

## ЛИТЕРАТУРА

1. Радченко, В.Г., Семенков, В.М. Применение геосинтетических материалов при строительстве плотин // Гидротехническое строительство. – 1994. – № 5.
2. Пленочные противofильтрационные устройства гидротехнических сооружений. Под ред. И.Е.Кричевского. – М.: Энергия, 1976. – 208 с.
3. Бондарева, Э.Д., Валерьянов, В.И., Диндаров, В.Э. Технико-экономические аспекты применения геосинтетических материалов в дорожном строительстве // Строительные материалы. – 1997. – № 9. – С. 16-19.
4. Мембранные технологии // Проспект АОЗТ "Растро". – 2002. – 5 с.
5. Геомембрана // Проспект фирмы "Техполимер". – 2002. – 3 с.
6. Строительные материалы, оборудование // Проспект ОАО Нелидовский завод пластмасс. – 2002. – 2 с.
7. Строительные материалы, оборудование // Проспект ООО Тегола-Самара. – 2002. – 3 с.
8. Гидроизоляция и противорадоновая защита пленками PVC и PE-HD // Инструкция ЗАО "Стройтехпласт". – 2001. – 38 с.
9. Строительные материалы, оборудование // Проспект ООО ПСМ-Альфа. – 2002. – 2 с.

*УДК 556.12(476.1/9)*

В.Е. Валуев, А.А. Волчек, О.П. Мешик, В.Ю. Цилиндь

### **ИССЛЕДОВАНИЕ СИНХРОННОСТИ КОЛЕБАНИЙ АТМОСФЕРНЫХ ОСАДКОВ И ИХ МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ**

Распределение атмосферных осадков по территории Беларуси представляет собой сложную картину "пятнистости", обусловленную определенным сочетанием физико-географических факторов исследуемого региона. Глобальные и местные факторы находятся в достаточно сложном взаимодействии и влияют на атмосферные осадки всей своей совокупностью. Выполненный нами поиск опти-

мальной длины ряда наблюдений методом последовательного анализа [6] дал 70-летние и более периоды с устойчивой средней величиной атмосферных осадков на территории Беларуси. Однако, имея длительные ряды наблюдений, различные авторы до настоящего времени получают не одинаковые годовые нормы атмосферных осадков для одних и тех же метеопунктов. На эти различия указывается и в работе [4]. Отклонения величин осадков существенны и составляют от 15 до 30 % истинной годовой нормы (130...200 мм.). Такое количество атмосферных осадков для территории Беларуси соизмеримо с оросительной нормой многолетних трав в среднесушливый год (75 %-ной обеспеченности дефицитов водопотребления). К тому же, как отмечает А.Г.Булавко [1], получаемые значения норм осадков, с учетом официально действующих поправок превышают на 5...8 %. Пространственная изменчивость атмосферных осадков нами оценивается по следующей схеме

$$C_{vi} = \left( \sum_j (M_{ij} / \bar{M}_i - 1)^2 \cdot (K - 1) \right)^{0,5}, (j = \overline{1, K}), \quad (1)$$

где  $M_{ij} = f(X_j; Y_j; H_j; t_j)$  - значения атмосферных осадков в любом (j)-пункте Беларуси в функции от его географических координат ( $X_j; Y_j$ ), высоты местности над уровнем моря ( $H_j$ ) и времени ( $t_j$ );  $\bar{M}_i$  - среднее значение атмосферных осадков (норма) для (i) - го интервала времени. Полученные величины ( $C_{vi}$ ) для территории Беларуси представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Коэффициенты пространственной вариации ( $C_{vi}$ ) атмосферных осадков для территории Беларуси (в целом)

Месяцы	1	2	3	4	5	6	
$C_{vi}$	0,11	0,10	0,09	0,08	0,06	0,05	
Месяцы	7	8	9	10	11	12	Год
$C_{vi}$	0,07	0,07	0,08	0,07	0,10	0,10	0,05

Оценка пространственно-временных колебаний величин атмосферных осадков на территории Беларуси нами осуществлена при комплексном исследовании экспериментальных материалов 124

