный состав воздухоохранных мероприятий и затраты по каждому мероприятию (\bar{Z}_i и \bar{Z}_j) в пределах установленных общих минимальных капиталовложений. За критерий оптимальности принимается суммарный предотвращенный экономический ущерб при данных затратах. В этом случае оптимальному составу мероприятий должно соответствовать максимальное значение суммарного предотвращенного экономического ущерба ($P_n = \text{max}$).

Математическая постановка задачи:

$$\bar{P}_i = \begin{cases} a_i + b_i \bar{Z}_i + x_i \bar{Z}_i^2 & \text{при } \bar{Z}_i > 0; i=1, \bar{P}, \\ 0 & \text{при } \bar{Z}_i = 0, \end{cases} \quad (1)$$

$$\bar{P}_j = a_j(\bar{Z}_j) \text{ при } j = (\bar{P} + 1), m. \quad (2)$$

Ограничения:

$$0 \leq Z_{i,\min} \leq \bar{Z}_i, \quad (3)$$

$$\bar{Z}_j \in (0, Z_j), \quad Z_j > 0, \quad (4)$$

$$\sum_{i=1}^n \bar{Z}_i + \sum_{j=n+1}^m \bar{Z}_j \leq Z_0 = \text{const.} \quad (5)$$

Функции цели:

$$P_z = \sum_{i=1}^n \bar{P}_i + \sum_{j=n+1}^m \bar{P}_j = \text{max.} \quad (6)$$

Для избавления от жестких ограничений (1), (3), (4) введем искусственную функцию.

Для первой группы мероприятий

$$\text{если } 0 \leq Z_i \leq Z_{i\text{min}}, \text{ то } \bar{P}_i = 0, \quad (7)$$

$$\text{если } Z_{i\text{min}} \leq \bar{Z}_i \leq Z_{i\text{max}}, \text{ то } \bar{P}_i = a_i + b_i \bar{Z}_i + x_i \bar{Z}_i^2, \quad (8)$$

$$\text{если } \bar{Z}_i > Z_{i\text{max}}, \text{ то } \bar{P}_i = a_i + b_i Z_{i\text{max}} + x_i Z_{i\text{max}}^2. \quad (9)$$

Для второй группы мероприятий:

$$\text{если } \bar{Z}_j \geq Z_j, \text{ то } \bar{P}_j = P_j, \quad (10)$$

$$\text{если } \bar{Z}_j < Z_j, \text{ то } \bar{P}_j = 0. \quad (11)$$

В этом случае математическая форма постановки задачи примет следующий вид:

$$\bar{P}_i = \begin{cases} a_i + b_i \bar{Z}_i + x_i \bar{Z}_i^2 & \text{при } 0 < Z_i \leq \bar{Z}_i \leq Z_{i\text{max}} \\ a_i + b_i Z_{i\text{max}} + x_i Z_{i\text{max}}^2 & \text{при } \bar{Z}_i > Z_{i\text{max}} \\ 0 & \text{при } 0 \leq Z_i \leq Z_{i\text{min}} \end{cases} \quad (12)$$

$$\bar{P}_j = \begin{cases} P_j & \text{при } \bar{Z}_j \geq Z_j \\ 0 & \text{при } \bar{Z}_j < Z_j \end{cases} \quad (13)$$

Ограничения:

$$Z_j > 0, \quad \sum_{i=1}^n \bar{Z}_i + \sum_{j=n+1}^m \bar{Z}_j \leq Z_0 = \text{const.}$$

Функции цели:

$$P_z = \sum_{i=1}^n \bar{P}_i + \sum_{j=n+1}^m \bar{P}_j = \text{max.}$$

Зависимость предотвращенного экономического ущерба от объема приведенных затрат на воздухоохраные мероприятия может характеризоваться сложной ломаной линией. Однако прерывность функции $P(Z)$ практически не позволяет воспользоваться аналитическими математическими методами для поиска оптимального решения при выборе комплекса мероприятий. Для решения данной задачи возможно применение одного из численных методов поиска экстремума функций многих переменных и, в частности, метода динамического программирования [1, 4].

Эколого-экономическое моделирование должно обеспечить решение таких задач, как выбор вариантов развития производства на предприятии; выбор оптимальных природоохраных мероприятий в условиях конкретного предприятия и региона; выбор места расположения промышленных предприятий; оптимизация капиталовложений в условиях промышленного региона; улучшение планировки городов и др. Эколого-экономическое моделирование наиболее действенно может быть реализовано при разработке целевых комплексных программ охраны природы в качестве разделов проектов территориального развития (генпланов городов). Данный подход позволит придать целенаправленность всем этапам работ, внедрить в схему их проведения последовательность включения исполнителей, т. е. задействовать программно-целевой метод. При этом появляется реальная возможность сконцентрировать усилия на важнейших направлениях, обеспечить комплексность решения вопросов охраны природы, обеспечить формирование контрольных цифр природопользования с учетом конкретных целей защиты природной среды и минимизации затрат.

Названные методологические принципы были положены в основу схемы, а также координационной программы работ по разработке сводного тома «Охрана атмосферы и предельно допустимые выбросы» по Алма-Ате в качестве раздела территориальной комплексной схемы охраны природы и генерального плана города на период до 2005 г. Координаторами работ выступили Алма-Атинский горисполком и Казгидромет. Исполнителями были: Минздрав Казахской ССР, Алма-Атинский центр наблюдения за загрязнением природной среды, ГПИ Казгипроград, Казгипрокоммунстрой, САО ВНИПИЭнергопром, НПО Казавтотранстехника и предприятия Алма-Аты. Минздрав подготавливает материалы по влиянию антропогенных факторов на здоровье населения города; Алма-Атагипрогор и Казгипроград решают общие вопросы развития народнохозяйственного комплекса, а также разрабатывают общегородские воздухоохраные мероприятия; ЦНЗПС и Казгипроград анализируют состояние и причины загрязнения воздушного бассейна города и их прогноз на перспективный срок, осуществляют формирование проблемных задач по оздоровлению атмосферного воздуха. САО ВНИПИЭнергопром занимается вопросами перспектив теплоснабжения и снижения антропогенного воздействия теплоисточников, Казгипрокоммунстрой и НПО Казавтотранстехника рассматривают и обеспечивают поиск и решение

природоохранных вопросов на транспорте и т. д. Предприятия города разрабатывают на вариантной основе мероприятия, обеспечивающие установленные контрольные ПДВ (ВСВ) для источников выбросов. Программа согласована всеми институтами и организациями — исполнителями и утверждена руководством Алма-Атинского горисполкома и Казгидромета.

Сводный том норм ПДВ (ВСВ) по Алма-Ате позволит региональным органам управления (горисполком), предприятиям, а также контролирующим организациям иметь обоснованную с экологической и экономической точек зрения долгосрочную целевую программу работ по обеспечению качества воздушного бассейна города, соответствующего санитарно-гигиеническим нормативам.

ПРИЛОЖЕНИЕ

СХЕМА ПРОВЕДЕНИЯ РАБОТ ПО ФОРМИРОВАНИЮ ЦЕЛЕВОЙ КОМПЛЕКСНОЙ ПРОГРАММЫ ПО ОХРАНЕ ВОЗДУШНОГО БАССЕЙНА ГОРОДА

1. Прогнозная система.

1.1. Блок инженерных изысканий.

1.1.1. Модуль проведения инвентаризации существующих источников выбросов вредных веществ, а также формирование характеристик источников выбросов для планируемых к расширению и новому строительству предприятий согласно обосновывающим материалам на строительство и реконструкцию народнохозяйственных объектов, удельным величинам выбросов на единицу продукции и т. д.

1.1.2. Модуль определения существующих и расчетных перспективных электрических и тепловых нагрузок, автотранспортного парка, демографических характеристик.

1.2. Блок прогнозных проработок вариантов социально-экономического развития города.

1.2.1. Модуль формирования вариантов развития промышленного потенциала города согласно схемам развития отраслей, формирование предложений по развитию селитебных территорий.

1.2.2. Модуль прогнозных проработок развития теплоснабжения, транспортной сети города.

1.3. Блок прогнозных расчетов уровня загрязнения атмосферного воздуха в целом по городу.

1.3.1. Модуль расчетов рассеивания существующих и прогнозируемых выбросов вредных веществ в атмосферный воздух.

1.4. Блок расчета величин экологических ограничений.

1.4.1. Модуль определения прогнозных объемов снижения выбросов для доминантных источников загрязнения, величин пред-

отвращенного экономического ущерба от снижения выбросов до нормативных величин.

1.4.2. Модуль определения прогнозных платежей за ущерб, причиняемый выбросами вредных веществ предприятиями города.

2. Расчетная подсистема.

2.1. Блок разработки воздухоохраных мероприятий.

2.1.1. Модуль разработки мероприятий по внедрению на предприятиях мало- и безотходных, ресурсо- и энергосберегающих технологических процессов, установке новых систем очистки выбросов, централизации источников выбросов и повышения их высоты.

2.1.2. Модуль разработки мероприятий градостроительного характера, по организации санитарно-защитных зон предприятий и санитарных разрывов между промузлами и жилыми территориями, по репрофилированию и выносу промышленных предприятий, формированию новых схем развития территориально-производственного комплекса города на основе взаимoutilизации промышленных отходов.

2.1.3. Модуль разработки мероприятий по газификации промышленности, транспорта, источников теплоснабжения.

2.1.4. Модуль разработки мероприятий по оптимизации сети транспортных магистралей и транспортных потоков.

2.1.5. Модуль разработки мероприятий по расширению сети и парка электротранспорта, переводу автотранспорта на использование неэтилированного бензина и внедрению аппаратов каталитической очистки выбросов.

