

А. М. МХИТАРЯН

НЕКОТОРЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ НАТУРНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ
ТРАНСФОРМАЦИИ ВОЗДУШНОГО ПОТОКА
НАД ОЗЕРОМ СЕВАН

Как известно [2, 8, 10, 11, 16 и др.], испарение с поверхности водоемов определяется по следующей эмпирической формуле:

$$E = a(1 + bv)(e_0 - e) \quad (1)$$

где E — испарение, v , e — скорость ветра и упругость паров воды в воздухе на некоторой высоте, например, на высоте $z = 2$ м, e_0 — упругость насыщения, рассчитанная по температуре поверхности воды, a и b — эмпирические размерные постоянные.

Если в основу расчетов положено уравнение переноса влаги в турбулентной атмосфере, то формула расчета испарения получается в следующей форме [8, 10, 11, 16 и др.]:

$$E = a_0 v (e_0 - e) \left(1 + A_0 \frac{\Delta T}{v^2} \right) \quad (2)$$

Здесь $\Delta T = T_0 - T_2$ — разность температур вода-воздух, a_0 , A_0 — размерные постоянные, учитывающие, главным образом, условия турбулентного обмена.

Испарение с открытой водной поверхности определяется также методами водного и теплового балансов, но на них мы здесь останавливаться не будем.

Подчеркнем следующее важное обстоятельство. В формулы расчета испарения (1) и (2) следует подставлять значения гидрометеорологических элементов (e , T_2 , v , T_0 , e_0), имеющих место на открытой акватории водоема, измеряются же они по большей части на береговых станциях и постах, а иногда даже на станциях, намного удаленных от водоема, так что результаты этих измерений не могут считаться репрезентативными для характеристики гидрометеорологического режима данного водоема. В случае же проектируемого водохранилища его будущий ветровой, температурный и влажностный режимы вообще должны быть предварительно вычислены на основании косвенных данных, полученных на гидрометеорологических станциях и постах или путем организации экспедиционных наблюдений.

Хорошо, если поблизости имеется водно-испарительная площадка или, хотя бы, площадка с одним лишь испарителем ГГИ-3000. В этих последних случаях решение вопроса несколько облегчается.

Обычно под трансформацией воздушного потока понимают изменение его характеристик под влиянием подстилающей поверхности, как,

например, изменение скорости, влажности и температуры воздушного потока при его переходе с одной подстилающей поверхности к другой, например, с суши на водоем.

Теоретических работ, посвященных трансформации ветра очень мало [1, 2, 3, 6, 7, 8, 13, 15, 16]. Несколько более подробно изучена трансформация влажности и температуры [2, 10, 14, 16 и др.].

Экспериментальных работ еще меньше [1, 2, 11, 10].

Поскольку накопление данных натуральных наблюдений необходимо для последующего построения теоретических моделей, в этой статье излагаются некоторые результаты таких наблюдений, проведенных на озере Севан за 1951—1964 гг. Начиная с 1951 г., проводились рейдовые наблюдения с катера в каждую декаду, т. е. 10, 20 и 30 числа каждого месяца. Катер обходил все 17 гидрологических вертикалей (фиг. 1) на озере. Проводились измерения скорости ветра, влажности и температуры воздуха, температуры воды на разных глубинах. Кроме того, в 8 прибрежных пунктах, равномерно размещенных по периметру озера, проводились ежедневные наблюдения в четыре климатических срока за теми же элементами.



Фиг. 1. Схематическая карта пунктов наблюдений. На озере обозначены номера рейдовых вертикалей.

В двух пунктах (остров Севан и Мартуни) с целью изучения суточного хода тех же элементов подобные наблюдения проводились учащенно. В течение 1956—1964 гг. в разных прибрежных пунктах (остров Севан, Шоржа, Артаниш, Бабаджан, Дара, Масрик, Алучалу, Норадуз) проводились экспедиционные работы, во время ко-

торых проводились градиентные наблюдения. Некоторые результаты этих работ опубликованы [10, 12, 16].