метеопунктов и за репрезентативный пятнадцатилетний период (1951-1965 гг.). В результате перераспределения тепла и влаги по земной поверхности, образуются районы, имеющие какой-либо общий признак. Одним из таких признаков является синхронность колебаний метеорологических элементов. В качестве основного способа оценки синхронности колебаний величин атмосферных осадков на территории Беларуси мы отдали предпочтение вычислению парной корреляции рядов наблюдений за осадками, исходя из того, что коэффициент корреляции является не только объективной качественной, но и количественной характеристикой этих колебаний. При этом выделяются группировки рядов, скоррелированные не менее заданного уровня (например,  $r_{кр}=0,8$ ). Опыт районирования территории Беларуси по осадкам с использованием данного приема отсутствует, поэтому, ограничимся изложением результатов собственных исследований синхронности их месячных величин в годовом разрезе. Наиболее приемлемый уровень скоррелированности атмосферных осадков ( $r_{кр}$ ) представлен помесечно в таблице 2.

Таблица 2 – Исходный уровень скоррелированности атмосферных осадков, принятый для территории Беларуси

Мес.	1	2	3	4	5	6	
гкр	0,85	0,75	0,88	0,78	0,78	0,75	
Мес.	7	8	9	10	11	12	Год
гкр	0,76	0,76	0,82	0,85	0,84	0,85	0,80

В районах синхронного выпадения атмосферных осадков установлена их пространственно-временная изменчивость ( $C_v$ ). Каждому месяцу присущ только свой набор пунктов, объединенных в характерном районе. Количество районов синхронного выпадения осадков для каждого месяца представлено в таблице 3.

Необходимо отметить, что границы выделенных нами районов (рисунок 1) часто совпадают с границами почвенных районов, водосборов и приурочены к естественным повышениям рельефа. "Пятнистость" выпадения атмосферных осадков, выявленная в репрезентативный период (1951...1965 гг.), можно априори распространить на сколь угодно длительную ретроспективу, чтобы данный фактор, наряду с другими, использовать как определяющий при ис-

следовании генезиса почв и пестроты почвенного покрова в целом на территории Беларуси. Обнаруживается тесная связь очертаний границ районов синхронного выпадения дождей в июне (рисунок 1) и почвенного покрова юго-западной части территории Беларуси [5]. На данной территории распространены полугидроморфные почвы (подзолисто-болотные, дерново-болотные, дерново-карбонатно-солончаковые, аллювиальные дерново-болотные). Среднеголетняя норма осадков (июнь), активно участвующих в почвообразовательном процессе, колеблется по территории от 55 до 71 мм. Атмосферные осадки являются определяющим фактором общего круговорота воды, растворения, переноса химических элементов на большие расстояния и распределения их по исследуемой территории в соответствии с выявленной картиной "пятнистости". Кроме того, обнаруживается аналогичное (зональное) распределение по территории Беларуси комплекса радиоактивных частиц, выпавших после Чернобыльской катастрофы. Для мая количество районов синхронного выпадения атмосферных осадков достаточно велико (таблица 3), особенно на юго-востоке Могилевской, Гомельской и Брестской областей, а также на северо-востоке Гродненской и юго-западе Минской области. Именно здесь имеет место наибольшая пестрота плотности радиоактивного загрязнения.

Таблица 3 –Количество районов синхронного колебания атмосферных осадков на территории Беларуси

Месяцы	1	2	3	4	5	6	
Районы, шт.	31	31	19	27	39	34	
Месяцы	7	8	9	10	11	12	Год
Районы, шт.	42	46	40	25	31	29	37

Плотность и репрезентативность осадкомерной сети такова, что обеспечивает данными наблюдений все исследуемые (локальные) участки, в частности сельскохозяйственные поля, в границах которых необходимо иметь количественные показатели влагообмена на уровне подстилающей земной поверхности. Поэтому в основе прикладной количественной оценки атмосферных осадков