2.2. Блок расчета эколого-экономических характеристик.

2.2.1. Модуль расчета объемов затрат на осуществление воздухоохраных мероприятий технического, технологического, градостроительного, организационного характера.

2.2.2. Модуль расчета предотвращенного экономического ущерба от снижения выбросов вредных веществ в атмосферный воздух, оптимальной организации промышленных и жилых территорий города.

2.2.3. Модуль расчета временных характеристик осуществления воздухоохраных мероприятий.

3. Нормативная подсистема.

3.1. Блок расчета оптимальной структуры воздухоохраных мероприятий.

3.1.1. Модуль расчета оптимальной структуры воздухоохраных мероприятий методом динамического программирования по условиям минимизации затрат и максимальных значений предотвращенного экономического ущерба, выражающего эффективность планируемых мероприятий.

3.1.2. Модуль расчета сроков осуществления воздухоохраных мероприятий, источников финансирования, распределения функций заказчиков и подрядчиков работ.

3.2. Блок формирования эколого-экономических нормативов.

3.2.1. Модуль формирования нормативов ПДВ (ВСВ) и сроков

их достижения по источникам выбросов народнохозяйственных объектов города.

3.2.2. Модуль расчета перспективных платежей за ущерб, наносимый выбросами вредных веществ.

3.2.3. Модуль формирования фонда воздухоохраных средств на предприятиях города, а также централизованного общегородского фонда.

3.3. Блок формирования контрольных цифр.

3.3.1. Модуль контрольных цифр по охране атмосферного воздуха по предприятиям и организациям.

3.3.2. Модуль государственных заказов по осуществлению отраслевых и общегородских воздухоохраных мероприятий.

3.3.3. Модуль исполнителей и соисполнителей работ по осуществлению воздухоохраных мероприятий (проектирование, строительство и монтаж, эксплуатация).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Аванесов А. Г. Методика распределения капитальных вложений между организационно-техническими мероприятиями // Тр. ВНИПИЭнергопром. — 1981. — С. 62—70.
2. Антоновский М. Я., Литвин В. А., Виноградова Н. М., Никонорова М. О. Прогностические эколого-экономические модели // Проблемы фонового мониторинга состояния природной среды. — Л.: Гидрометеиздат. 1986. — Вып. 4. — С. 212—216.
3. Балацкий О. Ф., Мельник А. Г., Яковлева А. Ф. Экономика и качество окружающей природной среды. — Л.: Гидрометеиздат. — 1984. — 185 с.
4. Беллман Р. Динамическое программирование / Пер. с англ. / Под ред. Н. Н. Воробьева. — М.: Мир, 1960. — 400 с.
5. Лемешев М. Я. Эколого-экономическая модель природопользования // Всесторонний анализ окружающей природной среды. — Л.: Гидрометеиздат. — 1976. — С. 266—276.

*Э. И. МОНОКРОВИЧ, М. П. ВЛАСЮК,
Т. С. КРИХЕЛИ*

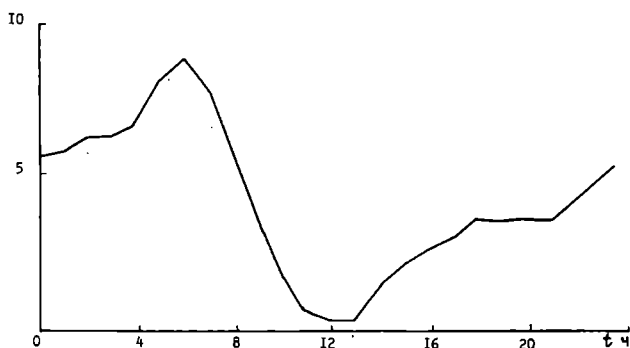
ПОТЕНЦИАЛЬНАЯ ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ЭФФЕКТИВНОСТЬ ИСКУССТВЕННОГО РАССЕЯНИЯ ПЕРЕОХЛАЖДЕННЫХ ТУМАНОВ В АЭРОПОРТУ АЛМА-АТА

Туманы, как опасные для авиации явления погоды, во многих местах, в том числе и Алма-Ате, наносят наибольший ущерб авиапредприятиям. Они — наиболее частая причина нарушений (иногда длительных, до 3—4 сут) регулярности полетов. Основные климатические характеристики туманов, наблюдавшихся в 1981—1985 гг. в Алма-Атинском аэропорту, отражены в таблице и на рисунке.

Приведенные данные свидетельствуют о том, что в ноябре—марте туманы в Алма-Атинском аэропорту — явление довольно частое. Естественно, это отрицательно сказывается на экономических показателях Алма-Атинского авиапредприятия и тех авиаотрядов, чьи самолеты летают в Алма-Ату.

Климатическая характеристика туманов
в аэропорту Алма-Ата

Месяц	Непрерывная продолжительность, ч		Среднее число
	средняя	максимальная	
Январь	5,0	20	20,0
Февраль	4,5	17	18,0
Март	4,7	15	2,5
Ноябрь	4,8	14	6,3
Декабрь	5,5	21	16,3
За сезон			63,1



Суточный ход вероятности возникновения переохлажденных туманов

Один из путей повышения регулярности полетов при туманах — это дальнейшее техническое оснащение аэродромов оборудованием, позволяющим производить посадку самолетов по категорированным минимумам. Несмотря на то, что аэродром Алма-Ата может работать по минимуму II категории (минимальная видимость на ВПП при посадке 400 м), орографические особенности аэродрома и характер местных синоптических процессов холодного полугодия благоприятствуют образованию настолько густых туманов (видимость < 100 м), что и взлет, и посадка самолетов всех типов полностью исключаются.

Таким образом, самое радикальное средство повышения регулярности полетов в условиях аэропорта Алма-Ата — искусственное рассеяние туманов. В 1965—1974 гг. (с перерывами) попытки искусственного рассеяния переохлажденных туманов здесь пред-

принимались [1]. Туман в районе ВПП засеивался гранулами твердой углекислоты (сухого льда) с самолета Ил-14. Однако это оказалось недостаточно эффективно и экономически невыгодно. Во-первых, эффективно рассеивать удавалось лишь радиационные туманы, при активных ВПП вновь быстро затягивалась и поэтому было необходимо производить непрерывный засев. Во-вторых, приспособленный для борьбы с туманом самолет практически был непригоден для выполнения авиаперевозок, прибыль он не «привозил», тогда как она на него планировалась. В итоге при том объеме авиаперевозок, которое выполняло тогда авиапредприятие, содержание этого самолета себя не оправдывало.

В те же годы в Алма-Атинском аэропорту проводились также эксперименты по воздействию на переохлажденный туман с земли, с введением в туман аэрозолей йодистого серебра от пиротехнических и жидкостных генераторов или ядер кристаллизации, полученных на выходе углекислотных установок [1].

Основным недостатком использования аэрозолей йодистого серебра является то, что ими можно воздействовать на туман лишь при температуре ниже -6°C . Применение углекислотных установок весьма трудоемко, дорого и недостаточно эффективно. За рубежом для рассеяния переохлажденных туманов с земли в качестве хладореагента используется пропан. Однако его применение в аэропортах нашей страны имеет ряд специфических особенностей, которые не позволяют широко использовать его на практике.

В связи с увеличением в последние годы объема авиаперевозок и переходом авиапредприятий на хозрасчет встает вопрос о возобновлении работ по рассеянию туманов с использованием последних достижений науки и техники.

В ЦАО в последние годы разработана технология воздействия с земли на переохлажденный туман с применением в качестве хладореагента жидкого азота [2] и созданы соответствующие технические средства воздействия — генераторы мелкодисперсных частиц льда (ГМЧЛ). В разработанных установках ядра кристаллизации образуются за счет резкого охлаждения до низких температур объема влажного воздуха. Методика же воздействия на туман с применением наземных ГМЧЛ во многом сходна с той, которая разработана для пропановых установок. К настоящему времени эта методика опробована в экспериментах в аэропортах Кишинев, Минеральные Воды, Шереметьево. Получены обнадеживающие результаты, на основании которых решается вопрос о проведении регулярных работ по искусственному рассеянию переохлажденных туманов в аэропорту Алма-Ата по договору с ЦАО. В связи с этим нами оценен ожидаемый экономический эффект от выполнения указанных работ.

Для первого варианта расчета использованы многолетние климатические характеристики аэропорта и расписание движения воздушных судов за период с ноября 1988 г. по март 1989 г. Для осреднения климатической вероятности возникновения тумана в различные часы (рисунок) сутки разбиты на пять интервалов.

Для каждого из них выписаны из расписания числа вылетов и прилетов самолетов. Оценка удельного ущерба (точнее — упущенной выгоды) от задержки самолета каждого типа на один час приняты по данным инструкции МГА № 476/У-1.

Расчетная формула выглядит следующим образом:

$$\Delta Y_i = A_j N_i \bar{t}_i r \eta \sum_{k=1}^m \sum_{j=1}^n P_k S_j$$

Здесь ΔY_i — предотвращаемый ущерб в результате рассеяния туманов в i -м месяце; N_i — число суток в i -м месяце; \bar{t}_i — средняя продолжительность туманов в этом же месяце; A_j — удельный размер упущенной выгоды при задержке на 1 ч самолета j -го типа; r — доля туманов, подлежащих рассеянию (т. е. тех туманов, при которых видимость ниже минимума); η — коэффициент полезного действия системы рассеяния туманов; m — число интервалов, на которое разбиты сутки (в данном случае $m=5$); P_k — средняя вероятность возникновения тумана в k -м интервале суток; S_j — число вылетов и прилетов самолетов j -го типа в k -м интервале суток.

В этой формуле лишь показатели r и η оценены экспертным способом, причем их значения приняты, ради осторожности, ближе к нижнему пределу диапазона их реальных величин.

