

УДК 551.509.324.2 (574)

**РАСЧЕТ КОЛИЧЕСТВА ВЫПАВШИХ ОСАДКОВ ПРИ
КОНВЕКЦИИ, ВОЗНИКАЮЩЕЙ НАД ТЕРРИТОРИЕЙ
КАЗАХСТАНА**

Канд. геогр. наук А.Т. Кенжибасв

В статье приведены расчетные формулы для определения количества выпавших осадков, увеличивающих расходную часть воды в створе при формировании селей.

Прогноз локальных стихийных явлений погоды является одним из сложных недостаточно решенных вопросов гидрометеорологии Казахстана. Большое практическое значение играет вычисление количества осадков над регионом. В статье поставлена цель получить расчетные формулы на основе параметров, вытекающих из анализа уравнения переноса водяного пара и воздушных частиц в атмосфере.

Ранее для территории Казахстана проведено исследование связи траектории воздушных частиц с осадкообразующими процессами. Полученная информация для прогноза количества осадков дает возможность иметь представление о влиянии неоднородности подстилающей поверхности [1], о переносе водяного пара в атмосфере [2], о характере локализации во времени и пространстве осадков [3, 4, 8]. Многие вопросы остаются неизученными в формировании ливней и обильных снегопадов.

Из анализа данных [9 - 11] следует, что в формировании типовых атмосферных процессов основную роль играют следующие факторы: горизонтальный перенос воздушных масс, упорядоченный подъем воздуха в течение длительного времени и компенсирующий нисходящий поток в средней тропосфере, а также термодинамические факторы. Приведем наглядные прогностические признаки связи скорости и направленности смещения приземных циклонических и антициклонических образований. Например, смещение за сутки барических образований в северном направлении надо ожидать при скоростях ветра на уровне флюгеров менее 5 м/с, а при скоростях более 10 м/с наблюдается преимущественно восточная направленность перемещения атмосферных объектов. При скоро-

стях 5,1 - 10,0 м/с антициклоны смещаются в восточном направлении, а циклонические образования - в северо-восточном. Антициклональные процессы не обуславливают выпадения значительных осадков. Осадки следует ожидать при расположении очагов холода в термическом поле на ОТ 500/1000 восточнее 56° в.д. и южнее 55° с.ш. Выпадения осадков не следует при термической адвекции тепла не более 6° за 12 часов и угла адвекции воздушных масс менее 30° . При развитии теплого высотного гребня до 55° с.ш. над регионом, выпадающие осадки на территории Казахстана не превышают 10 мм.

Немаловажную роль в формировании осадков играет траектория воздушных частиц, поскольку она определяет поле облачных ресурсов. Сложность состоит в определении начальных точек траектории (откуда следует адвекция холода и водяного пара) воздушных частиц. Сличение видов траекторий с типовым процессом выявляет масштаб опускания и растекания частиц, а также отражает процесс трансформации воздушных частиц вдоль траектории [2]. Из статистического анализа следует, что форма траектории частиц на уровне 850 гПа принимает часто вид восьмерки. Длительность пребывания частиц при указанной форме траектории над регионом исследования может достигать 7 - 10 суток. Обращает внимание то, что с высотой кривизна траектории спрямляется только на уровне 500 гПа. Проведение сопоставления форм траекторий воздушных частиц с типовыми процессами показало, что в формировании поля влажности над территорией Казахстана в основном играют медленные упорядоченные подъемы воздуха и адвективно-конвективное движение. Большую роль имеет термический режим в слое 850 - 700 гПа. В работах [3, 4, 9] указано на дополнительное увлажнение нижних и средних высот тропосферы, которое в значительной степени определяется кривизной форм траектории частиц на высотах 850, 700 и 500 гПа при антициклональных процессах.