Анализ материалов наблюдений показал, что наиболее изменчивым элементом по акватории оз. Севан является величина и направление скорости ветра. Остальные элементы особой изменчивости по горизонтали не проявляют. Поэтому необходимо к расчету скорости ветра по всей акватории озера применить дифференциальный метод, производя районирование акватории, в то время, как для расчета влажности и температуры можно применить интегральный метод, считав их значения для всей акватории озера в целом.

Основное затруднение использования данных рейдовых наблюдений на озере связано с тем, что они проводились в светлую часть суток в часы, когда катер приходил в данный пункт. Хотя катер выходит на рейд в указанные выше дни, обходит все 17 пунктов наблюдений в определенной последовательности, все же имеются пропуски и т. д. Данные этих наблюдений не характеризуют распределение гидрометеорологических элементов по горизонтали в одни и те же сроки и не описывают изменение элемента по времени в фиксированной точке, т. е. эти данные не описывают явление ни по переменным Эйлера, ни по переменным Лагранжа.

Для преодоления этого затруднения поступали следующим образом.

Для всех рейдовых дней (30—36 дней в год) за все время наблюдений был тщательно проверен и построен суточный ход влажности и температуры воздуха и температуры поверхности воды по данным Севан-остров и Мартуни (фиг. 1).

Проверка большого числа расчетов показала, что для указанных элементов достаточно брать в основу данные станции Севан-остров. Далее, для каждой рейдовой вертикали и берегового пункта по срокам наблюдений определялось синхронное значение элемента по кривой суточного хода основной станции Севан-остров.

Таким образом, были получены точные синхронные данные для всех 25 пунктов. Исходя из глубины озера, конфигурации берегов и режима ветра, каждому из этих пунктов приписывалась определенная часть площади озера, затем определялось среднее взвешенное значение переходного коэффициента для расчета значения элемента по данным основной станции. Такое осреднение огромного количества данных исключает ошибки и, кроме того, путем учета суточного хода элемента позволяет исключить довольно ощутимое влияние того факта, что рейдовые наблюдения проводятся лишь в светлую часть суток. Построение корреляционных связей между установленными нами синхронными данными пункта и основной станции показало полную приемлемость предложенного интегрального метода. Коэффициенты корреляции оказались, как правило, не меньше 0.9.

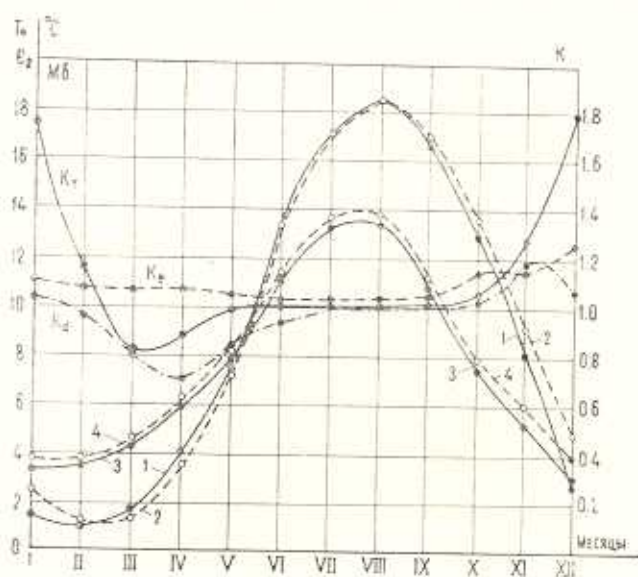
Ниже, в табл. 1 приведен годовой ход температуры поверхности воды (T_0), упругости паров на высоте 2 м (e_2) и дефицита влажности воздуха на той же высоте (d_2) у уреза основной станции Севан-остров.

