

УДК 551.501.1

Канд. техн. наук П.Ж. Кожаметов \*

**ОБ ОПТИМИЗАЦИИ МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКОЙ  
СЕТИ КАЗАХСТАНА***МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКАЯ СТАНЦИЯ, СЕТЬ, ТЕРРИТОРИЯ КАЗАХ-  
СТАНА, ОПТИМИЗАЦИЯ*

*Приведена краткая история создания принципов построения наблюдательных метеорологических сетей в мире. Дан сравнительный анализ сетей некоторых стран. Изложен алгоритм и сделаны расчёты для оптимальной и рациональной сети наблюдений в Казахстане с учётом орографии и хозяйственного освоения территории.*

Известно, что во всём мире зависимость отраслей экономики от погоды растёт с каждым годом, в силу этого спрос на метеорологическую информацию будет повышаться [15]. Метеоинформация – основа науки метеорологии, прогнозирования погоды и бесценна для экономики страны. Как известно, наука начинается только там и тогда, где и когда есть методы и способы сбора информации. Первые приборы измерений метеовеличин были изобретены в 17 веке. С этого момента начался инструментальный период наблюдений, в основном в развитых в то время государствах: Италии, Франции, Англии и России (1732 г.), а метеорология формировалась как наука. Главы государств и государственные деятели, академики, профессора, ведущие учёные и энтузиасты-меценаты финансировали и разрабатывали приборы, программы наблюдений и принципы организации метеосетей [1, 10].

Метеорологические сети наблюдений за физическим состоянием атмосферы подразделяются по месту наблюдений на два вида: 1 – наземные сети и 2 – сети для исследования свободной атмосферы. По целям – на 6 видов: 1 – синоптико-аэрологические, 2 – климатические, 3 – агрометеорологические и фенологические, 4 – радиационные, 5 – сети для исследования загрязнения атмосферы и 6 – сети специального назначения. В этой статье рассматривается наземная сеть метеорологических станций (МС), которая в настоящее время выполняет функции первого вида целевых метеосетей и

---

\* Казгидромет, г. Алматы

частично – остальных пяти, что существенно удешевляет получение информации.

В 2008 г. на Земле насчитывалось 11 тыс. МС, которые образуют Глобальную систему наблюдений (ГСН) Всемирной Метеорологической Организации (ВМО). ГСН представляет собой вложенные сетки наземных сетей наблюдения (НСН) [6, 7] трёх масштабов:

- глобальный (для всей Земли);
- региональный (для 6 регионов: Европа, Азия, Африка, Америка, Антарктида, Австралия с островами Океании);
- национальный (для государств, стран, островов или территорий).

Эти сети соответствуют масштабам основных синоптических процессов в атмосфере. Самые густые сети – национальные. Только выборочные МС входят в региональную сеть, и только выборочные МС из региональных сетей образуют глобальную сеть. Таким образом, МС глобальной сети относятся как к региональной, так и к национальной сети.

Метеосеть Национальной гидрометеорологической службы Казахстана (РГП «Казгидромет») достигла максимального развития в 1986 г., когда насчитывала 364 МС. С 1990 по 1998 год в результате глубокого кризиса и перехода на новые условия оплаты труда и хозяйствования число МС сократилось почти на треть – до 244. С 2008 г., благодаря поддержке Правительства РК, Казгидромет начал восстановление и модернизацию метеосети [5], так что к началу 2012 г. число МС увеличилось до 260 (Рис.).



*Рис. Схема расположения метеорологических станций в Казахстане на 01.01.2012 г.*

При этом 16 МС входят в глобальную сеть ВМО, 65 – в региональную; 33 – представляют собой длиннорядные реперные климатические станции, а 159 – входят в межгосударственную метеосеть СНГ.

Плотность наблюдательной сети в Казахстане составляет 1 МС на 10,4 тыс. км<sup>2</sup>, что далеко недостаточно для полноценного освещения нашей территории. По нормам ВМО 1 МС должна освещать не более 4,0 тыс. км<sup>2</sup> [9], значит в Казахстане должно быть 683 МС, т.е. в 2,6 раза больше имеющихся (сравнить графы 2 и 4 табл. 1). При современном финансировании программы модернизации – задача нереальная, да и в ближайшем будущем тоже, из-за наличия больших неосвоенных территорий, гор и высокогорий. В других государствах, за исключением России, число МС также в 1,3...16,3 раза больше, чем в РК (графы 1 – 5, табл. 1).