Известно, что вследствие кривизны траекторий расчетное движение воздушных частиц над исследуемым регионом оказывается более медленным по сравнению с действительным. Торможение подстилающей поверхности земли можно учесть путем ввода параметра кривизны траектории, который определяется конфигурацией барического поля [10 - 11]. Коэффициент кривизны вычислялся как отношение длины спрямленного пути (I_s) между входом и выходом частиц из региона на всю фактическую

длину (L_i) пути, пройденной частицей $k_i = l_i / L_i$. Здесь l_i , L_i величины, определяемые на уровнях 850, 700 и 500 гПа. По определению безразмерный коэффициент не может превышать единицы. Наличие $k_i = 1$ отражает совпадение траектории воздушных частиц с линиями тока на соответствующих высотах и движение воздушных масс осуществляется по географическому ветру. Отклонение от единицы свидетельствует о том, что фактическая длина траектории воздушных частиц на изобарической поверхности 850 гПа равна длине траектории, построенной на уровне 700 гПа, увеличенной в 1,4 . . . 2,4 раза. По фактическим данным радиозондирования Алматы и Жамбыла (взято 128 случаев) получена эмпирическая зависимость для определения скорости основного потока:

$$U = 3,4 \cdot 10^{0,13V},$$

где V - фактическая (прогностическая) скорость ветра на уровне 500 гПа, м/с. Переносимый поток над регионом имеет направление

$$\alpha_k = 120,6 + 0,002(\alpha_{500})^2.$$

Здесь α_{500} - фактическое (прогностическое) направление ветра в градусах на изобарической поверхности 500 гПа. Для анализа было привлечено 106 случаев. Наличие постоянных величин в приведенных соотношениях свидетельствует о том, что на территории региона высотные барические образования с почти вертикальной пространственной осью перемещаются за сутки на заметное расстояние, вследствие циркуляционных процессов в нижней стратосфере. Этот факт прогнозистами, как правило, не учитывается.

Из полученной информации о траектории воздушных частиц в тропосфере следует, что успешность прогноза погоды над регионом в большей мере зависит от точности определения откуда и куда (эффект начальных точек) осуществляется перенос воздушных частиц в нижнем слое тропосферы. Результаты исследований траекторий воздушных масс указывают на то, что формирование и выпадение конвективных осадков на территории Казахстана связано и с нисходящими движениями на нижних и средних высотах тропосферы. Поэтому, на территории Казахстана наблюдаются ливни, выпадающие на фоне облаков нижних и средних ярусов.

Приведем некоторые положения эмпирической модели процесса вытеснения воздушных масс присутствием приземной фронтальной зоны на юге и юго-востоке Казахстана. Вывод расчетной формулы для вычисления вертикальной составляющей скорости в горной местности при про-

хождении холодных фронтов (набегание фронтальных разделов на горный рельеф) предложен автором в работе [11]. В решении задачи допускается наличие основного потока (аналог ведущего ветра), мало меняющегося в пределах интересующего нас периода времени. Рассмотрено разложение скорости ведущего потока на соответствующие составляющие ветра с учетом ориентации гор рельефа и местонахождения очага холода в средней тропосфере над территорией региона с целью определения нормальной составляющей вектора ветра к фронтальной поверхности. Координата X ориентирована с запада на восток, а ось Y имеет направление с юга на север. Продольная ось гор отклонена от оси Y по часовой стрелке. Местоположение очага холода ориентировано относительно оси Y под углом δ . Азимут фактического направления ветра на изобарической поверхности 500 гПа равен углу β . Разложение полной скорости основного потока воздушной массы проведено с учетом угла наклона фронтальной поверхности, приближающейся к горам, и угла наклона склона к поверхности земли. Считается, что скорость основного потока улавливает максимальный вклад процесса прохождения фронтальной поверхности в горной местности при взаимно перпендикулярном расположении фронтальной поверхности и рельефа.

Рабочая формула для расчета вертикальной скорости в горной местности:

$$W \cong \frac{0,263(V_{1,500} - k_{1,500} \cdot V_{x,500})_{850} \cdot V_{500} \cdot \sin \beta \cdot \sin \delta \cdot \sin(\delta - 42,5)}{\Delta T}, \quad (1)$$

где $\Delta T = (t_t - t_x)_{850}$ - разность температуры воздуха на изобарической поверхности 850 гПа в начальной и конечной точках траектории воздушных частиц; k_t - коэффициент кривизны траектории на уровне 850 гПа; $V_{1,500}, V_{x,500}$ - скорости воздушной массы на изобарической поверхности 500 гПа в начальной и конечной точках траектории.

