

### Литература

1 Мурашко А. И., Митрахович А. И., Довнар С. В. Осушение земель вертикального дренажа. - : Ураджай, 1980. - 248с.

2 Мороз М.Ф., Митрахович А.И. О выборе места установки датчиков УГВ на системах вертикального дренажа. // Мелиорация переувлажненных земель. - Мн.: Ураджай, 1989. - Т.37.-с.138-141.

## ПРОБЛЕМЫ КОЛИЧЕСТВЕННОЙ ОЦЕНКИ СОСТАВЛЯЮЩИХ ТЕПЛОВЛАГОРЕСУРСОВ БЕЛАРУСИ

О.П. Мешик

Факультет водоснабжения и гидромелиорации, БПИ  
Брест, Республика Беларусь

*Рассматриваются проблемы количественной оценки атмосферных осадков, являющихся основным источником водных ресурсов исследуемой территории, приводятся результаты исследований пространственного распределения атмосферных осадков и отмечается их экологическая роль в процессах почвообразования и др., дается качественно новое описание расхода теплоэнергетических ресурсов климата на различные природные процессы, предлагаются расчетные зависимости.*

АТМОСФЕРНЫЕ, ОСАДКИ, НОРМЫ, СИНХРОННОСТЬ, ВЫПАДЕНИЕ,  
ТЕПЛОЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ, РЕСУРСЫ, ТЕПЛО, КОМПЕНСАЦИЯ,  
ТЕПЛОВЛАГООБМЕН

В тепловоднобалансовых исследованиях наблюдается тенденция к непосредственному измерению (определению) основных расчетных характеристик. Однако, экономические факторы накладывают ограничения на повсеместное использование подобного подхода, требующего сгущения опорной сети пунктов наблюдений при неизбежном расширении наблюдаемых косвенных тепловоднобалансовых характеристик на метеопунктах. В связи с этим, разрабатываются методики тепловоднобалансовых расчетов при отсутствии данных наблюдений за балансовыми элементами, основанные, как правило, на поиске корреляционных зависимостей между ними и массово наблюдаемыми характеристиками климата. Расширение целей использования балансового метода, помимо изучения естественного увлажнения и теплообеспеченности деятельной поверхности земли, вызвало необходимость

расчета тепловоднобалансовых характеристик за короткие интервалы времени. Особенно это актуализировалось в результате интенсивного развития гидромелиораций в конце 70 - х - начале 80 - х годов, когда мелиоративные мероприятия стали разрабатывать на основе результатов воднобалансовых расчетов для деятельного почвенного слоя за месячные (декадные) интервалы времени. Так, В.И.Бабкиным [1] и др. предложены методики расчетов водного баланса за короткие - до суток, интервалы времени. Такой подход позволяет оперативно корректировать режимы гидромелиораций с учетом фактической тепловлагообеспеченности земель и фактического состояния сельхозкультур.

В настоящее время, теоретические знания широко используются не только в области мелиорации и водного хозяйства Беларуси, но и в других отраслях. Наиболее актуальным, после Чернобыльской катастрофы, стало использование методов гидролога - климатических исследований и тепловоднобалансовых расчетов для целей охраны окружающей Среды и экологии.

Одним из основных погребителей тепловлагоресурсов является сельское хозяйство. Ресурсы тепла и влаги рассматриваются в комплексе, так как их рациональное использование взаимосвязано и взаимообусловлено. Например, если почва содержит оптимальное для роста растений количество влаги и питательных веществ, то максимальная эффективность фотосинтеза составляет, в вегетационный период, - 1...2% приходящей на деятельную поверхность солнечной энергии. Очевидно, что ресурсы солнечной радиации возрастают по направлению к экватору, но недостаток ресурсов влаги в южных районах не позволяет эффективно использовать имеющиеся избытки теплоресурсов. В данном случае, развитие орошаемого земледелия является одним из путей рационального использования солнечной энергии. В условиях Беларуси, которая относится к зоне неустойчивого естественного увлажнения, имеют место как избытки тепла и влаги, так и их дефициты. Суммарные ресурсы естественного увлажнения территории Беларуси определяются, главным образом, атмосферными осадками, частично, - сезонными изменениями влагозапасов в аэрированном слое почвогрунтов, а также положительным сальдо грунтовых вод, которые питаются теми же осадками, перераспределенными во времени из - за количественного несоответствия ресурсов тепла и влаги в их годовом ходе.