Здесь же приведен годовой ход тех же элементов для всего озера в целом (T_0 , e_2 , d_2), рассчитанный по значениям переходных коэффициентов (K_T , K_e , K_d).

$$T_0 = K_T T'_0, \quad e_2 = K_e e'_2, \quad d_2 = K_d d'_2 \quad (3)$$

Годовой ход температуры поверхности воды, упругости и дефицита влажности воздуха у уреза острова (T'_0 , e'_2 , d'_2) и на акватории озера (T_0 , e_2 , d_2), а также переходных коэффициентов

Месяцы	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Год
T'_0	1.4	1.0	1.6	4.0	7.5	13.4	17.0	18.4	16.7	13.0	7.1	2.7	8.6
K_T	1.7	1.2	0.8	0.9	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.1	1.3	1.7	1.1
T_0	2.5	1.2	1.3	3.6	7.5	13.4	17.0	18.4	16.9	13.6	9.3	4.8	9.2
e'_2	3.35	3.52	4.31	5.91	7.85	11.2	13.3	13.4	10.8	7.45	5.31	3.0	7.45
K_e	1.10	1.08	1.07	1.07	1.05	1.04	1.03	1.03	1.04	1.05	1.14	1.32	1.08
e_2	3.70	3.80	4.62	6.33	8.23	11.6	13.7	13.8	11.2	7.82	6.05	4.0	7.92
d'_2	3.45	3.05	2.59	2.18	2.16	3.91	5.91	7.0	8.1	7.56	4.79	3.50	4.52
K_d	1.03	0.96	0.82	0.70	0.84	0.93	0.99	1.0	1.0	1.03	1.22	1.06	0.97
d_2	3.56	2.92	2.12	1.53	1.81	3.63	5.85	6.98	8.06	7.79	5.85	3.72	4.48



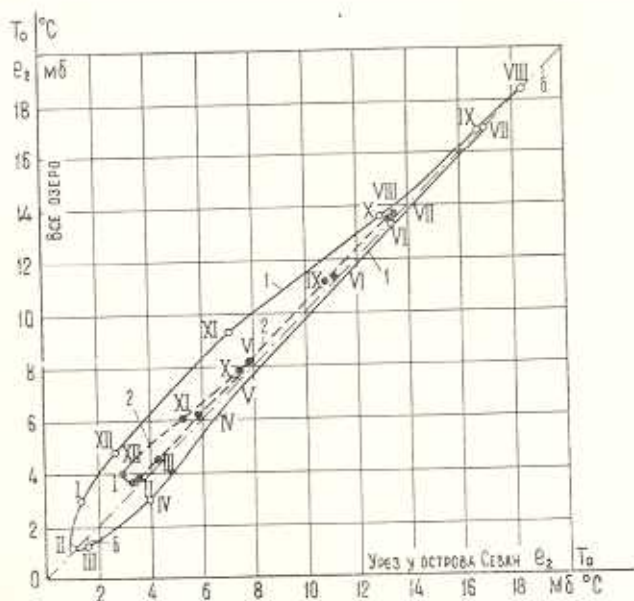
Фиг. 2. Годовой ход коэффициентов K_i и величин: 1—температуры воды у уреза острова; 2—температуры поверхности воды всего озера; 3—влажности воздуха на высоте 2 м у уреза острова; 4—то же над озером.

Эти результаты для наглядности представлены на фиг. 2. Из табл. 1 и фиг. 2 следует следующее.

1. Переходные коэффициенты K_i имеют хорошо выраженный годовой ход. Минимальное значение их наступает для K_T — в марте, K_e — летом, K_d — в апреле. Максимальное значение имеет место для K_T — зимой, K_e — в декабре, K_d — в ноябре. Это означает, что с мая по сентябрь температура поверхности воды для всего озера имеет такое же значение, что и в мелководной прибрежной части, летом теплее на берегу, зимой, наоборот — в глубоководной части.

2. В отличие от коэффициентов K_T и K_d в течение всего года $K_e > 1$, т. е. влажность воздуха над акваторией озера все время больше таковой у уреза острова. Это превышение в течение марта-октября составляет 3–7%, достигая 14% в ноябре и более 30% — в декабре. В среднем за год влажность воздуха над озером на 8% больше таковой у берега. Почти настолько же (10–12%) температура воды открытой акватории больше температуры воды у берега. Что касается дефицита влажности, то он в среднем за год над водой несколько меньше, чем у берега.