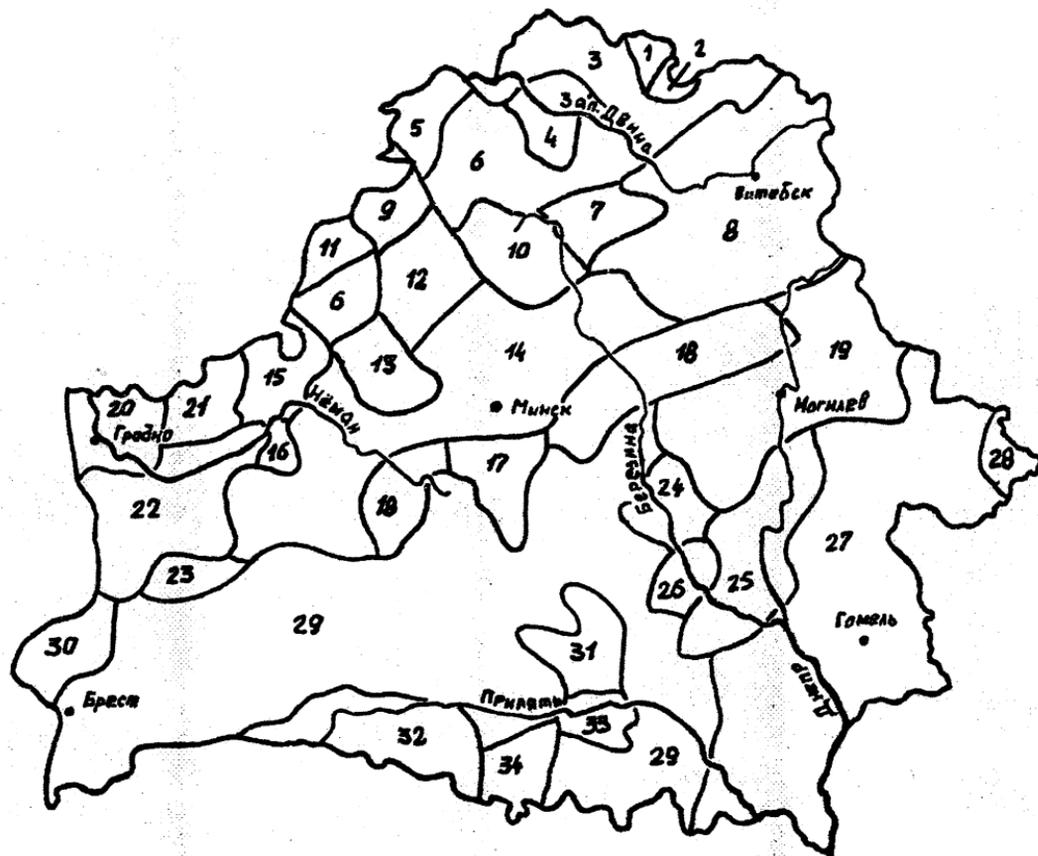


Рисунок 1 – Схема районирования территории Беларуси по синхронности выпадения атмосферных осадков в июне (районы 1...34) при  $r_{\text{ср}}=0.75$

нами положена возможность определения их величин в любой конкретной точке сельскохозяйственного поля. Это может быть реализовано с помощью трехмерной нелинейной модели, аппроксимируемой полиномом степени  $(n)=2$ , когда в качестве исходной функции пространственного распределения осадков принимается функция  $(X(\varphi, \lambda, H))$  [2], а само уравнение имеет вид

$$X_j = \alpha_{0j} + \alpha_{1j} \cdot \varphi + \alpha_{2j} \cdot \lambda + \alpha_{3j} \cdot H + \alpha_{4j} \cdot \varphi^2 + \alpha_{5j} \cdot \lambda^2 + \alpha_{6j} \cdot H^2 + \alpha_{7j} \cdot \varphi\lambda + \alpha_{8j} \cdot \varphi H + \alpha_{9j} \cdot \lambda H, \quad (2)$$

где  $X_j$  – норма атмосферных осадков в расчетном пункте за  $(j)$  – интервал времени, мм;  $\varphi, \lambda$  – условные прямоугольные координаты (широта, долгота) расчетного пункта, принятые, в данном исследовании, относительно пункта Минск, км;  $H$  – абсолютная отметка поверхности земли в расчетном пункте, м;  $\alpha_{0j}, \dots, \alpha_{9j}$  – коэффициенты частных уравнений регрессии (2) для оценки сумм атмосферных осадков за различные интервалы осреднения (таблица 4).