Таблица 1

Плотность и индекс плотности метеосетей в странах Европы, Азии и СНГ

Государство	Площадь, тыс. км <sup>2</sup>	Общее число МС	Плотность сети, число МС на 100 тыс. км <sup>2</sup>	Индекс плотности сети (ρ), тыс. км <sup>2</sup> на 1 МС
1	2	3	4	5
<b>Европа</b>				
Германия	357,022	179	50	2,0
Финляндия	338,145	550	163	0,6
<b>Азия</b>				
Китай	9 596,960	2456	26	3,9
Корея	98,480	83	84	1,2
Турция	780,580	420	54	1,9
<b>СНГ</b>				
Азербайджан	86,600	57	66	1,5
Таджикистан	143,100	53	37	2,7
Кыргызстан	198,500	32	16	6
Узбекистан	417,400	53	13	8
Россия	17 075,200	1686	10	10
<b>Казахстан</b>	<b>2 717,300</b>	<b>260</b>	<b>10</b>	<b>10</b>

Как сказано выше, метеосеть считается оптимальной, если индекс плотности  $\rho = 4$  тыс. км<sup>2</sup>, что соответствует расстоянию между МС (L) равному 63 км [6, 9]. При условии однородности рельефа и изотропности метеополей радиус корреляции  $R = 36$  км. Как видно по данным табл. 1 в Казахстане, России, Узбекистане и Кыргызстане метеосети далеки от оптимальных.

В отдалённых, малообжитых и труднодоступных районах, где всё-таки живут люди и занимаются хозяйством, устанавливаются станции, имеющие название – труднодоступные (ТДС). Именно они в первую очередь были закрыты в 90-х годах 20 в. Труднодоступные районы обуславливают неравномерное распределение МС по территории. Так, в Северо-Казахстанской, Павлодарской и Акмолинской областях 1 МС приходится на 6,6...7,8 тыс. км<sup>2</sup>, а в степной Карагандинской и пустынной Кызылординской – на 16,5...20,5 тыс. км<sup>2</sup> (графа 4, табл. 2). ТДС обеспечивают получение ценной информации, которая обходится значительно дороже из-за осложнённого доступа и больших затрат на обслуживание. Эта информация заполняет «пустые окна» на кольцевых синоптических картах и чрезвычайно необходима для составления прогнозов погоды и освоения новых территорий.

Учитывая сказанное, при модернизации метеосети становится актуальным не только восстановление брошенных МС и строительство новых, но и рациональное их размещение с точки зрения минимизации финансирования. В силу этого рациональная сеть всегда меньше оптимальной и состоит из минимально необходимого числа МС.

Основные принципы построения сетей наблюдений разрабатывались многочисленными научными исследованиями во всём мире на протяжении почти 300 лет, и приняты ВМО для практического использования в 189 странах-членах. Главные из них заключаются в непрерывности, единстве и сопоставимости методов сбора, обработки, хранения и распространения информации. Поэтому с 1966 г. режимные наблюдения проводятся в 8 синхронных сроках: 00, 03, 06, 09, 12,15, 18 и 21 ч Всемирного скоординированного времени (ВСВ), чтобы по возможности более точно отразить суточный ход основных метеовеличин в любых климатических условиях умеренных широт [2, 3].

В самом начале зарождения метеорологических наблюдений они проводились для обеспечения безопасного мореплавания и земледелия. С развитием экономики, разные ведомства – департамент земледелия, автодорожный, железнодорожный, авиационный транспорт и другие организовывали собственные МС. В настоящее время на средства заказчиков или самими заказчики создаются специализированные сети наблюдений – для обслуживания нефтегазодобывающих и строительных компаний, магистральных трубопроводов, международного трансграничного автокоридора «Западная Европа

Таблица 2

Расчёт минимально необходимого числа метеостанций для Казахстана

Область	Площадь, тыс. км <sup>2</sup>	МС <sub>факт.</sub>	$\rho_{факт.}$ , тыс. км <sup>2</sup>	$n_j^{норм}$	Доля ландшафта			$K_j$	$N_j(K_j)$	$K_{хоз}$	$N_j$
					$S_1$	$S_2$	$S_3$				
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Акмолинская	146	22	6,6	37	0	0	1	1	37	0,8	30
Костанайская	196	19	10,3	49	0	0	1	1	49	0,7	34
Северо-Казахстанская	98	14	7,0	25	0	0	1	1	25	0,9	22
Карагандинская	428	26	16,5	107	0	0	1	1	107	0,4	43
Павлодарская	125	16	7,8	31	0	0	1	1	31	0,7	22
Восточно-Казахстанская	283	30	9,4	71	0,5	0	0,5	1,25	89	0,6	51
Западно-Казахстанская	151	15	10,1	38	0	0	1	1	38	0,7	26
Актюбинская	301	21	14,3	75	0	0	1	1	75	0,5	37
Алматинская	224	33	6,8	56	0,4	0	0,6	1,2	67	0,7	49
Жамбылская	144	19	7,6	36	0,1	0	0,9	1,05	38	0,7	26
Южно-Казахстанская	117	14	8,4	29	0,1	0	0,9	1,05	30	0,8	24
Кзылординская	226	11	20,5	57	0	0	1	1	57	0,5	29
Мангыстауская	166	11	15,1	42	0	0,2	0,8	1,2	50	0,3	15
Атырауская	119	9	13,2	30	0	0,1	0,9	1,1	33	0,4	13
<b>Сумма или среднее по РК</b>	<b>2724</b>	<b>260</b>	<b>10,4</b>	<b>683</b>					<b>726</b>		<b>421</b>