Только по трем типам самолетов — Ил-86, Ту-154 и Ту-134 — предотвращаемый путем рассеяния туманов ущерб за период ноябрь—март составит в среднем 2,94 млн. р. (при объеме авиаперевозок на уровне 1988—1989 г.г.). Этот эффект может быть достигнут только благодаря уменьшению задержек рейсов. Возможное снижение числа уходов на запасной аэродром (ЗА) и связанное с этим уменьшение ущерба в расчет не принято.

Второй вариант расчета произведен по фактическим данным за ноябрь и декабрь 1987 г. Из суточных ведомостей диспетчерской службы авиапредприятия были сделаны выписки о задержках вылетов самолетов Ил-86, Ту-154 и Ту-134, а также о прерванных рейсах за этот период из-за туманов в аэропорту Алма-Ата. Туманы, приводившие к нарушению регулярности полетов, отмечались 1, 19, 20, 21 и 22 ноября и 11, 12, 19, 20, 23, 24, 27 и 28 декабря. Суммарная задержка вылетов составила для Ил-86 47,7 ч, для Ту-154 691 ч, для Ту-134 435 ч. Согласно инструкции МГА о возмещении убытков, связанных с нарушениями регулярности полетов, упущенная выгода от простоя Ил-86 оценивается в 3000 р./ч, для Ту-154 — 1600 р./ч, для Ту-134 — 700 р./ч. Таким образом, упущенные выгоды от задержек вылетов из-за тумана в ноябре—декабре 1987 г. составили 1553 тыс. р. За этот же период и по той же причине имели место уходы на ЗА по Ил-86 — 3, по Ту-154 — 21 и по Ту-134 — 15 случаев. Для оценки ущерба от прерванных рейсов взята плановая себестоимость на 1988 г. одного часа полета Ил-86, Ту-154 и Ту-134. Время непро-

изводительных полетов — с точки принятия решения об уходе на ЗА, до ЗА и от ЗА до аэропорта Алма-Ата — согласно анализу диспетчерских данных в среднем составляет 1 ч 20 мин. Ущерб от одного прерванного рейса в среднем составляет по Ил-86 4330 р.; по Ту-154 1527 р. и по Ту-134 819 р. Всего из-за прерванных рейсов ущерб составил 57,3 тыс. р. Общий ущерб из-за туманов только за 2 мес оценивается в сумме 1610,3 тыс. р. (округленно 1,6 млн. р.).

При рассеянии переохлажденных туманов путем наземного воздействия жидким азотом эффективность борьбы с туманами в целом, по оценкам авторов методики (специалистов ЦАО), составит не менее 80%. Поэтому предотвращенный ущерб за эти месяцы мог быть равен 1,28 млн. р.

Анализ климатической характеристики аэропорта. Алма-Ата показывает, что из общего количества туманов за холодное полугодие на ноябрь—декабрь приходится в среднем 40% случаев. Учитывая, что объем летней работы в январе, феврале и марте остается на том же уровне, что и в ноябре—декабре, общий предотвращаемый ущерб от рассеяния туманов за сезон составит

$$\Delta Y = \frac{1,28}{0,4} = 3,2 \text{ млн. р.}$$

Этот результат хорошо согласуется с итогом расчетов по среднеклиматическим данным (2,9 млн. р.). Разница в 10% отражает погодные особенности преддизимья 1987 г.

Для определения ожидаемой экономической эффективности рассеяния туманов нужно соизмерять предотвращаемый ущерб с затратами на осуществление этого мероприятия. В данном случае затраты авиапредприятия складываются из следующих статей:

1) стоимость технических средств воздействия 24 тыс. р., срок их действия 10 лет, таким образом, доля стоимости, относимая на один год, составляет 2400 р.;

2) стоимость жидкого азота 9800 р./год;

3) стоимость использования в течение 5 мес двух автомашин ЗИЛ-130 и одной УАЗ-469 (при аренде их со стороны) примерно 20 000 р.;

4) командировочные средства для специалистов ЦАО по авторскому надзору 2500 р.;

5) заработная плата группы воздействия (18 чел. при двухсменной работе) за 5 мес 18 000 р.

Суммарные затраты по группе воздействия за сезон составят не более 52,7 тыс. р.

Показатель ожидаемой экономической эффективности весьма высок:

$$\Xi = \frac{2900000}{52700} = 55 \text{ р. на 1 р. затрат.}$$

При этом не учтена выгода от повышения регулярности полетов ВС других типов — Ан-24, Як-40, Як-42 и др.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Власюк М. П., Серегин Ю. А., Серогодский А. В., Черников А. А. Применение жидкого азота для создания перспективных средств воздействия // Всесоюзная конференция по активным воздействиям на гидрометеорологические процессы / Тезисы докладов. Обнинск. — 1987. — 23 с.
2. Гайворонский Н. И., Зацепина Л. П., Зимин Б. И. Двадцать пять лет исследований в ЦАО в области искусственных воздействий на облака и туманы (обзор) // Тр. ЦАО. — 1976. — Вып. 104. — С. 3—23.

Э. И. МОНОКРОВИЧ

КЛИМАТОЛОГИЧЕСКАЯ ИНФОРМАЦИЯ В ЭНЕРГОСТРОИТЕЛЬСТВЕ

Капиталоемкость энергетических предприятий — электростанций, котельных, линий электропередачи, теплосетей — в большой степени зависит от тех их параметров, которые рассчитываются с учетом климатологических данных. Такая, например, характеристика, как повторяемость и интенсивность пыльных бурь и обильных осадков, решающим образом влияет на выбор типа котельных, проектируемых для южных районов страны: открытых, полуоткрытых или закрытых. Об экономическом значении этой климатологической характеристики говорит тот факт, что полуоткрытая котельная с четырьмя котлами КВГМ-200 почти на 5 млн. р. дешевле, чем закрытая. Как показано в [1], сведения о повторяемости и преобладающих направлениях буревых ветров, а также о гололедно-изморозевом режиме учитываются при проектировании ЛЭП и во многом определяют их стоимость. Сведения о температурном и ветровом режиме являются важнейшей исходной информацией для расчета тепловых нагрузок, выбора типа ТЭС и основного оборудования для него. Повторяемость инверсий, штилей, туманов, а также характеристики ветрового режима влияют на выбор места расположения ТЭС и котельных, высоты дымовых труб, а иногда и типа устройств для очистки дымовых газов от вредных веществ. Данные о летнем температурно-влажностном режиме нужны для проектирования градирен, прудов-охладителей и т. п.

В Советском Союзе на энергостроительство ежегодно затрачиваются огромные суммы. Так, в Казахстане только по линии республиканского Министерства энергетики в последние годы расходы составляют примерно 600 млн. р./год. Отсюда очевидно, что снижение капиталоемкости объектов даже на 1—2% сулит крупный экономический эффект.

По мере роста мощностей и технического усложнения энергопредприятий, ввода новых (более жестких) природоохранных стандартов возрастают и требования со стороны проектировщиков к климатологической информации. Поэтому представляется целесообразным определить — с учетом современных техниче-

ских тенденций в энергостроительстве — основные направления дальнейших исследований в соответствующих областях прикладной климатологии.

Одним из крупнейших потребителей энергии являются системы отопления зданий. Согласно [3], в СССР на отопление расходуется около 25% вырабатываемой энергии. На экономических показателях систем теплоснабжения отрицательно сказывается неравномерный характер потребления тепла (колебания сезонные и внутрисуточные). Для улучшения режима работы источники теплоснабжения подразделяются на базисные и пиковые. Первые — более дорогие и сложные агрегаты, но имеющие более высокие КПД, вторые — менее экономичные по расходу топлива, но более дешевые и маневренные в смысле запуска и регулирования нагрузки. При этом и те и другие в качестве энергоносителя дают горячую, точнее перегретую, воду. Поэтому все элементы систем теплоснабжения — пиковые водогрейные котлы, бойлеры, насосы, трубопроводы, отопительные приборы — рассчитываются на максимальную подачу тепла, соответствующую расчетной температуре отопления (РТО). А поскольку обеспеченность РТО составляет менее 1% [1], все эти элементы большую часть времени работают со значительной недогрузкой. Если учесть, что стоимость системы теплоснабжения в расчете на 1 тыс. жителей в среднем составляет 300 тыс. р. [1], то эта недогрузка означает омертвление крупных капиталовложений. К тому же трубы распределительной теплосети и отопительные приборы из-за коррозии через 20—25 лет, а иногда и раньше выходят из строя.

В последнее время все больше приверженцев находит концепция осуществления двух вводов энергоносителей в отапливаемые помещения: горячей воды — для круглосуточной подачи с целью покрытия базисной части нагрузки, и электроэнергии — для периодической подачи с целью использования в пиковом режиме. Как будет показано (рис. 1), подача тепла, превышающая 60% максимума, требуется в течение 25% продолжительности отопительного сезона. Это позволяет существенно уменьшить мощность, а значит, и стоимость водяной системы отопления; электроэнергия же может подаваться в основном в ночные часы, когда понижается температура наружного воздуха, и тепловая нагрузка возрастает, а электрическая нагрузка энергосистемы уменьшается. Благодаря последнему обстоятельству для выработки этой электроэнергии не требуется дополнительной генерирующей мощности. Более того, выработка отопительной энергии позволяет заполнять ночной провал в графике потребления электроэнергии, что положительно влияет на экономические показатели энергосистемы.