Исследования атмосферных осадков, как основного источника и экологического фактора в формировании водных ресурсов, позволили устано-

вить, что различные авторы, имея длительные ряды наблюдений за осадками, получают неодинаковые годовые их нормы (таблица 1), так как используют свои величины поправок на ветровой недоучет и смачивание приборов.

Различия составляют от 15 до 30% истинной годовой нормы (130...200 мм). Такое количество "возможно" неучтенных атмосферных осадков для территории Беларуси соизмеримо с оросительной нормой многолетних трав в среднезасушливый год (75%-ной обеспеченности дефицитов водопотребления). Очевидно, что использование традиционного воднобалансового метода в инженерных расчетах при таком качестве исходных данных чревато грубыми просчетами. Отсюда вытекает необходимость установления единых норм атмосферных осадков.

Таблица 1 Годовые нормы атмосферных осадков ( $X$ , мм) с поправкой на ветровой недоучет, по различным авторам и источникам

Авторы и источники	Нормы осадков по пунктам наблюдений ( $X$ , мм/год)					
	Витебск	Минск	Могилев	Гродно	Брест	Гомель
Научно-прикладной справочник по климату СССР, 1987	757	800	775	671	681	694
Справочник по климату СССР, 1968	759	801	788	655	661	721
Основные данные по климату СССР, 1976	620	646	644	545	548	590
Волчек А.А., 1988	683	698	685	668	654	623
Шебеко В.Ф., 1962	600	603	633	586	540	589
Агроклиматический справочник, 1970	613	646	644	545	548	589
Голченко М.Г., 1976	-	801	-	655	661	-
$X_{\max} - X_{\min}$	157	198	144	126	141	132

Изменчивость пространственно - временного распределения атмосферных осадков и статистическая структура их полей исследованы за годовой и внутригодовые периоды, для которых получены соответствующие коэффициенты вариации  $C_v$  и построены поля изокоррелят. Поля изокоррелят представляют собой линии неправильной формы, близкой к эллиптической, и с достаточной степенью точности могут являться обоснованными границами природоохранных зон производственных комплексов [2]. Распреде-

ние атмосферных осадков по территории Беларуси представляет собой сложную картину "пятнистости", обусловленную определенным сочетанием физико-географических факторов исследуемого региона. Причины пятнистости заложены в характере общециркуляционных процессов и неоднородности подстилающей поверхности. Образуются районы, имеющие какой-либо общий признак. Одним из таких признаков является синхронность колебаний метеорологических элементов, которая была оценена вычислением парной корреляции рядов наблюдений. Составленные схемы районирования территории Беларуси по синхронности выпадения атмосферных осадков показали, что каждому месяцу присущ только свой набор пунктов, объединенных в характерном районе. Количество районов синхронного выпадения осадков колеблется от месяца к месяцу (19...45 шт). Наименьшее количество характерных районов в Беларуси приходится на март, апрель и октябрь. В эти месяцы наблюдаются фазовые изменения осадков (твердая - жидкая - твердая) при наименьшей амплитуде месячных норм. Для теплого периода (кроме июня) площади выделенных районов в северо-восточной части Беларуси - наибольшие, что, скорее всего, определяется режимом выпадения здесь осадков. Необходимо отметить, что границы выделенных нами районов часто совпадают с границами почвенных районов, водосборов и приурочены к естественным повышениям рельефа. Отмечена тесная связь очертаний границ районов синхронного выпадения дождей в июне (рисунки 1) и почвенного покрова юго-западной территории Беларуси [3].

На данной территории распространены полугидроморфные почвы. В центральной и северной части Беларуси, выделенные нами, границы районов синхронного выпадения осадков достаточно тесно увязаны с границами районов, характеризующими эродированность почв территории республики. Процесс водной эрозии на водосборах выражается ухудшением состояния их поверхности и объемом смытой почвы. В работе [4] предлагаются соответствующие расчетные методики. В итоге, можно сделать вывод, что июнь - наиболее продуктивный месяц с точки зрения главенствующего влияния климатического фактора - атмосферных осадков на процессы почвообразования.