Модель описывает дискретность явления, происходящего над горизонтальной, но неоднородной в термическом смысле поверхностью. Интенсивность вертикальных токов над горной местностью обусловлена волновым набеганием холодных воздушных масс над неоднородной поверхностью. Правая часть в выражении (1) свидетельствует о том, что вертикальная скорость претерпевает большие изменения по причине пространственной и временной изменчивости вектора скорости ветра и других метеорологических параметров в турбулентной атмосфере.

При выпадении сильных дождей на северном склоне Заилийского Алатау следует иметь в виду данные, отражающие динамику смещения очага холода (или оси ложбины в средней тропосфере). Например, для территории Казахстана рассмотрены фронтальные зоны на изобарической поверхности 850 гПа, приближающиеся к северному склону хребта Заилийского Алатау. Очаг холода или ось ложбины при правильном проведении фронтального раздела, находится в тылу циклона или за фронтальной зоной. За период с 1979 по 1987 гг. было набрано 535 случаев сосредоточения очагов холода. Очаги сконцентрированы на территории Казахстана, в предгорье Уральских гор и по району, западнее $67,2^\circ$ в.д. на территории Карагандинской области.

Фактические данные показывают, что с вероятностью более 87 % азимут на очаг холода больше азимута на фронтальную зону. Численные значения рассматриваемого угла колеблются от 0 до 90° . Максимум повторяемости из 113 числа случаев (70 %) падает на градацию угла от 0 до 40° . Дополняющей информацией служит рабочая формула (1) расчета конвективных токов в горной местности при прохождении холодных фронтов.

Расчет количества осадков необходимо проводить в виде произведения степенных функций от интенсивности и продолжительности выпадения осадков по формуле:

$$Q = A \cdot I^{0,75} \cdot \tau^{0,59}, \quad (2)$$

где Q - количество осадков, мм; I - средняя интенсивность осадков за период общей продолжительности, мм/ч; τ - общая продолжительность дождя в часах; A - коэффициент пропорциональности расчетной формулы. Числовые значения A изменяются в зависимости от различных значений выпадающих осадков.

Все параметры, входящие в расчетные выражения количества осадков, зависят от общей продолжительности выпадения дождя [5, 6]. Например, средняя интенсивность дождя для региона

$$I = 10,42 \cdot \tau^{-0,81} \quad (3)$$

при:

$$A = 2,03 \cdot \tau^{0,18} \quad (4)$$

Нами выявлена зависимость между τ и W :

$$\tau = 10,66 \cdot W^{-0,82},$$

где W - вертикальная скорость в $\text{см}\cdot\text{с}^{-1}$. Анализ 264 случаев данных плювиограмм и аэросиноптической информации дал коэффициент линейной корреляции 0,80 между $\lg W$ и τ .

Экстремальные значения выпавших осадков определяются из простого соотношения $Q_m = K_m \cdot Q$. Безразмерный параметр K_m является показателем дополнительного вовлечения атмосферной влаги из тропосферы в моменты выпадения осадков. По плювиограммам выпадений 299 случаев ливней получен $K_m = 8,31 \cdot \tau^{0,62}$, коэффициент корреляции между $\lg \tau$ и K_m равен 0,73. Наши исследования подтверждают, что максимально возможные значения ливней у поверхности земли обусловлены фоновым процессом и конвективными явлениями в нижней тропосфере.

Вычисление общей продолжительности выпадения осадков в часах осуществляется по формуле

$$\tau = 0,009 \cdot H_f / U,$$

где H_f - высота уровня конденсации, м; U - скорость смещения облачных систем, м/с. Определение продолжительности ливней τ позволяет проводить расчеты всех параметров по расчету количества ливневых дождей Q , I и A по формулам (2) - (4).

Найдена связь между высотой уровня конденсации, вычисленной по относительной влажности, и дефицитом точки росы $(t - t_d)$ в $^{\circ}\text{C}$: $H_f = 771 + 106,5(t - t_d)$, [7]. Все 245 взятых случаев были выбраны с учетом прохождения синоптических процессов, обуславливающих выпадение осадков более 20 мм за сутки в Заилийском Алатау. По данным метеорологической станции в районе г. Алматы за период 1969 - 1987 гг. для теплого полугодия осуществлено вычисление высот уровня конденсации. Связь между относительной влажностью и дефицитом точки росы предлагается в виде выражения $f = 100 - 14,3\sqrt{t - t_d}$, где f - относительная влажность (%) у поверхности земли.