Для обоснования и выбора оптимального соотношения мощностей базисного и пикового оборудования систем отопления при вводе двух энергоносителей целесообразно в СНиП в раздел «Строительная климатология и геофизика» включить таблицы повторяемости температур наружного воздуха в часах. Эти данные позволяют наглядно представлять себе режим работы базисных и

пиковых мощностей теплоэлектроцентралей и систем отопления, а также определять годовую потребность в горячей воде и электроэнергии для отопления здания. В этих таблицах должны быть представлены числа часов стояния температур наружного воздуха в диапазоне от 8°C до абсолютного минимума.

Такие же таблицы или интегральные температурные кривые для жаркого периода года необходимы для проектирования установок кондиционирования воздуха. В южных областях Казахстана, республиках Средней Азии и Закавказья кондиционные установки постепенно становятся обязательным элементом инженерного оснащения зданий. Параллельно увеличивается и потребление энергии на кондиционирование воздуха — электрической при

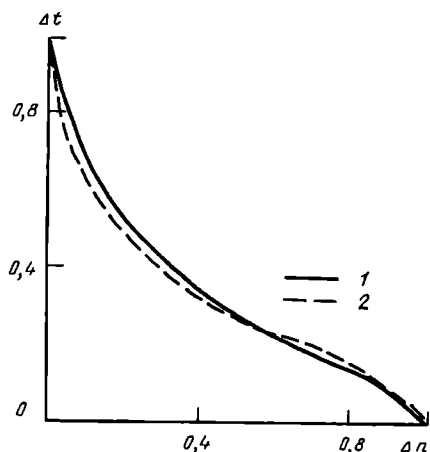


Рис. 1. Кривые стояния зимних (1) и летних (2) температур по продолжительности

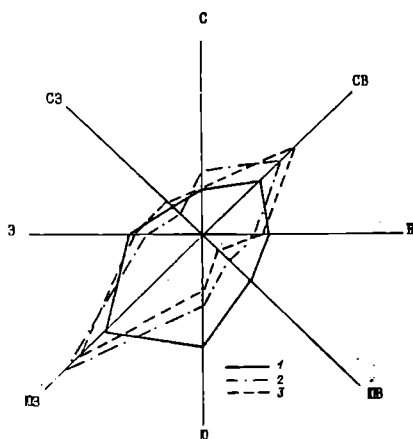


Рис. 2. Розы ветров на АМСГ Бундай у земли (1), на высоте 100 м (2) и 200 м (3)

выработке холода компрессионным способом или тепловой, если холод вырабатывается абсорбционными или пароэжекторными машинами. Характерно, что в США потребление энергии для кондиционирования воздуха заполняет летний провал в годовых графиках нагрузки энергосистем. В указанных выше регионах СССР отопительный сезон относительно короток, что предопределяет небольшую (сравнительно с более северными районами) выработку тепла на единицу генерирующей мощности. Отсюда больший срок окупаемости капитальных затрат на сооружение систем теплоснабжения. Годовое число часов стояния максимума нагрузки кондиционных установок для южных районов страны также не превышает 1500 [4]. Основной путь преодоления отрицательных экономических последствий сезонности тепло- и хладоснабжения — комплексирование этих процессов на единой энергетической основе. Для выбора оптимального способа производства холода необходимы интегральные температурные кривые для диапазона от 23°C до абсолютного минимума.

На основании проработки климатологических материалов по югу Казахстана нами построена кривая стояния зимних температур воздуха по продолжительности, с помощью которой можно легко находить осредненное число часов стояния любой температуры. Эта кривая, вычисленная в относительных величинах, показана на рис. 1, а соотношение продолжительности стояния Δn и соответствующих температур Δt приведено ниже

Δt	0,0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0
Δn	1,0	0,6	0,48	0,4	0,35	0,29	0,24	0,19	0,13	0,07	0,02

Здесь $\Delta t=1$ соответствует зимней расчетной температуре отопления, $\Delta t=0$ — температуре 10°C , а $\Delta n=1$ — продолжительности отопительного периода для данной местности.

Таким же способом построена кривая стояния летних температур (рис. 1). Как показали расчеты тепловых балансов типовых зданий, значительные теплоизбытки, при которых требуется включение кондиционеров, в условиях юга Казахстана появляются при наружной температуре 23°C и выше. Вот средние числа часов стояния температур воздуха 23°C и выше для Чимкента.

Температура воздуха	23	25	27	29	31	33	35	37	39	41
Число часов стояния.	2550	1632	1160	837	540	312	135	44	8	1

Летние расчетные параметры воздуха выбираются в зависимости от класса кондиционных установок: для установок I класса принимают абсолютный максимум для данного пункта, т. е. $t_{\text{макс}}$; для установок II класса — $t_{II} = (t_{\text{с. ж}} + t_{\text{макс}})/2$, где $t_{\text{с. ж}}$ — средняя температура наиболее жаркого месяца в 13 ч; для установок III класса — $t_{III} = t_{\text{с. ж}}$.

Из этих данных видно, что установки III класса в течение 11% времени жаркого сезона не смогут обеспечить заданных условий в обслуживаемых помещениях; установки II класса — в течение 1%.

При выборе площадок для строительства тепловых электростанций и котельных установок на практике обычно учитываются розы ветров, построенные по материалам наблюдений метеостанций. Как известно, на метеостанциях параметры ветра измеряются на высоте 10 ± 2 м. На современных ТЭС и крупных котельных строятся дымовые трубы высотой 100—400 м, вследствие чего ориентация на приземную розу ветров может привести к серьезным ошибкам.

Материалы шаропилотных наблюдений, производимых на АМСГ I—III категорий, а также радиозондирования атмосферы

дают возможность по довольно большому числу пунктов строить розы ветров на высоте устьев труб. Это даст проектировщикам весьма ценную информацию. Вот пример в подтверждение сказанному. Алма-Атинская ТЭЦ-2 размещена к западу от города, что соответствует наземной розе ветров. По данным шаропилотных наблюдений АМСГ Бурундай, находящейся недалеко от этой ТЭЦ, нами построены розы ветров на высотах 100, 200, 300, 500 м и у земли (рис. 2). Разница в преобладающих румбах очевидна.

Расчеты показывают, что наибольших значений концентрации вредных веществ в приземном слое воздуха достигает при так называемых опасных скоростях ветра (4—6 м/с). Было бы целесообразно в соответствующем разделе СНиПа поместить розы ветров этих опасных скоростей.

Для выбора и обоснования природоохранных мероприятий и расчета приземных концентраций вредных веществ при неблагоприятных метеоусловиях (НМУ) нужно знать диапазон зимних температур наружного воздуха, при которых наступает НМУ; длительность стояния НМУ по основным регионам страны; уточненные вертикальные градиенты при НМУ (в настоящее время на всю огромную территорию Казахстана в нормативных материалах [5] дается одно значение коэффициента A , равное 200); данные о сочетании низких температур, в первую очередь — самой холодной пятидневки и самых холодных суток, с опасными скоростями ветра. Очевидно все эти данные следовало бы поместить в специальном приложении к СНиПу.

При строительстве ГРЭС и ТЭЦ от 5 до 10% капитальных затрат приходится на гидротехнические сооружения — градирни, брызгальные бассейны, пруды-охладители. Некоторых из необходимых для проектирования этих сооружений сведений нет ни в СНиПе, ни в Справочнике по климату СССР. Целесообразно было бы включить в СНиП следующие данные:

а) значения среднемесячных температур воздуха и относительной влажности в 13 ч для лета среднего года (50%-ной обеспеченности) и для лета жаркого года (10%-ной обеспеченности);

б) значения максимальных дневных (в 13 ч) летних температур воздуха и соответствующих им значений относительной влажности 50- и 10%-ной обеспеченности;

в) значения 90%-ной обеспеченности среднемесячных ночных (в 24 и 6 ч) температур воздуха и относительной влажности для зимы;

г) среднемесячные значения испарения с водной поверхности.

В настоящее время к выпуску готовится новое издание Справочника по климату СССР. При обсуждении его макета ряд замечаний и пожеланий был высказан проектировщиками ЛЭП и изыскателями проектных институтов Сельэнергопроект, Энергосетьпроект и ВНИПИЭнергопром. Так, в разделе о гололедно-изморозевых отложениях нового справочника не будет некоторых необходимых данных для расчета механических нагрузок на ЛЭП. Эти данные в имеющихся справочниках приведены до 1970 г., бо-

лее поздних данных нет. Поэтому проектировщики пользуются метеорологическими ежемесячниками, где в разделе «Данные наблюдений за гололедно-изморозевыми отложениями» приведены значения температуры воздуха и данные о направлениях и скорости ветра в начале отложения и при достижении максимальных размеров отложений. Однако использование этих данных приводит к занижению расчетных механических нагрузок и, как следствие, к более частым авариям на ЛЭП. Необходимы данные о максимальных скоростях ветра не при достижении максимальных размеров, а за все время обледенения (эти данные были в старых климатических справочниках).

Анализ материала климатических справочников показывает, что максимальная скорость ветра за все время обледенения существенно, иногда в несколько раз превышает максимальную скорость ветра при достижении максимальных размеров отложений, а так как скорость ветра в расчетную формулу входит в квадрате, то при занижении ее в два раза механическая нагрузка окажется заниженной в четыре раза. Легко представить себе последствия этой ошибки.

Выход из положения видится в том, чтобы в метеорологических ежегодниках вместо трех колонок с данными о температуре и ветре при максимальной величине отложений помещать аналогичные данные за все время обледенения проводов.

В новом Справочнике по территории Казахской ССР будут приведены материалы наблюдений всего по 120 метеостанциям, тогда как в прежних изданиях они были приведены по 309—392 точкам. По некоторым областям будут приведены данные всего по 2—3 пунктам, что совершенно недостаточно для проектирования ЛЭП, протяженность которых в Казахстане часто выражается сотнями километров.