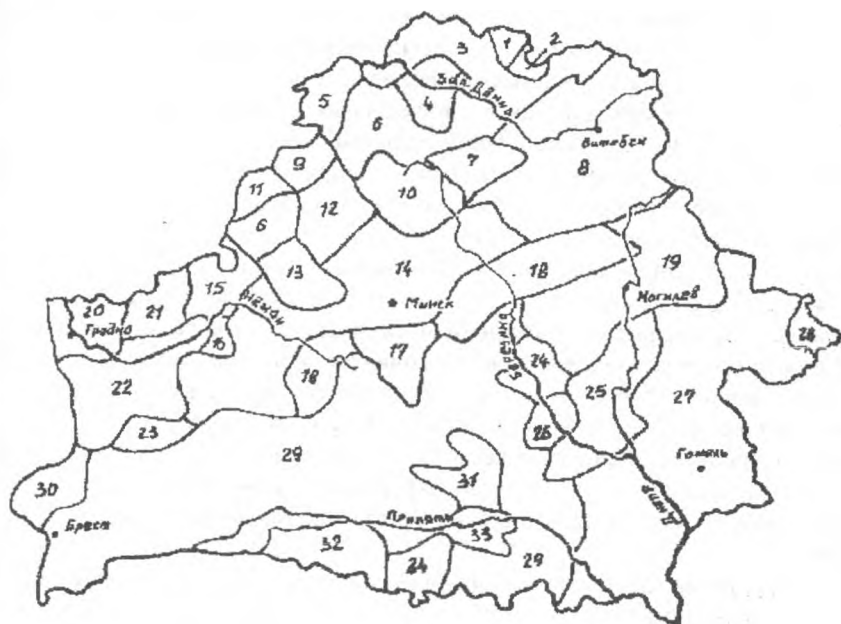


Рисунок 1 Схема районирования территории Беларуси по синхронности выпадения атмосферных осадков в июне.

Комплексное (совместное) районирование атмосферных осадков и типов почв представляет собой новизну, с точки зрения геоэкологии, имеет большой практический интерес для различных отраслей народного хозяйства и специалистов. К примеру, если в пределах установленного района синхронного выпадения дождей проводить синхронные и адекватные потребностям культурных растений гидромелиоративные мероприятия, то можно достичь такого качественного уровня управления объективно взаимосвязанными водным, тепловым и питательным режимами корнесобитаемого слоя почв, при которых эти мероприятия гармонично впишутся в природные циклы и будут экологически безопасными на эксплуатируемой территории.

В основу прикладной количественной оценки атмосферных осадков, нами положено требование возможности определения их величин в любой конкретной точке сельскохозяйственного поля. Это может быть реализова-

но введением функции  $X = f(\varphi, \lambda, H)$  (широта,  $\lambda$  - долгота,  $H$  - высота местности), согласно которой разработаны регрессионные оценочные модели норм атмосферных осадков за  $j$  - интервал времени. Сравнение месячных и годовых норм атмосферных осадков, приведенных в справочнике по климату, где использованы 70 летние и более ряды наблюдений, с нормами осадков, полученными по разработанным нами зависимостям, показало, что наибольшие ошибки не превышают 9...12%, а для большей части пунктов и месяцев находятся в пределах 5% [4].

Среднесуточные значения атмосферных осадков на территории Беларуси получены разложением аппроксимирующей функции в ряд Фурье. 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. Например, управление водным балансом процесса тепловлагомассообмена на уровне деятельной поверхности водосборов исключает потерю информации, позволяет привлекать смоделированные ряды балансовых элементов оптимальной продолжительности.

Приходящая на земную поверхность солнечная энергия, которая с определенной закономерностью распределяется по территории, формирует теплоэнергетические ресурсы климата и активно участвует в процессах тепло-влагообмена, может быть рассчитана более точно при условии вскрытия сложных взаимодействий компонентов климатической системы: Солнце - атмосфера - подстилающая поверхность. Солнце - основной энергетический источник формирования климата на Земле. Интенсивность солнечного излучения для реального пункта исследуемой территории представляется функцией  $Q = f(\varphi, \lambda, H, t)$  (время). В процессе тепло-влагообмена происходит преобразование солнечного тепла в другие виды энергии и аналитическая запись закона превращения и сохранения энергии представляет собой уравнение теплоэнергетического баланса, где основным членом, отражающим тепло-влагообмен на уровне подстилающей земной поверхности, является  $(LZ)$  - тепло, затрачиваемое на суммарное испарение. Из балансового уравнения выделяются те ресурсы климата, которые, в комплексе, формируют испаряющую способность приземного слоя воздуха - максимально возможное суммарное испарение  $(LZ_m)$ . Расчет годовых норм  $Z_{mr}$  произведен по методикам с известной структурой [5], в результате чего получены нормы максимально возможного испарения для ряда пунктов Беларуси, однако, в