3. Ряд особенностей годового хода зависимости температуры воды и влажности воздуха для акватории и берега хорошо видны на фиг. 3. Указанные зависимости имеют вид вытянутых эллипсов, причем для влажности он вырождается почти целиком в прямую, за исключением нескольких месяцев (XI, XII, I). Этот эллипс целиком расположен по одну сторону от биссектрисы, в то время, как для температуры он частично оказывается и на другой стороне.

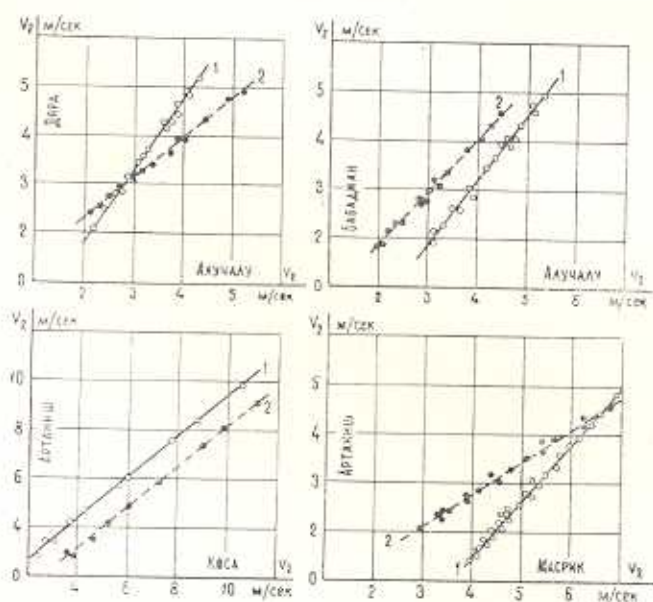


Фиг. 3. Зависимости: 1—между температурами воды у уреза острова и всего озера; 2—то же для влажности; б—биссектриса.

Таким образом, полученные экспериментальные данные позволяют с достаточной точностью определить значения температуры поверх-

ности воды (следовательно, и упругости насыщения), температуры и влажности воздуха для акватории озера по данным береговой станции, т. е. решить своего рода задачу о трансформации указанных элементов. Правда, здесь трансформируется не один воздушный поток определенного направления. Происходит взаимодействие различных факторов при различных воздушных потоках разных направлений и происхождений, в результате получается описанная выше картина в целом. Поэтому такой метод расчета и назван нами интегральным.

Перейдем теперь к рассмотрению изменений скорости ветра при переходе с суши на водную поверхность. Эти изменения обусловлены уменьшением трения (шероховатости) о водную поверхность, а также изменением условий турбулентного обмена. В условиях горного водоема [12] на процесс трансформации поля ветра значительное влияние оказывает конфигурация и расположение горных препятствий, а также местная циркуляция. В зависимости от степени взаимодействия всех указанных факторов скорость ветра при переходе воздушного потока с суши на водную поверхность водоема, окруженного горами, может как увеличиваться и уменьшаться, так и оставаться неизменной.



Фиг. 4. Трансформация скорости ветра на высоте 2 м.
1—исходный пункт на оси ординат; 2—исходный пункт на оси абсцисс.

Для подтверждения этого положения из экспедиционных наблюдений, о которых говорилось выше, выбирались те, при которых ветер в двух противоположных береговых пунктах имел одинаковое направление. Тогда он на исходном пункте был береговым ветром, а в противоположном—озерным, если так назвать ветер, прошедший над озером десятки километров. Расположение этих пунктов показано на фиг. 1. Результаты обработки этих данных представлены на фиг. 4.

Здесь цифрой „1“ помечены графики трансформации величины скорости ветра на высоте 2 м в случае, когда ветер направлен с пункта, указанного на оси ординат, на пункт, указанный на оси абсцисс. Цифрой „2“ помечено то же самое при обратном направлении скорости ветра.

Как видно из фиг. 4, ветер приходит с Алучалу в Бабаджан и с Алучалу в Дара почти без изменений, т. е. с пологого берега к более крутому. При этом температура воздуха в зимнее время, когда стратификация нижнего слоя воздуха на берегу устойчива, а над водой, наоборот, неустойчива, изменилась с 1.6°C на исходном пункте до 1.7°C — в противоположном.