Также была предпринята попытка исследовать корреляционную зависимость между количеством выпавших ливневых осадков и расходом воды в горных реках. Получена степенная формула вида

$$Q_c = 2,02 \cdot 10^{0,014 \cdot Q_m}$$

с коэффициентом корреляции 0,68 между расходом воды в створе реки Q_c и слоем выпавших осадков Q_m при формировании 80 случаев селей. Это по-

зволяет использовать разработанный метод расчета количества осадков для прогноза селевых потоков дождевого генезиса.

Схема реализации расчетного способа прогноза ливней охватывает, с методологической точки зрения, три прогностических момента: на предварительном этапе вычисляются числовые показатели регионального синоптического процесса на предмет появления погодных явлений с соответствующей заблаговременностью. На втором этапе определяются прогностические значения гидрометеорологических величин. Последний этап - прогноз локальных стихийных явлений погоды для территории региона.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Кенжибаев А.Т. О вертикальных токах при мезопроцессах в стратифицированной атмосфере // Тр. КазНИГМИ. - 1980. - Вып.66. - С. 23 - 28.
2. Кенжибаев А.Т. К расчету средней скорости переноса влаги над территорией Казахстана // Тр. КазНИГМИ. - 1985. - Вып.85. - С. 53 - 60.
3. Кенжибаев А.Т. О расчете интенсивности осадков в атмосфере над Казахстаном // Тр. КазНИИ Госкомгидромета. - 1982. - Вып.83. - С. 17 - 21.
4. Кенжибаев А.Т. О краткосрочном прогнозе локальных стихийных явлений погоды на территории Казахстана // Тр. КазНИГМИ. - 1991. - Вып. 110. - С. 129 - 133.
5. Кенжибаев А.Т. Методика расчетного оперативного способа прогноза обложных и ливневых осадков для равнинной территории Казахстана // Тр. КазНИГМИ. - 1988. - Вып. 100. - С. 103 - 107.
6. Кенжибаев А.Т. Номограммы для расчета произведения степенных функций при прогнозе осадков // Тр.Гидрометцентра СССР. - 1986. - Вып. 275. - С. 96 - 103.
7. Кенжибаев А.Т. Уровень конденсации и высота конвективных облаков на равнинной территории Казахстана // Тр. КазНИГМИ. - 1969. - Вып. 37. - С. 86 - 96.
8. Орлова Е.М. Краткосрочный прогноз атмосферных осадков. - Л.: Гидрометеиздат, 1979. - 169 с.
9. Обзор особо опасных гидрометеорологических явлений, наблюдавшихся на территории Казахстана в 1968 - 1986 гг. - Алма-Ата: Изд. УГМС КазССР. - 123 с.
10. Разработать и усовершенствовать синоптико-статистические методы прогноза с заблаговременностью 18-36 ч стихийных явлений (обильных снегопадов и метелей) для территории Казахстана: Отчет о НИР

(заключительный) / КазНИИ Госкомгидромета. - № ГР 01860039812. -
Алма-Ата, 1988. - 59 с. - Отв. исполнитель А.Т. Кенжибаев.

11. Разработать метод прогноза локальных стихийных явлений (ливней) с
заблаговременностью 12 - 36 ч по северному склону Заилийского Алатау:
Отчет о НИР (заключительный) / КазНИГМИ. - № ГР 01880025302. -
Алма-Ата, 1990. - 81 с. - Отв. исполнитель А.Т. Кенжибаев.

Казахский научно – исследовательский институт
мониторинга окружающей среды и климата

ҚАЗАҚСТАН АУМАҒЫНЫҢ ҮСТІНДЕ ПАЙДА БОЛАТЫН КОНВЕКЦИЯ ЖАҒДАЙЫНДА ТҮСКЕН ЖАУЫН-ШАШЫН САНЫН ЕСЕПТЕУ

Геогр. ғылымдарының канд. А.Т. Кенжебаев

*Мақалада селдердің пайда болуы кезінде тгстамадағы судың
шығынды бөлігін көбейтетін жауын-шашынның санын анықтаудың
есептеу формулалары келтірілген.*