сравнении с нормами  $Z_{\text{нр}}$ , определенными другими авторами они оказались несколько завышенными (таблица 2).

Таблица 2 Годовые нормы максимально возможного испарения ( $Z_{\text{нр}}$ , мм) на территории Беларуси по различным авторам

Станция	Параметры						
	$R_n$ кал/ /см <sup>2</sup>	$R_n^+$ кал/ /см <sup>2</sup>	$R_n^+$ кал/ /см <sup>2</sup>	$Z_{\text{нр}}$ , мм по Мезенцеву, Карнацкому	$Z_{\text{нр}}$ , мм по Голченко	$Z_{\text{нр}}$ , мм по Волыску	$Z_{\text{нр}}$ , мм автор
Верхне- двинск	39	49	4	711	685	707	871
Витебск	39	50	4	745	710	711	884
Минск	40	50	4	748	713	733	888
Марьяна Горка	40	50	4	750	714	736	892
Лида	40	50	4	756	718	756	898
Гродно	41	51	3	774	732	782	910
Горки	39	49	4	739	706	684	881
Могилев	40	50	4	754	717	767	894
Пинск	42	52	3	805	756	808	924
Брест	42	53	3	819	766	862	934
Гомель	41	51	3	793	746	836	913
Васи- левичи	41	51	3	789	743	852	914

Очевидно, что теплоэнергетические ресурсы ( $R^+$ ,  $P^+$ ) - соответственно, положительные составляющие радиационного баланса и турбулентного теплообмена приземной атмосферы, представленные в методике [5], расходуются помимо процесса суммарного испарения на другие процессы, установить которые стало возможным через вскрытие механизма формирования динамики внутригодового хода всех составляющих  $LZ_{\text{нр}}$ . Корректное решение задачи получается при расчете максимально возможного испарения за более короткие интервалы времени (месяцы, декады, пентады, сутки). С последующим суммированием этих величин и получением годовых норм. Ограничения в объеме данной статьи не позволяют привести все разработанные расчетные методики, однако, необходимо отметить, что в ходе исследований и аналитических расчетов выявлена часть теплоэнергетических ресурсов, расходующихся на компенсацию потоков холода - отрицательная адвективная составляющая турбулентного теплообмена приземной

атмосферы ( $P_a^-$ ). Качественное и количественное описание этого процесса выполнено ниже.

Обычно, температура земной поверхности не равна температуре вышележащих слоев воздуха, в следствие чего, имеет место теплообмен, обусловленный турбулентной теплопроводностью воздуха. Схема векторов турбулентного теплообмена приземной атмосферы представлена на рисунке 2 и включает в себя положительные и отрицательные потоки конвективного  $P_k^+$ ,  $P_k^-$  и адвективного тепла  $P_a^+$ ,  $P_a^-$ .

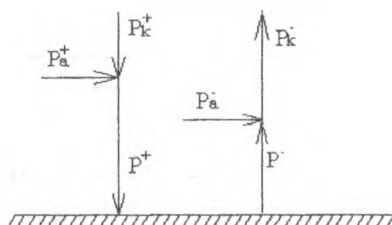


Рисунок 2 Схема векторов турбулентных потоков приземной атмосферы.