И еще одно пожелание, высказанное специалистами указанных проектных институтов. По ряду пунктов расчетные значения некоторых метеозадающих элементов, приведенные в СНиПах, изданных в 1982 г., и в Справочнике по климату СССР, отличаются друг от друга. Иногда эти различия весьма существенны. Так, в СНиПе (с. 35) по Усть-Каменогорску РТО равна -39°C , а в Справочнике — -33°C . По Баянаулу разность этих же величин составляет 4°C . Такая разница приводит к значительному удорожанию проектируемых объектов, так как в СНиПе (руководящем документе для проектировщиков) указаны более низкие значения РТО. Эти разногласия необходимо ликвидировать как можно быстрее.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Методика расчета концентраций в атмосферном воздухе веществ, содержащихся в выбросах предприятий (ОНД-86 Госкомгидромет). — Л.: Гидрометеонадат, 1987. — 92 с.
2. Монокрович Э. И. Анализ обеспеченности расчетных температур отопления по городам Казахстана // Тр. КазНИИ Госкомгидромета. — 1981. — Вып. 74. — С. 61—64.

3. Монокрович Э. И. Гидрометеорологическая информация в народном хозяйстве. — Л.: Гидрометеондат. — 1980. — 172 с.
4. Прузнер С. Л., Златопольский А. Н., Некрасов А. М. Экономика энергетики СССР. — М.: Высшая школа. — 1984. — 424 с.
5. Родимкин Е. Д., Монокрович Э. И. Теплоснабжение и хладофикация городов Средней Азии. — Ташкент: Изд-во АН УзССР. — 1962. — 172 с.

Э. И. МОНОКРОВИЧ, Э. С. КОРНЕЕВА

ЭКОНОМИЧЕСКИЙ ЭФФЕКТ ОТ УЧЕТА ИНФОРМАЦИИ О ВЕТРЕ НА ВЫСОТЕ ПОЛЕТА

Сведения о направлении и скорости ветра на эшелонах полета воздушных судов (ВС) принимаются во внимание при определении навигационного запаса горючего в предполетных инженерно-штурманских расчетах. Эти метеоэлементы непосредственно влияют на продолжительность полета, а значит, и на необходимый запас горючего. Так, при сильном встречном ветре продолжительность полета может оказаться в 1,5—2 раза больше, чем при попутном струйном течении. Увеличение массы взятого в полет горючего приводит к увеличению расхода его (на 40—45 кг/т за 1 ч полета), к уменьшению коммерческой нагрузки ВС, а иногда даже к сливу некоторого количества горючего в воздухе, когда посадочный вес ВС оказывается выше допустимого. При продолжительности полета, скажем, в 4 ч лишние 2 т горючего вызовут напрасный перерасход его в 360 кг.

Направление и скорость ветра на высотных эшелонах, а также устойчивость погоды в районах запасных аэропортов (ЗА) являются основными факторами, определяющими запас горючего. (Другие метеоэлементы, в том числе температура и давление воздуха, оказывают незначительное влияние на продолжительность полета.) При неустойчивой погоде в районе ближнего ЗА запас горючего берется на время полета до пункта назначения плюс на время полета до дальнего ЗА плюс еще на 30 мин полета. Таким образом, наибольшее количество горючего приходится брать при сильном встречном ветре на трассе полета и неустойчивой погоде в районе ближнего ЗА. На эти наиболее неблагоприятные условия полета нужно было бы каждый раз рассчитывать запас горючего, если бы экипажи ВС не получали соответствующую информацию. На практике же они этой информацией располагают, так же как и прогнозом погоды на ближайшие часы. В итоге в большинстве случаев оказывается возможным взять меньший запас горючего.

Для выявления потенциальных возможностей экономии горючего за счет использования западно-восточного переноса атмосферы, а в некоторых случаях — благодаря некоторому изменению трассы и (или) эшелона полета с целью использования попутного вет-

ра нами проанализированы результаты 500 рейсов, выполненных в широтном направлении. Из них 200 рейсов выполнены на территории МНР советскими самолетами Ан-24 по маршрутам Улан-Батор — Улгей, Улан-Батор — Увс, Улан-Батор — Ховд, Улан-Батор — Чойбалсан и др. Остальные 300 рейсов выполнены крупными лайнерами Ту-154 и Ту-134 по маршрутам Алма-Ата — Гурьев, Алма-Ата — Шевченко, Алма-Ата — Кзыл-Орда, Алма-Ата — Минеральные Воды и Алма-Ата — Сочи и обратно. Установлено, что при полетах в направлении с запада на восток расход горючего на самолетах Ан-24 в среднем на 11,6%, а на крупных лайнерах на 10,9% меньше, чем при полетах в обратном направлении (табл. 1). Однако это не значит, что при полетах в восточном на-

Таблица 1

Расход горючего в зависимости от направления полета и типа ВС

Рейс	Тип ВС	Число пар рейсов	Средний расход горючего на 1 полет, кг		Разность	
			на запад	на восток	кг	%
Алма-Ата — Гурьев	Ту-154	29	17 710	15 610	2 100	11,9
Алма-Ата — Шевченко	Ту-154	19	17 493	15 632	1 861	10,6
	Ту-134	4	8 692	8 104	588	6,8
Алма-Ата — Кзыл-Орда	Ту-134	8	4 708	3 986	722	15,3
Алма-Ата — Минеральные Воды (с двумя посадками)	Ту-134	30	14 239	13 025	1 214	8,5
	Ту-154	21	22 557	19 572	2 985	13,2
Алма-Ата — Сочи (двумя посадками)	Ту-134	32	15 337	13 915	1 462	9,5
	Ту-154	7	28 175	24 666	3 509	12,5
Рейсы по территории МНР	Ан-24	100	1 784	1 577	207	11,6

правлении всегда можно брать меньший запас горючего. Анализ показал, что в 11% случаев был боковой ветер, время полета и расход горючего оказывался одинаковым, а в 2% случаев (при восточном ветре) — даже большим, чем при полете в западном направлении. Поэтому только надежное и регулярное получение метеоинформации позволяет реализовать возможности экономии горючего, связанные с западно-восточным переносом атмосферного воздуха или движением ВС по соответствующей периферии барического образования. Изучение отчетных документов (полетных заданий) показывает, что климатические возможности экономии горючего сегодня используются на 93—94%. В остальных случаях посадки ВС производились при значительном избыточном запасе горючего в баках, а в двух случаях из 300 рассмотренных пришлось даже сливать горючее в воздухе из-за превышения фактического веса ВС перед посадкой над допустимым посадочным. Но даже при этом суммарная экономия горючего по указанным 300

рейсам, выполненным ВС Алма-Атинского авиапредприятия, составила 268,5 т на сумму около 17 тыс. р. Всего же за год по всем авиапредприятиям Казахского управления гражданской авиации суммарную экономию горючего за счет этого фактора можно оценить приблизительно в 30 тыс. т на сумму 1,9 млн. р.

Количество сэкономленного горючего за 1 рейс можно подсчитать по формуле

$$\Delta B = (B_{\max} - B_{\phi}) b T,$$

где B_{\max} и B_{ϕ} — соответственно максимальный и фактический навигационный запас; b — удельный часовой расход горючего, кг/т; T — время полета, ч.

Умножив полученный результат на цену горючего (в настоящее время она составляет 63 р./т, что в несколько раз ниже мирового уровня цен на авиационное горючее), можно определить топливную слагающую экономического эффекта от учета метеоинформации при выполнении данного рейса. Но сокращение продолжительности полета за счет попутного ветра имеет и другие слагающие. В табл. 2 приведена структура себестоимости по основным

Таблица 2

Себестоимость (р.) одного летного часа по некоторым типам ВС

Тип ВС	Авиа ГСМ	Амортизационные отчисления	Текущий ремонт	Прочие расходы	Всего
Ил-86	707	1508	65	967	3247
Ту-154	409	330	40	366	1145
Ту-134	200	156	31	219	614

типам ВС, эксплуатируемым Алма-Атинским авиапредприятием на 1988 г. Из этих данных следует, что затраты на горюче-смазочные материалы составляют лишь 22—35% общей суммы расходов на один летный час. В то же время на таких ВС, как Ил-86, амортизационные отчисления более чем вдвое превышают затраты на горючее. А в общем суммарный экономический эффект от сокращения продолжительности полета в 3—4 раза превышает стоимость сэкономленного горючего.

Как уже сказано, облегчение ВС при меньшем запасе горючего позволяет брать больший коммерческий (т. е. оплачиваемый) груз. Анализ полетных заданий показывает, что при полетах с попутным ветром масса коммерческого груза в среднем в 2 раза больше, чем при встречном ветре.

Думается, что эти обстоятельства непременно должны приниматься во внимание при технико-экономическом обосновании мероприятий, направленных на совершенствование обеспечения экипажей информацией о направлении и скорости ветра на эшелонах полета (т. е. развитие сети аэрологических станций и т. д.).

НЕКОТОРЫЕ ОЦЕНКИ ЭКОНОМИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ ИССЛЕДОВАНИЙ ИЗМЕНЕНИИ КЛИМАТИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ ПОД ВЛИЯНИЕМ ОРОШЕНИЯ

Большие потенциальные возможности для развития продуктивного сельского хозяйства в южных областях нашей страны используются далеко не полностью в силу недостаточного влагообеспечения. При освоении новых земель для выработки рационального режима водоиспользования, для оценки расхода воды на орошение и научно обоснованного выбора возделываемых культур проводятся исследования влияния орошения на метеорологический режим и составляющие теплового баланса деятельной поверхности. В данной работе делается попытка определить потенциальную экономическую эффективность таких исследований. Оценка экономической эффективности гидрометеорологической информации имеет целью содействовать внедрению рекомендаций, выработанных на основании исследований метеорологического режима, и принятию наиболее эффективного варианта народнохозяйственного решения. Экономический эффект таких рекомендаций определяется по известной методике, исходя из сравнения дохода, который имел бы место без учета метеорологической информации, с тем доходом, который будет получен с ее учетом. Следует иметь в виду, что речь идет о потенциальной экономической эффективности.