Значения коэффициентов  $(\alpha_{ij})$ , полученные по уравнению (2), подтверждают наибольший вклад в величины атмосферных осадков основного регионального фактора-высоты местности  $(H)$ .

При решении ряда прикладных задач используются среднесуточные величины осадков  $(\bar{P}_{сут.})$ . Оценка их значений, заданных на дискретном множестве точек, и экстраполяция на всю область определения функции непрерывного аргумента возможны с использованием Фурье-анализа. Аппроксимирующая функция разлагается в ряд Фурье и находится сумма этого ряда по формуле

$$f(X) = a_0 + \sum_{n=1}^{\infty} (a_n \cdot \cos nX + b_n \cdot \sin nX), \quad (3)$$

где  $a_0, a_n, b_n$  – коэффициенты Фурье, которые находятся по формулам (4), (5), (6).

Результаты расчетов приведены в таблице 5.

Таблица 4 – Коэффициенты частных уравнений регрессии вида (2) для оценки сумм атмосферных осадков на территории Беларуси

Расчетный период (j), значения коэффициентов ( $\alpha_j$ ), коэффициент множественной корреляции (R)											
j	$\alpha_0$	$\alpha_1$	$\alpha_2$	$\alpha_3$	$\alpha_4$	$\alpha_5$	$\alpha_6$	$\alpha_7$	$\alpha_8$	$\alpha_9$	R(*)
январь	0	0	0,01704	0	-0,00013	-0,00003	0,00028	0	0	0	0,75
февраль	41,94159	0	0	0	-0,00004	0	0,00028	0	0	0	0,53
март	42,67415	0	0,03975	0	-0,00010	-0,00003	0,00019	0,00013	0	-0,00016	0,71
апрель	49,83828	-0,00929	0,06762	0	-0,00013	-0,00004	0	0	0	-0,00036	0,61
май	50,34423	0	0,03343	0,07473	-0,00005	-0,00006	0	0	-0,00005	-0,00017	0,54
июнь	66,75040	-0,00363	0	0,07881	-0,00008	0,00002	0	0	0	0	0,55
июль	78,61711	-0,01374	0,03701	0,07197	-0,00005	-0,00015	0	0,00015	0	0	0,57
август	66,46948	0,02294	-0,04540	0,10630	0,00007	-0,00007	0	-0,00006	0	0,00024	0,68
сентябрь	63,27951	0	0,11728	0	-0,00005	-0,00009	0	0,00008	0,00016	-0,00066	0,80
октябрь	50,61180	0,01175	0,06301	0,02328	-0,00004	-0,00006	0	0,00007	0	-0,00029	0,73
ноябрь	65,17342	0,00853	-0,02416	-0,14789	0	-0,00009	0,00073	-0,00006	0	0,00021	0,73
декабрь	71,55665	0	0,06562	-0,16847	-0,00021	-0,00005	0,00058	0,00005	-0,00008	-0,00026	0,68
год	638,7432	0	0,47642	0,73567	-0,00092	-0,00067	0	0,00049	0	-0,00205	0,79

(\* Примечание: Критическое значение коэффициента множественной корреляции ( $R_{кр}$ )=0,31 [3].

Таблица 5 – Коэффициенты Фурье, рекомендуемые к использованию при оценке среднесуточных осадков на территории Беларуси (формулы 4, 5, 6)

Значения соответствующих коэффициентов в формулах (4), (5), (6)					
a0	a1	a2	a3	a4	a5
-1,9758	-0,4732	0,0986	-0,0023	0,0734	0,0123
b1	b2	b3	b4	b5	
0,1589	-0,3145	0,1057	0,0222	-0,0544	

$$a_0 = \frac{1}{m} \cdot \sum_{k=1}^m Y_k ; \quad (4)$$

$$a_n \approx \frac{2}{m} \cdot \sum_{k=1}^m Y_k \cdot \cos\left(\frac{2\pi \cdot k}{m}\right) \cdot n, \quad (5)$$

$$b_n \approx \frac{2}{m} \cdot \sum_{k=1}^m Y_k \cdot \sin\left(\frac{2\pi \cdot k}{m}\right) \cdot n, \quad (6)$$

где  $m$  - число известных пар значений  $(X_1, Y_1), (X_2, Y_2), \dots, (X_m, Y_m)$ .