Примечание: МС<sub>факт.</sub> – фактическое число МС;  $\rho_{факт.}$  – индекс фактической плотности метеосети, тыс. км<sup>2</sup>;  $n_j^{норм}$  –

норма числа МС при индексе плотности  $\rho_{норм} = 4,0$  тыс. км<sup>2</sup> для  $j$ -й области;  $K_j$  – поправочный коэффициент учёта рельефа;  $K_{хоз}$  –

– поправочный коэффициент учёта хозяйственного освоения территории;  $N_j$  – минимально необходимое число МС.

– Западный Китай», проходящего через Казахстан, для мониторинга опасных загрязнений воздуха в Усть-Каменогорске и других местах.

На протяжении всего времени развития метеосетей разрабатывались научные принципы их организации.

Это касается требования максимально возможного равномерного распределения МС по территории для учёта пространственно-временной изменчивости метеовеличин и явлений погоды. Это так же необходимо для определения анизотропии метеополей, возможности интерполяции метеовеличин с необходимой точностью в любой точке территории, учёт орографической неоднородности подстилающей поверхности, хозяйственной освоенности территории и др.

В настоящее время для сетей различной плотности равнинной местности метеовеличины разделяются на 3 группы [4, 9, 14]:

1 – атмосферное давление воздуха, продолжительность солнечного сияния и температура почвы на глубинах – плотность сети наименьшая с допустимым расстоянием между пунктами наблюдений  $L = 150 \dots 200$  км;

2 – температура и влажность воздуха, ветер и количество облачности – плотность сети средняя, или оптимальная с  $L = 50 \dots 60$  км;

3 – осадки, характеристики снежного покрова и атмосферные явления – самая густая сеть с  $L \leq 30$  км при интерполяции только средних месячных значений. По экономическим соображениям такую плотность сети иметь сложно.

Ниже приводится алгоритм расчёта минимально необходимого числа МС для Казахстана по методике Росгидромета [8]. Результаты расчётов приведены в табл. 2.

Нормативное число МС для каждой  $j$ -й области рассчитывалось по формуле:

$$n_j^{norm} = \frac{S_j}{\rho_{ВМО}}, \quad (1)$$

где  $n_j^{norm}$  – нормативное число МС для  $j$ -й области,  $S_j$  – площадь  $j$ -й области, тыс. км<sup>2</sup>;  $\rho_{ВМО} = 4$  тыс. км<sup>2</sup> – индекс плотности оптимальной метеосети с  $L = 50 \dots 60$  км по норме ВМО. Результаты расчётов приведены в графе 5 табл. 2.

Поправочный коэффициент на неоднородность рельефа рассчитывался для каждой  $j$ -й области по формуле:

$$K_j = \sum a_i \cdot S_i, \quad (2)$$

где  $S_i$  – доли ландшафтов:  $i = 1$  для гор,  $i = 2$  – для побережий и  $i = 3$  – для равнин, определённые по гипсометрической карте Казахстана (графы 6...8

табл. 2);  $a_i$  – принятые эмпирические коэффициенты неоднородности соответствующих ландшафтов:  $a_1 = 1,5$  для  $S_1$ ,  $a_2 = 2,0$  для  $S_2$  и  $a_3 = 1,0$  для  $S_3$ . Значения  $K_j$  приведены в графе 9 табл. 2.

Минимальное число необходимых станций с учётом рельефа для  $j$ -й области рассчитывалось по формуле:

$$N_j(K_j) = n_j^{\text{норм}} \cdot K_j. \quad (3)$$

В целом учёт рельефа увеличил число минимально необходимых МС с 683 до 726 (графа 10, табл. 2).