В летнее время, когда условия турбулентного обмена над водой характеризуются равновесной стратификацией, а над сушей — сверхадиабатической, температура воздуха изменилась с 14.9 до 15.6°C , т. е. всего на 0.1 и 0.7°C . При этом влажность воздуха увеличилась соответственно на 0.5 мб (с 4.5 до 5.0 мб) и на 0.8 мб (с 10.5 до 11.3 мб), соответственно.

Ветер обратного направления между этими же пунктами приходит с Бабаджана в Алучалу, значительно усиливаясь, тогда как с Дары в Алучалу приходит, наоборот, даже несколько ослабляясь. При этом в зимних условиях температура воздуха увеличивается с -0.3 до 1°C , а летом — с 13.5 до 13.9°C . Влажность в первом случае остается почти без изменений (вследствие низких температур испарение мало). Во втором же случае происходит довольно значительный рост влажности с 9.6 до 11.3 мб. Удельная влажность при этом увеличивается с 62 до 73% .

Более существенной оказывается трансформация скорости ветра между более удаленными пунктами Артаниш и Масрик (фиг. 1). Как показывает фиг. 4, ветер с Артаниша приходит в Масрик, значительно усиливаясь. Например, скорость ветра с 3 м/сек увеличивается до 4.5 , с 5 до 7 м/сек и т. д. Слабые ветры увеличиваются в еще большей степени (с 2 до 4.5 м/сек). При обратном направлении скорость ветра в значительной степени уменьшается.

Известно, что при этом ветер проходит над Мазринской равниной и приходит к довольно крутому берегу. Наконец, график трансформации скорости ветра на высоте 2 м между пунктами Артаниш-берег и коса [12] указывает на существенный рост скорости ветра при его направлении с суши на водоем и существенное уменьшение при обратном направлении. Следует отметить, что этот последний вывод относится как к сильным, так и к слабым ветрам.

Что касается расчета скорости ветра по всей акватории, то детальный анализ показал, что необходимо в основу брать данные наблюдений, по крайней мере, пяти пунктов — Севан-остров, Шоржа, Масрик, Мартуни и Норадуз. Во всех этих пунктах были установлены береговые мостки, на которых измерялась скорость ветра по анемометру (v_a). Поскольку в основу расчетов должны быть положены данные тех же метеостанций, на которых имеются длинные ряды

наблюдений по флюгеру (v_ϕ), пришлось устанавливать связи между этими показаниями по синхронным данным. Связь имеет следующий простой вид:

$$v_a = Av_\phi + B \quad (4)$$

Ниже, в табл. 2 приведены значения постоянных формулы (4) для указанных пунктов. Здесь же приведены значения коэффициента корреляции.

Таблица 2

Значения параметров A и B и коэффициента корреляции (r) по данным за 1956—1964 гг.

Величины	П у н к т					
	Севан-остров	Шоржа	Масрик	Мартуни	Норадуз	Среднее
A	0.82	0.86	0.35	0.71	0.85	0.72
B	0.50	0.30	2.1	1.20	1.10	1.0
r	0.90	0.92	0.81	0.94	0.79	0.87
Вес	0.16	0.12	0.41	0.20	0.11	0.20

Подробный анализ материала показал, что каждый из этих пяти пунктов имеет свой вес. Эти данные приведены в последней строке табл. 2.

Наибольший вес имеет Масрик, наименьший — Норадуз и Шоржа.

Имея длинный ряд наблюдений указанных опорных станций и используя данные табл. 2, легко теперь произвести расчет средневзвешенной скорости ветра по всей акватории озера.

Следует отметить, что скорость ветра при переходе с суши на водоем в прибрежной части увеличивается, иногда остается неизменной, но в центральных районах почти всегда уменьшается. Так, например, если средняя для указанных пунктов скорость ветра составляет 3.6 м/сек, то в целом по всему озеру получается 3.3 м/сек, а в центральных районах озера по данным рейдовых наблюдений — 3.0 м/сек.