Поток конвективного тепла ( $P_k^+$ ) имеет вертикальное направление, считается положительным и направленным к земной поверхности при более низком теплосодержании подстилающей поверхности, чем более высокие слои приземной атмосферы. И наоборот,  $P_k^-$  - направлен от нагретой подстилающей поверхности к холодным верхним слоям воздуха. Результирующая конвективного потока тепла находится через градиент температуры  $\text{grad} t = t_n - t_z$ , где  $t_n$  - температура подстилающей поверхности;  $t_z$  - температура воздуха на высоте -  $z$ . Так как величина конвективного тепла представляет собой незначительную часть положительной составляющей турбулентного теплообмена приземной атмосферы, формирующей теплоэнергетические ресурсы климата, абсолютная ошибка расчетных величин мала. Основную долю тепла составляет тепло адвекции, получаемое в результате горизонтального переноса воздушных масс. Положительной считается составляющая  $P_a^+$ , при более высоком теплосодержании воздушных масс, приносимых с других территорий, чем теплосодержание подстилающей поверхности исследуемой территории. Величина  $P_a^-$  имеет место в случае



прихода извне холодных воздушных масс (так называемая адвекция холода). Величина  $P_r^+$ , входящая в уравнение

$$LZ_{mr} = R_r^+ + P_r^+, \quad (1)$$

представляет собой алгебраическую сумму потоков  $P_{ar}^+ + P_{kr}^+ = P_r^+$ . Однако, уравнение (1) характеризующее теплоэнергетические ресурсы климата, идущие на процесс суммарного испарения, не учитывает расход тепла на компенсацию потоков холода, предопределяемых, в основном, величиной  $P_{ar}^-$ , а суммарно  $P_r^- = P_{ar}^- + P_{kr}^-$ . Как уже было отмечено, тепловой режим Беларуси формируется, в большей степени, коротковолновой составляющей солнечной радиации, но существенный вклад в процесс формирования теплоэнергетических ресурсов климата вносит атмосферная циркуляция. В результате, оказывается значительным влияние морского воздуха Атлантики. Влияют на климат Беларуси и внутриматериковые воздушные массы. Так, Арктический воздух, проникая на исследуемую территорию, всегда вызывает резкое похолодание. При этом, температура приземного слоя воздуха зимой может достигать ниже  $-(40)^\circ\text{C}$ , а летом  $+(8...12)^\circ\text{C}$ , при нормах  $-(7)^\circ\text{C}$ ,  $+(18)^\circ\text{C}$ , -, соответственно. Влияние на климат Беларуси тропических воздушных масс менее выражено, чем влияние воздушных масс умеренных широт и Арктики. Оно сказывается, в основном, на юго-востоке Полесья, куда тропические воздушные массы приносят жару и сухость в виде потока тепла  $P_a^+$ . С учетом вышесказанных замечаний, уравнение (1) для оценки максимально возможного испарения в средний многолетний год запишется в виде

$$LZ_{mr} = R_r^+ + P_r^+ - P_r^- = R_r^+ \pm \Delta P_r. \quad (2)$$

Нормы  $Z_{mr}$ , полученные автором по уравнению (1), оказались завышенными на величину тепла, компенсирующего потоки приносимого холода ( $P_r^-$ ); в среднем для Беларуси это  $7,6...8,0$  ккал/см<sup>2</sup>год. Исследования, проведенные нами позволили установить широтный характер распределения тепла, идущего на компенсацию холодных воздушных масс ( $P_r^-$ ), и зависимости, предлагаемые к практическому использованию, имеющие вид:

$$P_r^- = -81,91 + 1,69 \varphi, \quad \text{при } r = 0,78 \pm 0,06; \quad (3)$$

или

$$P_r^- = 45,94 - 0,016 \sum t > 10^\circ\text{C}, \quad \text{при } r = -0,81 \pm 0,06. \quad (4)$$

На нагревание потока холодных масс ( $P_a^-$ ) расходуются части потока тепла из почвы ( $B^+$ ), положительной составляющей радиационного баланса ( $R^+$ ), тепла конвекции ( $P_k^+$ ), тепла, выделяемого при конденсации водяных паров ( $LC$ ) и при фазовых переходах воды ( $\Delta LZ_m$ ). При расчете максимально возможного испарения за более короткие, чем годовой, интервалы времени - ( $i$ ), происходит дифференцированный учет этих теплотоков, суммарно составляющих поправку к  $Z_{mi}$ . На рисунке 3 представлен внутригодовой ход тепла, идущего на компенсацию адвективной составляющей турбулентного теплообмена приземной атмосферы ( $P_{ai}$ ).