В общем случае экономический эффект может быть определен по известной формуле

$$D = [Y_2(L_2 - C_2) - Y_1(L_1 - C_1)] S, \quad (1)$$

где D — дополнительный доход или предотвращенный ущерб, который может быть получен за счет гидрометинформации; Y_1 , L_1 , C_1 — объем, реализационная цена и себестоимость продукции, которые можно получить с единицы площади без учета гидрометинформации; Y_2 , L_2 , C_2 — объем, реализационная цена и себестоимость продукции, которые можно получить с единицы площади с учетом гидрометинформации; S — площадь, которую занимает данная продукция.

Дополнительный доход может иметь место за счет получения дополнительной продукции, повышения рентабельности производства, снижения себестоимости продукции, экономии труда, материалов и средств.

Корректный расчет экономической эффективности орошения предполагает сравнение приведенных затрат на все мероприятия по освоению новых территорий с тем доходом, который они будут ежегодно приносить. Однако методика расчета экономической эф-

фективности капитальных затрат на орошение пока не разработана. Поэтому представляется целесообразным выделить метеорологические разработки как самостоятельную работу и оценить их экономическую эффективность. При этом следует исходить из того, какое решение было бы принято на основании имеющейся метеорологической информации или при отсутствии таковой и какое решение можно принять на основании проведенных метеорологических исследований.

Рассмотрим использование метеорологической информации при обосновании выбора возделываемой культуры (например, риса) при планировании развития орошения в засушливых районах Казахстана. Различные сорта риса отличаются друг от друга требованиями к тепловым ресурсам (табл. 1). В основу агроклима-

Таблица 1

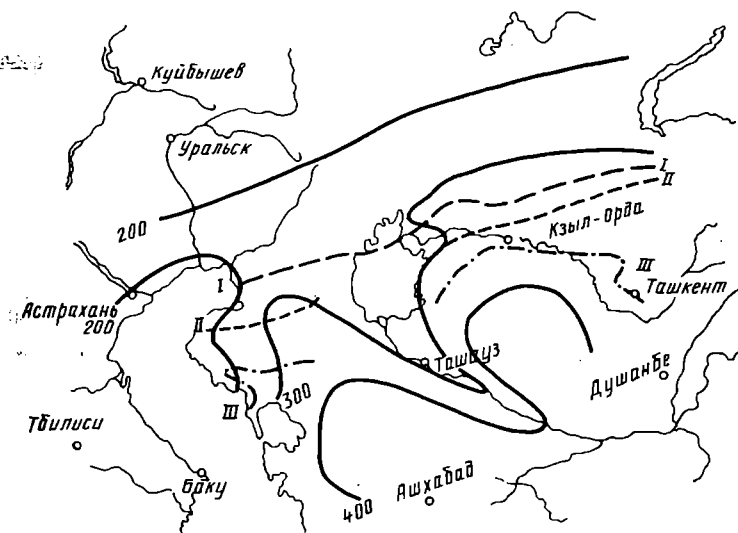
Требования различных сортов риса к тепловым ресурсам

Группа сортов	Продолжительность периода роста растений, дни	Сумма эффективных температур °С
Очень раннеспелые	до 100	до 2500
Раннеспелые	101—110	2500—2750
Среднеспелые	111—120	2750—2900
Позднеспелые	121—125	2900—3000
Очень позднеспелые	126—130	3000—3100

тического районирования рисосеяния Казахстана [2] положены термические ресурсы, характеризуемые суммами температур данного района. На территории Казахстана выделены три термические зоны рисосеяния: северная (I), центральная (II) и южная (III), соответствующие оптимальным условиям для полного ежегодного созревания высоких урожаев раннеспелых, среднеспелых и позднеспелых сортов (рисунок). Границы зон были определены по суммам средних температур выше 15°C. Кривая I, соответствующая сумме температур за вегетационный период 3100°C, означает северную границу возделывания раннеспелых сортов риса, кривые II и III, соответствующие суммам температур 3300 и 3500°C, — границы полного ежегодного созревания средне- и позднеспелых сортов риса соответственно [2].

Между суммой эффективных температур и урожайностью риса существует прямая корреляционная связь. По данным, полученным на агрометеорологической станции в Кзыл-Орде, коэффициент корреляции между суммой эффективных температур за период с мая по конец сентября и урожайностью риса составляет 0,72. Урожай риса при этом колеблется от 30 до 53,4 ц/га, составляя в среднем 40,0 ц/га. Сумма эффективных температур за этот же период менялась в пределах 3387...4053°C. По данным [4, 9, 11] средняя за 1971—1975 гг. урожайность риса сорта Кубань-3 соста-

вила 68,7 ц/га, Краснодарский-424 — 80,0 ц/га. По данным лаборатории селекции Казахского НИИ риса урожайность Кубань-3 за 1979 г. 79,0 ц/га, Краснодарский-424 — 86,9 ц/га. Средняя урожайность риса в Кзыл-Ординской области 42,5 ц/га. При недостатке суммы эффективных температур увеличивается пустозернистость риса. В условиях нормальной теплообеспеченности пустозернистость сорта Кубань-3 составляет 4,7%, сорта Дубовский-129 — 10,3% [4]. В неблагоприятных метеорологических условиях пустозернистость риса увеличивается до 30%, рис сильнее полегает и быстрее развиваются вредные насекомые.



Изменение термических ресурсов вегетационного периода при орошении ($^{\circ}\text{C}$) и северные границы зон рисосеяния

При использовании карты зон рисосеяния для распространения агрономического опыта во вновь осваиваемых массивах необходимо иметь в виду следующее. Испарение на орошаемых полях на несколько градусов понижает среднесуточную температуру воздуха. Оценивая ресурсную ценность земель, необходимо учитывать уменьшение сумм температур, которое будет иметь место на орошаемом поле, по сравнению с суммами температур данного района до орошения.

Влияние орошения на среднесуточную температуру воздуха можно оценить расчетным путем на основе решения системы уравнений тепло- и влагопереноса в приземном слое атмосферы. Подобная оценка проводилась ранее для Туркменской ССР [7, 12] и использовалась для оценки влияния орошения на термические ресурсы пустынь Средней Азии [6]. Результаты расчета изменения сумм температур выше 15°C под влиянием орошения позволили оценить уменьшение коэффициента использования термических ресурсов в ряде районов Казахстана. В табл. 2 приведены

Таблица 2

Коэффициент использования термических ресурсов скороспелыми (1), среднеспелыми (2) и позднеспелыми (3) сортами риса

Станция	До орошения			После орошения		
	1	2	3	1	2	3
Акмолла	1,17	1,09	1,02	0,97	0,91	0,85
Бахарден	1,14	1,06	0,99	1,04	0,97	0,90
Бугдайли	1,04	0,97	0,91	0,96	0,89	0,83
Бурдалык	1,06	0,99	0,93	0,93	0,86	0,81
Данишер-Кала	1,04	0,97	0,90	0,88	0,82	0,76
Зеагли	1,11	1,03	0,97	0,93	0,86	0,81
Казанджик	1,14	1,06	0,99	0,99	0,92	0,86
Тахта-Базар	1,11	1,03	0,97	0,94	0,88	0,82
Чаршаага	1,25	1,17	1,10	1,06	0,99	0,93
Ясхан	1,12	1,04	0,98	0,98	0,91	0,85
Ербент	1,14	1,06	0,99	0,96	0,92	0,86
Бахардок	1,19	1,11	1,04	1,03	0,96	0,89
Термез	1,16	1,08	1,01	1,04	0,97	0,90

значения этого коэффициента для различных сортов риса при фактических ресурсах тепла [11] и после орошения. Как показывает анализ табл. 2, орошение уменьшает эти коэффициенты на 10—15%, что может привести к недостаточной теплообеспеченности некоторых сортов риса. Изменение сумм температур выше 15°C при орошении для равнинной территории термических зон рисосеяния Казахстана приведены на рисунке. Изолинии этого рисунка означают понижение сумм температур, которое будет иметь место в том случае, если в данном районе будет создан орошаемый массив протяженностью несколько километров. Зоны рисосеяния, приведенные на рисунке, установлены на основе оценки теплообеспеченности данного района до орошения [2]; уменьшение сумм температур после орошения потребует уточнения северных границ каждой зоны. Так, например, в первой зоне это уменьшение составит 200 ... 300°C, и сумм температур будет недостаточно для гарантированного урожая даже раннеспелых сортов.

Вблизи северной границы зоны III сумма эффективных температур за вегетационный период составляет 3500°C, что соответствует 100% обеспеченности вызревания позднеспелых сортов риса. В этих условиях при соблюдении условий агротехники можно было бы собрать до 80 ц/га риса позднеспелого сорта. Однако под влиянием орошения сумма эффективных температур уменьшится до 3150°C и из-за неблагоприятных метеорологических условий, в первую очередь за счет пустозерности, потеряется значительная часть урожая. В то же время, если в этих районах рекомен-

довать культивирование раннеспелых сортов, для которых метеорологические условия будут оптимальными, можно получить максимальный урожай.

Произведем расчет потенциальной экономической эффективности таких рекомендаций. В качестве базы для сравнения эффективности хозяйственных решений (выбор сорта риса), принятых на основании исследований изменений метеорологического режима под влиянием орошения, примем данные Справочника по климату СССР.