График предлагаемой функции аппроксимации среднесуточного количества атмосферных осадков на территории Беларуси представлен на рисунке 2., где точками обозначены среднемесячные значения осадков в привязке к суточному их ходу. Моделирование суточных значений атмосферных осадков нами проводится методом статистических испытаний (Монте-Карло). Рассмотрим конкретный пример. Пусть имеются суточные значения атмосферных осадков для марта месяца, рассчитанные по формуле (3), которые приведены в таблице 6.

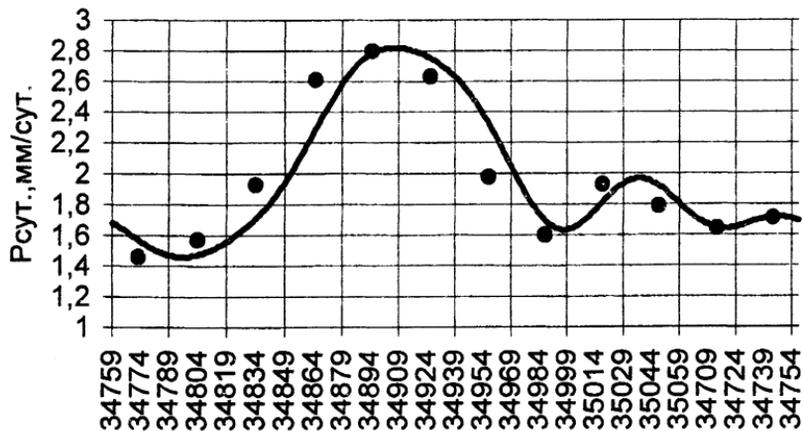


Рисунок 2 – Среднесуточное количество осадков  $\bar{P}_{сут}$  (мм/сут) на территории Беларуси

Таблица 6 – Суточные значения атмосферных осадков (март) на территории Беларуси, полученные по формуле (3)

Календарные даты / атмосферные осадки, мм/сут.										
1/1,68	2/1,67	3/1,66	4/1,65	5/1,65	6/1,64	7/1,64	8/1,63	9/1,62	10/1,61	11/1,60
12/1,59	13/1,59	14/1,58	15/1,57	16/1,56	17/1,55	18/1,55	19/1,54	20/1,53	21/1,52	22/1,52
23/1,51	24/1,50	25/1,50	26/1,49	27/1,49	28/1,48	29/1,48	30/1,47	31/1,47		

Методом статистических испытаний на ПЭВМ нами установлено также распределение на территории Беларуси периодов с осадками и без осадков (для марта приведены в таблице 7.

Таблица 7 – Распределение на территории Беларуси периодов с осадками (заштриховано) и без осадков в течение марта

Календарные даты										
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22
23	24	25	26	27	28	29	30	31		

Суммарное количество атмосферных осадков, выпавших в (j) период с дождливой погодой, при имитационном моделировании определяется как

$$P_{j-пер} = \sum_{i=1}^{m_j} P'_{cym}, \quad (7)$$

где  $m_j$  – количество суток в (j) – периоде с осадками;  $P'_{cym} = P_{cym} + \bar{\zeta}_{j(cym.)}$  – исправленное на среднесуточную величину ( $\bar{\zeta}_{j(cym.)}$ ) суточное количество атмосферных осадков ( $P_{cym}$ ), рассчитанных по формуле (3), – табл.6, 7. Суммарная величина поправки за рассматриваемый (j) период ( $\zeta_j$ ) определяется за время, эквивалентное по продолжительности периоду (j - 1) с ясной погодой, смежному и предшествующему рассматриваемому периоду (j). При этом, используется зависимость (3) и равенство

$$\zeta_j = \sum_{i=1}^{m_{j-1}} P''_{cym(j-1)}. \quad (8)$$

Среднесуточная величина поправки ( $\bar{\zeta}_{j(\text{сум.})}$ ), вносимой в суточные величины атмосферных осадков дождливого периода ( $j$ ), определяется как

$$\bar{\zeta}_{j(\text{сум.})} = \frac{1}{m_j} \cdot \sum_{i=1}^{m_{j-1}} P_{\text{сум.}(j-1)}^{//} \quad (9)$$