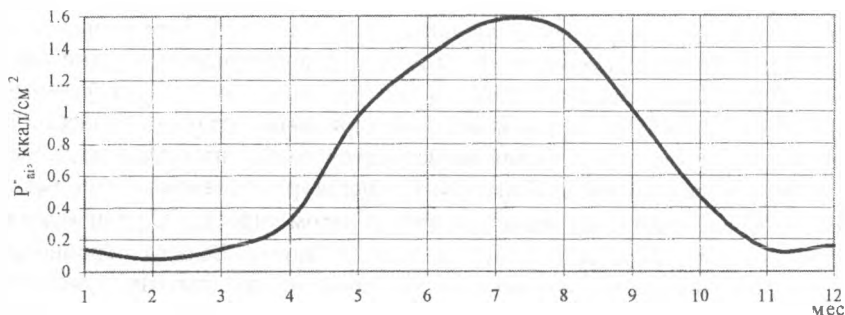


Рисунок 3 Внутригодовой ход тепла, идущего на компенсацию адвективной составляющей турбулентного теплообмена приземной атмосферы ( $P_{ai}$ ).

Как видно из рисунка 3, наибольшее количество тепла, идущего на компенсацию  $P_{ai}$ , приходится на летние месяцы. Это связано с тем, что величина турбулентного теплообмена зависит не только от его интенсивности на некоторой высоте от подстилающей земной поверхности, но и от условий теплопроводности атмосферы, определяемой, в большей степени, ее влажностью. По данным [6], на летние месяцы приходится наибольшее влагосодержание атмосферы, соответственно, - 21, 26, 24 мм, а во внутригодовом ходе влагосодержание и  $P_{ai}$  следуют синхронно. Это делает возможным проводить косвенную оценку тепла компенсации ( $P_{ai}$ ) по ее связям с влагосодержанием атмосферы ( $W_{атм i}$ , мм). Для Беларуси предлагается зависимость вида

$$P_{ai} = -0,54 + 0,084 W_{атм i}, \quad \text{при } r = 0,98 \pm 0,01. \quad (5)$$

В аналитические зависимости, содержащие величины ( $R$ ,  $P$  и  $B$ ), для приведения их к единицам измерения системы СИ необходимо вводить поправочный коэффициент ( $k$ ) из расчета  $1 \text{ ккал/см}^2 = 41,9 \text{ Дж/м}^2$ .

Разработанные методики количественной оценки составляющих теплоресурсов климата, в особенности за суточные интервалы времени, позволяют объективно оценить ту часть энергии, которая тратится на процесс суммарного испарения. Суммарное испарение, в свою очередь, является связующим звеном в процессе обмена тепла и влаги на подстилающей земной поверхности, выступает одной из основных расходных характеристик уравнения водного баланса.

В итоге, необходимо отметить, что, в рамках исследований по разработке рациональных и экологически безопасных моделей управления процессом тепловлагообмена в границах сельскохозяйственного поля, видится модель природно-хозяйственной системы, в которой будет осуществляться непрерывная текущая (посуточная) оценка почвенных влагозапасов (на  $n$  - суток), и корректировка прогнозируемых характеристик с учетом фактической тепловлагообеспеченности сельскохозяйственного поля.

#### Литература

- 1 Бабкин В.И. Взаимосвязь элементов водного баланса речных бассейнов. - Труды ГГИ.- 1979.- Вып.260.- С.26-38.
- 2 Валуев В.Е., Волчек А.А., Мешик О.П., Цилиндь В.Ю. К вопросу установления границ природоохранных зон производственных комплексов // Ресурсосберегающие и экологически чистые технологии / Под ред. А.И.Свириденка. - Гродно, 1995.- Часть I. - С.327-334.
- 3 Почвы Белорусской ССР / Под ред. Т.Н.Кулаковской, П.П.Рогового, Н.Н. Смеяна.- Мн.: Ураджай, 1974.- 328с.
- 4 Валуев В.Е., Волчек А.А., Мешик О.П., Цилиндь В.Ю. Исследование и моделирование процесса формирования атмосферных осадков на территории Беларуси.- Деп. в ин-те "Белинформпрогноз" 12.12.1995, №Д199560.- 62с.
- 5 Мезенцев В.С., Карнацевич И.В. Увлажненность Западно - Сибирской равнины.- Л.: Гидрометеониздат, 1969.- 168с.
- 6 Кузнецова Л.П. Атмосферный влагообмен над территорией СССР.- М.: Наука, 1983.- 174с.