При оценке ресурсной стоимости земли в соответствии с суммами температур до орошения в зоне III можно рекомендовать выращивание позднеспелых сортов риса. (Если рассчитывать на максимальный урожай 80 ц/га, то при средней реализационной цене (для Кызыл-Ординской области) 30 р./ц и себестоимости 21 р./ц [11] доход составит 684 р./га (при пустозернистости 5%).) Однако уменьшение сумм температур при орошении приведет вблизи северной границы зоны к потери урожайности на 30%, в первую очередь, за счет пустозернистости, и потери по сравнению с максимальным доходом составят 180 р./га.

Часть этих потерь является потенциально предотвратимыми, их можно уменьшить переходом к возделыванию другого сорта риса, в соответствии с новыми суммами температур при орошении. При переходе к возделыванию ранне- и среднеспелых сортов можно добиться получения максимального урожая 68 ц/га, с пустозернистостью, не превышающей 5%. Доход в этом случае составит 581 р./га, а потери по сравнению с максимальным доходом — 103 р./га.

Таким образом, экономический эффект хозяйственных рекомендаций (смена сортов риса), принятых на основе дополнительной метеорологической информации (понижение температуры при орошении) оценивается величиной предотвращенного ущерба и составит 77 р./га.

Такие расчеты можно было бы привести и для других пунктов. В ряде случаев в результате орошения сумма эффективных температур понизится настолько, что целесообразно рекомендовать отказаться от планирования выращивания риса в этих районах. Чтобы рассчитать эффективность данных рекомендаций для определенной площади, можно использовать формулу (1), где Y_1 , L_1 , C_1 есть урожай, реализационная цена и себестоимость сорта риса, который можно было бы рекомендовать в соответствии с рекомендациями, разработанными в процессе исследований о влиянии орошения на метеорологический режим, а Y_2 , L_2 , C_2 — урожай, реализационная цена и себестоимость сорта риса, который был бы рекомендован на основании данных Справочника по климату СССР.

Другой важной культурой, возделываемой в Средней Азии, является хлопчатник (табл. 3). В настоящее время выполнено большое число работ, посвященных связи урожая хлопчатника с метеорологическими условиями [3, 5, 8]. Были определены связи

Требования различных сортов хлопчатника к тепловым ресурсам (°С)
в различные фазы развития

Сорта	Посев — всходы	Посев — бутонизация	Посев — цветение	Посев — раскрытие первых коробочек
Скороспелые	100	485	970	1730
Среднеспелые:				
108-Ф	100	500	1000	1880
Ташкент-1	100	550	1000	1850
149-Ф	—	—	—	1950
Тонковолокнистые	100	500	1030—1100	2100—2200

скорости развития хлопчатника с суммами эффективных температур для разных фаз развития хлопчатника. Определено уравнение регрессии для расчета хозяйственного урожая хлопка-сырца по суммам эффективных температур за период цветения — первые заморозки и построен график связи средней областной продуктивности посевов хлопчатника от сумм эффективных температур для Узбекской и Туркменской ССР.

В случае орошения и обводнения засушливых территорий Средней Азии климатические ресурсы этих территорий изменятся, что приведет к смещению на юг широтных изолиний, соответствующих различной степени обеспеченности термическими ресурсами тонковолокнистых и грубых сортов хлопчатника [1]. Так, например, по средним данным в районе Кулкудук сумма эффективных температур от посева до сбора урожая составляет 2400°С, что гарантирует полное созревание любого сорта хлопчатника и получение высоких урожаев. Если в этом районе провести орошение, то сумма эффективных температур уменьшится до 2000°С. Это не может обеспечить вызревание тонковолокнистых сортов. Следовательно, нужно переходить к возделыванию сортов менее требовательных к тепловым ресурсам [6]. Оценим экономический эффект таких рекомендаций. Согласно [3] уменьшение суммы эффективных температур за период цветения — 1 сентября на 190°С приведет к снижению хозяйственного урожая хлопка-сырца в среднем на 13 ц/га. При среднем урожае тонковолокнистых сортов хлопка 27,7 ц/га [10] в районе Кулкудук урожай не превысит 14,7 ц/га, а при возделывании в этом районе среднеспелых сортов хлопка потенциально возможно получить максимальный урожай 33 ц/га. Закупочная цена и себестоимость хлопка-сырца меняется в широких пределах, составляя в среднем для тонковолокнистых сортов 80 и 51 р. за центнер соответственно, а для среднеспелых сортов 60 и 45 р. Экономический эффект использования информации об изменении термических ресурсов при орошении, рассчитанный по формуле (1), на 1 га составит $D = [33(60-45) - 14,7(80-51)] = 68,7$ р./га.

Представленная методика может быть использована для расчетов экономического эффекта хозяйственных мероприятий, рекомендованных на основании метеорологических исследований, и действовать на улучшение метеорологического обслуживания народного хозяйства.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бабушкин Л. Н. Агроклиматическое районирование хлопковой зоны Средней Азии. — Л.: Гидрометеиздат. — 1960. — 125 с.
2. Жапбасбаев М. Агроклиматические условия произрастания риса в континентальном климате (в Казахстане). — Л.: Гидрометеиздат. — 1969. — 160 с.
3. Карнаухова В. В. Агрометеорологические условия и продуктивность хлопчатника // Тр. САРНИГМИ. — 1973. — Вып. 13(94). — С. 58—72.
4. Ляховкин А. Г., Верещагин Г. А. Перспективные образцы риса // Селекция и семеноводство. — 1980. — № 3. — С. 24—25.
5. Муминов Ф. А. и др. Агрометеорологическая оценка условий формирования урожая районированных сортов хлопчатника на отдельных полях // Тр. САРНИГМИ. — 1978. — Вып. 56(137). — С. 3—12.
6. Орловский Н. С., Дурдыев А. М. Влияние орошения на термические ресурсы пустынь Средней Азии // Проблемы освоения пустынь. — 1978. — № 4. — С. 70—76.
7. Орловский Н. С., Утина З. М. Влияние орошения и обводнения на микроклимат пустынь // Проблемы освоения пустынь. — 1977. — № 5. — С. 3—12.
8. Осипова Н. И. и др. Агрометеорологические показатели темпов накопления элементов продуктивности новых сортов хлопчатника в Средней Азии // Тр. САРНИГМИ. — 1976. — Вып. 28(109). — С. 16—23.
9. Результаты государственного сортоиспытания риса. — М.: Колос. — 1977. — 109 с.
10. Справочник по хлопководству. — Ташкент: Узбекистан. — 1981.
11. Сыдыков К. Экономическая эффективность возделывания риса в Казахстане // Вопросы рисосеяния в Казахстане. — 1981. — С. 142—147.
12. Утина З. М. Методика расчета изменения температуры и влажности воздуха под влиянием орошения // Вопросы гидрометеорологического обоснования межзонального перераспределения водных ресурсов. — Л.: Гидрометеиздат. — 1981. — С. 147—157.

СОДЕРЖАНИЕ

О. Е. Семенов, А. П. Шапов. Ветровой перенос солей в приземном слое атмосферы во время песчано-солевых бурь на побережье Арала.	3
И. Г. Гуршев. Возможное объяснение механизма образования конгура бархана.	14
И. Г. Гуршев. К вопросу турбулентного рассеивания газовых примесей в приземном слое атмосферы.	17
В. Г. Дейчева, Г. Ю. Березкина, Е. А. Тихонова. Об объективной классификации содержания тяжелых металлов в почве в районе Экибастузского топливно-энергетического комплекса.	21
В. И. Дегтярев. Предварительная оценка антропогенных изменений мезоклимата региона Экибастузского топливно-энергетического комплекса (ЭТЭК).	25
С. А. Алдабергенов, В. И. Дегтярев. О динамике ночного переноса загрязненной воздушной массы в Алма-Ате.	30
Т. Г. Переверзева. Временные изменения потенциала загрязнения атмосферы Алма-Аты.	38
И. А. Вирфель. О вертикальной структуре поля концентрации окиси углерода над Алма-Атой.	43
И. А. Вирфель. К вопросу изучения переноса окиси углерода в условиях Алма-Аты.	48
И. Г. Похляленко. Эколого-экономическое моделирование в системе нормирования выбросов и планирования воздухоохранной деятельности.	51
Э. И. Монокрович, М. П. Власюк, Т. С. Крихели. Потенциальная экономическая эффективность искусственного рассеивания переохлажденных туманов в аэропорту Алма-Ата.	62
Э. И. Монокрович. Климатологическая информация в энергостроительстве.	67
Э. И. Монокрович, З. С. Корнеева. Экономический эффект от учета информации о ветре на высоте полета.	73
Л. Л. Брагянская, З. М. Утна. Некоторые оценки экономической эффективности исследований изменений климатических условий под влиянием орошения.	76

Труды КазНИГМИ, вып. 105

ПРИКЛАДНАЯ МЕТЕОРОЛОГИЯ И ОХРАНА ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ

Редактор *Н. Г. Черникова*
Техн. редактор *Н. А. Низлева*
Корректоры *Р. А. Агафонова* и *А. М. Меретукова*

Сдано в набор 27.07.89 г. Подписано к печати 16.04.90 г. Т—03372 Формат 60×90^{1/16}
Усл. печ. л. 5,5 Усл. кр.-отт. 5,78 Уч.-изд. л. 5,89 Бумага писчая Лит. гарн. № 1
Печать офсетная Тираж 350 Индекс М-М-21 Зак. 1248 Цена 35 к.

Московское отделение Гидрометеонадата,
123436 Москва, ул. Маршала Рыбалко, д. 8

ФОП ВНИИГМИ-МЦД 249020 Обнинск, ул. Королева, д. 8.

УДК 551.510.42

Ветровой перенос солей в приземном слое атмосферы во время песчано-солевых бурь на побережье Арала. Семенов О. Е., Шапов А. П. Труды КазНИГМИ, 1990, вып. 105, с. 3—13.