где  $\sum_{i=1}^{m_{j-1}} P_{\text{сум.}(j-1)}^{//}$  - сумма суточных величин атмосферных осадков, рассчитанных по функции (3), табл. 6,7, за время ( $m_j - 1$ ), эквивалентное по продолжительности периоду ( $j - 1$ ) с ясной погодой;  $m_j$  - продолжительность рассматриваемого ( $j$ ) - периода, в который вносится поправка;  $m_j - 1$  - то же предшествующего периода с ясной погодой ( $j - 1$ ). Смоделированное дискретно во времени суточное количество атмосферных осадков для марта месяца представлено в таблице 8.

Предлагаемая нами модель реализации процесса выпадения атмосферных осадков на территории Беларуси может экстраполироваться на любой по продолжительности период. Моделирование процесса выпадения атмосферных осадков различной обеспеченности позволяет получить любое количество его реализаций и, следовательно, любое количество реализаций процесса управления водным балансом (режимом) на исследуемом уровне. Управление водным балансом процесса тепловлагомассообмена на уровне деятельной поверхности водосборов исключает потерю информации, позволяет привлекать смоделированные ряды балансовых элементов оптимальной продолжительности.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Булавко, А.Г. Водный баланс речных водосборов. – Л.: Гидрометеоздат, 1971. – 304 с.
2. Закс Лотар. Статистическое оценивание. – М.: Статистика, 1976. – 392 с.

Таблица 8 – Суточные значения атмосферных осадков на территории Беларуси (март), полученные имитационным моделированием (формулы 7...9)

Календарные даты / атмосферные осадки, мм/сут										
1/1,68	2/-	3/-	4/-	5/2,07	6/2,06	7/2,06	8/2,05	9/-	10/1,84	11/1,83
12/1,82	13/1,82	14/1,81	15/1,80	16/1,79	17/-	18/-	19/-	20/-	21/-	22/-
23/2,28	24/2,27	25/-	26/-	27/-	28/-	29/-	30/-	31/-		

3. Климат Беларуси / Под ред. В.Ф.Логинова.— Минск: Институт геологических наук АН Беларуси, 1996. — 235 с.
4. Почвы Белорусской ССР. — Минск, 1974.
5. Швер, Ц.А. Применение метода последовательных изменений и интегрально-разностных кривых для вычисления норм осадков. — Труды ГГО, 1964, вып. 162. — С. 22-36.

*УДК 556.166 "321" (476)*

В.Е. Валуев, А.А. Волчек, В.В. Лукша, О.П. Мешик, В.Ю. Цилиндра

## **ОПРЕДЕЛЕНИЕ МАКСИМАЛЬНОГО СТОКА ВЕСЕННЕГО ПОЛОВОДЬЯ ПРИ ОТСУТСТВИИ ДАННЫХ ГИДРОМЕТРИЧЕСКИХ НАБЛЮДЕНИЙ**

Исследование стока малых рек в общем и экстремальных его значений в частности является актуальной проблемой для территории Беларуси, где малых рек более 20 тысяч. В условиях энергетического кризиса использование энергии малых рек потребует более углубленного исследования гидрологического режима гидрографической сети и водосборов.

Прогнозная оценка экстремальных значений стока малых рек Беларуси дает возможность предотвращения негативных явлений на сельскохозяйственных землях в поймах малых рек, возникающих в периоды весеннего половодья и летне-осенней межени.

Малая река, как объект природы, согласно ГОСТ 19179-73 [1] — это река, бассейн которой располагается в одной географической зоне, и гидрологический режим ее под влиянием местных факторов может отличаться от рек данной зоны. Однако в различных областях знаний и практической деятельности эту категорию рек определяют, обычно, по длине или площади водосбора, причем, не всегда равноценным. Эти различия в понятии малой реки связаны, прежде всего, с видом исследований и разными подходами к проблеме малых рек, с точки зрения современных наук. Исследование режимов стока малых рек Беларуси позволило авторам, руководствуясь нор-