В конечном счёте, необходимость метеоинформации оценивалась с учётом её востребованности за счёт хозяйственного освоения территории. Поэтому в окончательные расчёты минимально необходимого числа МС вводился коэффициент хозяйственного освоения территории ( $K_{\text{дтс}}$ , графа 11, табл. 2) для  $j$ -й области. Для его определения использовались значения плотности населения области, площади распределения сельхозугодий и число населённых пунктов по данным Агентства по статистике РК. Итоговая формула расчёта имела вид:

$$N_j = N_j(K_j) \cdot K_j. \quad (4)$$

Результаты расчётов (графа 12, табл. 2) показали, как сильно уменьшается число МС с учётом этого коэффициента. В сумме общее число минимально необходимых МС для Казахстана составило 421. Таким образом, для создания в стране рациональной метеосети необходимо увеличить имеющееся число МС на 161.

В заключении хотелось бы сказать, что постоянное решение проблемы рационализации сети – одна из важнейших задач руководства и специалистов Казгидромета. В условиях рыночной экономики технические средства: их количество, номенклатура, характеристики точности – относятся к экономическим категориям. Проблема принятия решения о составе, структуре и конфигурации любой наблюдательной сети сводится к нахождению «компромисса» между информационными и экономическими факторами оптимизационной задачи. Учитывая важность восстановления и модернизации наблюдательных сетей, учёные Главной Геофизической Обсерватории им. А.И. Воейкова (Россия, Санкт-Петербург) на основе обобщения информационных моделей разработали информационно-экономическую региональную модель, которая

позволяет принимать более сбалансированные и обоснованные управленческие решения [7, 9, 11, 12, 13].

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бедрицкий А.И., Борисенков Е.П., Пасецкий В.П. Гидрометеорологическая служба России. // История и современность. – СПб.: Гидрометеоиздат, 2002. – 127 с.
2. Беспалов Д.П. Особенности системы метеорологических наблюдений, основанной на синхронных сроках // Тр. ГГО. – 1969. – Вып. 224. – С. 3-6.
3. Беспалов Д.П., Светлова Т.П. О точности представления суточного хода метеорологических элементов по срочным данным. // Тр. ГГО, 1971. – Вып. 260. – С. 124-128.
4. Гандин Л.С., Каган Р.Л. Статистическая интерпретация метеорологических данных. – Л.: Гидрометеоиздат, 1976. – 360 с.
5. Комплекс мер по модернизации Национальной гидрометеорологической службы Республики Казахстан на период до 2015 года. – Астана, 2008. – 54 с.
6. Кондратюк В.И. Модернизация метеорологической сети Росгидромета. // Тр. ГГО. – 2011. – Вып. 564. – С. 19-39.
7. Кондратюк В.И. Информационно-экономическая модель наземной сети и управленческие решения. // Тезисы докладов Научной конференции по результатам исследований в области гидрометеорологии и мониторинга загрязнения природной среды. Секция 5. – М.: 1996. – С. 3-4.
8. Методика расчёта минимально необходимого количества пунктов метеорологических наблюдений. – СПб: 2008. – 15 с.
9. Руководство по глобальной системе наблюдений. – ВМО № 488. – 2010.
10. Нездюрлов Д.Ф. Очерки развития метеорологических наблюдений в России. – Л.: Гидрометеоиздат, 1969. – 224 с.
11. Покровский О.М. Анализ эффективности методов оптимизации наземных наблюдательных сетей. // Тр. ГГО. – 1989. – Вып. 528. – С. 82-89.
12. Покровский О.М. О применении меры Шеннона для количественной оценки информативности гидрометеорологических наблюдений. // Тр. ГГО. – 1989. – Вып. 528. – С. 19-32.
13. Покровский О.М. Современные методы оптимизации систем мониторинга окружающей среды. // Исследование земли из космоса. – 1995. – Вып. 2. – С. 106-120.

14. РД.52.04.567-96. Положение о наземной сети Росгидромета. – СПб.: Гидрометеоздат, 1996. – 20 с.
15. Хандожко Л.А. Экономическая метеорология. – СПб, Гидрометеоздат, 2005. – 492 с.

Поступила 06.06.2012

Техн. ғылымд. канд. П.Ж. Кожаметов

### **ҚАЗАҚСТАННЫҢ МЕТЕОРОЛОГИЯЛЫҚ ТОРАБЫН ЖАҢҒЫРТУ ТУРАЛЫ**

*Дүние жүзіндегі метеорологиялық бақылау торабының орнатылу қағидаттарының қысқаша тарихы келтірілді. Кейбір елдермен салыстырмалы талдау жасалынды. Жер бедерін және жерді шаруауащылықпен игеруді ескере отырып Қазақстанда қолайлы және ұтымды бақылау торабын жасау жолының алгоритмдері мен есептеулері келтірілді.*