Изучение переноса солей в приземном слое атмосферы во время песчано-солевых бурь на восточной осушенной части дна Аральского моря показало, что содержание солей достигает 0,52—1,74% общей массы твердой фазы, переносимой ветром в этом слое. Все полученные профили твердого расхода солей во время экспедиционных измерений удовлетворительно аппроксимируются степенной функцией, аналогичной выражению для профилей твердого расхода песка, но с меньшим абсолютным значением показателя степени, что объясняется более медленным убыванием с высотой содержания солей в составе твердой фазы потока по сравнению с частицами песчаного аэрозоля. Анализ ионного состава солей указывает на незначительное увеличение ионов кальция, магния и оксида серы по сравнению с ионами натрия, калия и хлора, что говорит о несколько более интенсивном выносе сульфатов с исследуемой части дна моря.

Табл. 2. Ил. 2. Библ. 5.

УДК 532.517.4

Возможное объяснение механизма образования контура бархана. Гуршев И. Г. Труды КазНИГМИ, 1990, вып. 105, с. 14—17.

Методом вариационного исчисления устанавливается уравнение для контура бархана. При определенных предположениях ищется решение уравнения. Показано, что одним из контуров бархана является эллипс.

Ил. 1. Библ. 3.

УДК 532.517.4

К вопросу турбулентного рассеивания газовых примесей в приземном слое атмосферы. Гуршев И. Г. Труды КазНИГМИ, 1990, вып. 105, с. 17—21.

На основе решения уравнения турбулентной диффузии получена зависимость для расчета времени очищения городской атмосферы от вредного газа. Дана количественная оценка с учетом скорости ветра, времени очищения атмосферы города. Получены некоторые следствия из найденной закономерности.

Библ. 2.

УДК 550.43.462

Об объективной классификации содержания тяжелых металлов в почве в районе Экибастузского топливно-энергетического комплекса. Дейчева В. Г., Березкина Г. Ю., Тихонова Е. А. Труды КазНИГМИ, 1990, вып. 105, с. 21—25.

Для объективной классификации содержания тяжелых металлов в почве в регионе ЭТЭК использовался алгоритм Б. А. Головкина. Для всех рассматриваемых металлов выделены классы, приведены типовые поля. Анализируется распределение типовых полей.

Табл. 1. Библ. 2.

УДК 551.588.7

Предварительная оценка антропогенных изменений мезоклимата региона Экибастузского топливно-энергетического комплекса (ЭТЭК). Дегтярев В. И. Труды КазНИГМИ, 1990, вып. 105, с. 25—30.

Под влиянием выбросов в районе ГРЭС-1 и Экибастуза, а также в восточном и северо-восточном направлениях, в зоне преобладающих переносов загрязняющих веществ, отмечается повышение средней годовой температуры воздуха на 0,3°C, средней минимальной за год на 1,4°C, что в свою очередь способствует уменьшению их суточных амплитуд на 1,5°C. Отмечается тенденция к повышению числа дней с относительной влажностью, равной и более 80%, а также заметное увеличение числа дней с влажностью 30% и возрастание, порядка 10, числа дней с дымкой. Повторяемость туманов на данном этапе развития ЭТЭК остается без изменений.

Табл. 1. Ил. 3. Библ. 2.

УДК 551.510.04

О динамике ночного переноса загрязненной воздушной массы в Алма-Ате. Алдабергенов С. С., Дегтярев В. И. Труды КазНИГМИ, 1990, вып. 105, с. 30—38.

В Алма-Ате наблюдается снижение скоростей ветра и увеличение загрязнения атмосферы под влиянием хозяйственной деятельности человека в городе и его окрестностях. По средним многолетним данным ст. Алма-Ата, ГМО, скорость ветра уменьшилась на 0,2 м/с. Произошло снижение повторяемости ветра южных румбов в среднем на 7%. Повторяемость штилей увеличилась на 5%, особенно заметное увеличение штилей на 10—13% произошло в зимние месяцы, увеличилась и повторяемость горно-долинной циркуляции на 4%. На горных станциях (Верхний Горельник, Усть-Горельник, Большое Алма-Атинское озеро) режим ветра остался без изменения.

Вынос загрязненной воздушной массы с южной и центральной частей города за его пределы горным ветром в ночное время по экспериментальным данным происходит со средней скоростью 0,8 м/с.

Табл. 6. Ил. 2. Библ. 3.

УДК 551.510

Временные изменения потенциала загрязнения атмосферы Алма-Аты. Переверзева Т. Г. Труды КазНИГМИ, 1990, вып. 105, с. 38—43.

Рассчитано среднее значение потенциала загрязнения (ПЗА) атмосферы для Алма-Аты за 1981—1984 гг. Рассматриваются изменения ПЗА в течение года и суток. Даны сезонные изменения концентраций SO_2 , NO_x , CO , пыли, свинца на материале систематических наблюдений в Алма-Ате за четырехлетний период.

Ил. 2. Библ. 5.

УДК 551.510.04

О вертикальной структуре поля концентрации окиси углерода над Алма-Атой. Вирфель И. А. Труды КазНИГМИ, 1990, вып. 105, с. 43—48.

Обсуждаются результаты самолетного зондирования распределения окиси углерода в атмосфере над Алма-Атой.

Мощные приземные инверсии обуславливают плавное убывание концентрации CO с высотой. Приподнятые инверсии формируют максимум концентрации в инверсионном слое.

Горячие выбросы наиболее интенсивных высотных источников пробивают мощные температурные инверсии. Горно-долинная циркуляция может сформировать несколько слоев окиси углерода над городом.

Табл. 1. Ил. 3. Библ. 4.

УДК 551.510.04

К вопросу изучения переноса окиси углерода в условиях Алма-Аты. Вирфель И. А. Труды КазНИГМИ, 1990, вып. 105, с. 48—51.

При неблагоприятных метеоусловиях повышается роль горно-долинной циркуляции в переносе окиси углерода на территории Алма-Аты. Ночью CO переносится в северном и северо-восточном направлении, днем — на юг. В случае слабого потока горного воздуха большие массы загрязненных воздушных масс скапливаются на окраине города. Наиболее загрязненными оказываются его северо-восточные районы.

Обсуждается вопрос расчета скорости переноса по данным точного хода окиси углерода в разных пунктах.

Ил. 2. Библ. 4.

УДК 504.03

Эколого-экономическое моделирование в системе нормирования выбросов и планирования воздухоохранной деятельности. Похиленко И. Г. Труды КазНИГМИ, 1990, вып. 105, с. 51—62.

Дан критический анализ современного состояния организации и планирования природоохранной деятельности и сформулированы предложения по их совершенствованию. Подчеркнута необходимость переориентации работ по нормированию выбросов с отраслевой на территориальную. Изложены экономико-математическая постановка задачи выбора оптимального ансамбля воздухоохранных мероприятий в промышленном узле и алгоритм ее решения на основе применения метода динамического программирования.

Ил. 1. Библ. 5.

УДК 551.575.628.844.003.1(574—20)

Потенциальная экономическая эффективность искусственного рассеяния переохлажденных туманов в аэропорту. Алма-Ата. Монокрювич Э. И., Власюк М. П., Крихелит Т. С. Труды КазНИГМИ, 1990, вып. 105, с. 62—67.

Изложены результаты расчета экономической эффективности рассеяния туманов на взлетно-посадочной полосе путем впрыскивания в поток воздуха жидкого азота (этот способ разработан в ЦАО). В условиях аэропорта Алма-Ата, где в холодный период туманы довольно часты, ожидаемая экономическая эффективность весьма высока.

Табл. 1. Ил. 1. Библ. 2.

УДК 002.5/6 : 551.58(620.4.002.2)

Климатологическая информация в энергостроительстве. Монокрювич Э. И. Труды КазНИГМИ, 1990, вып. 105, с. 67—73.

Обоснованы и охарактеризованы основные направления дальнейшего совершенствования прикладной климатологической информации, используемой при проектировании объектов энергостроительства — ГРЭС, ТЭЦ, котельных установок, линий электропередачи, охлаждающих устройств. Необходимость этого связана с укрупнением и усложнением энергооборудования, а также с ужесточением природоохранных стандартов. Подчеркнут экономический аспект вопроса.

Ил. 2. Библ. 5.

УДК 002.5/6 : 551.55.003./

Экономический эффект от учета информации о ветре на высоте полета. Монокрович Э. И., Корнеева З. С. Труды КазНИГМИ, 1990, вып. 105, с. 73—75.

Путем анализа отчетной документации авиапредприятий по 500 рейсам, выполненным в широтном направлении, определено влияние западно-восточного переноса атмосферного воздуха на продолжительность полетов и расход горючего. Раскрыто экономическое значение информации о направлении и скорости ветра на эшелонах полета воздушных судов.

Табл. 2.

УДК 551.509 : 519.283 : 33

Некоторые оценки экономической эффективности исследований изменений климатических условий под влиянием орошения. Брагинская Л. Л., Утина З. М. Труды КазНИГМИ, 1990, вып. 105, с. 76—82.

Показано, что при оценке ресурсной ценности земель необходимо учитывать уменьшение сумм температур, которое будет иметь место на орошаемом поле, по сравнению с суммами температур данного района до орошения. Приведены результаты расчета изменения температур выше 15°C под влиянием орошения для равнинной территории термических зон рисосеяния Казахстана.

Уменьшение суммы эффективных температур под влиянием орошения приводит к тому, что в некоторых районах целесообразно рекомендовать возделывание менее требовательных к теплу культур. Оценивается экономическая эффективность таких рекомендаций.

Табл. 3. Ил. 1. Библ. 12.