Здесь сказывается и подпирющее действие воздушных потоков различных направлений. Отметим также, что при прохождении воздушного потока над озером более 40 км „предельная“ влажность его на высоте 2 м все еще очень далека от насыщения и не превышает 80%.

На основании полученных результатов можно предложить следующую уточненную формулу расчета испарения:

$$E = \delta a_0 v_2 (e_0 - K_r e_2) \left(1 + A_0 \frac{\Delta T}{v_2^2} \right) \quad (5)$$

где v_2 , e_2 — скорость ветра и влажность на береговой станции; δ и K_r — степени трансформации скорости ветра и влажности воздуха, соответственно. Эти последние коэффициенты имеют следующие значения:

$$K_r = 1.05 - 1.40, \quad \delta = 0.9 - 1.5 \quad (6)$$

и зависят от характерных значений самих величин скорости ветра и влажности воздуха, от конфигурации и расположения окружающих гор, от условий стратификации и ряда других менее существенных факторов. Мы здесь не рассмотрели влияние вертикальных токов на трансформацию и испарение. Этот вопрос рассмотрен в работах [12, 13], где показано, что роль вертикальных токов в испарении с прибрежной полосы всех водоемов и большей части акватории горных водоемов весьма существенна.

Закавказский научно-исследовательский
гидрометеорологический институт
Ереванский отдел

Поступила 30 XII 1966

Ա. Մ. ՄԵԻՔԱՐՅԱՆ

ՍԵՎԱՆԱ ԼՃԻ ՎՐԱ ՕԳՆՏԻՆ ԸՈՍԱՆՔԻ ՏՐԱՆՏՈՐՄԱՑԻՍՅՈՒՄԻ
ՔՆԱՆՈՒՉԱԿԱՆ ՀԵՏԱԶՈՏՈՒԹՅՈՒՆՆԵՐԻ ՈՐՈՇ ԱՐԴՅՈՒՆՔՆԵՐ

Ա մ փ ա փ ու լ մ

Ինչպես հալանի է, գոլորշիացման որոշման համար սովորաբար օգտագործում են (1) կամ (2) բանաձևեր, որի մեջ պետք է տեղադրվեն խոնավության, ջերմաստիճանի և քամու արագության այն արժեքները, որոնք վերջիններս ունեն ջրամբարի ազատ մակերևույթի վրա, իսկ չափումները, որպես կանոն, կատարվում են ամփոփ: Եթե անցման գործակիցները որոշվեն (3) բանաձևով, ապա Սեանա լճի վրա կատարած գիտությունների մշակման հիման վրա ստացվում են 1 աղյուսակում բերված արդյունքները:

Գծ. 2-ի և 3-ի վրա ներկայացված են խոնավության և ջերմաստիճանի տրանսֆորմացիայի գրաֆիկները, գծ. 4-ի վրա՝ նույնը քամու արագության համար:

Հաշվի առնելով վերջինս, գոլորշիացման հաշվման համար առաջարկվում է (5) ճշտված բանաձևը, ընդ որում տրանսֆորմացիայի աստիճանը որոշող գործակիցներն ունեն (6) արժեքները: Վերջիններս կախված են հենց իրենց՝ քամու արագության, խոնավության և ջերմաստիճանի արժեքներից, միևնույն ժամանակ ջրամերձ շերտի ջերմաչեքաավորման կալուսությունից, ջրամբարը շրջապատող սարերի ձևից ու տեղադրությունից, և այլն:

A. M. MKHITARIAN

SOME RESULTS OF EXPERIMENTAL RESEARCH OF AIR CURRENT TRANSFORMATION OVER LAKE SEVAN

S u m m a r y

As it is known, to determine evaporation of free surface water formula (1) or (2) is usually used. In those formulas the value of temperature, humidity and speed of the wind must be used.

As a rule, these values are usually measured at the lake shore. The coefficients of transformation are determined by formula (3) and on the basis of observation made over the lake, the obtained results are given in table 1.

In fig. 2 and 3 the graphs of transformation of temperature and humidity are shown, and the same on Fig. 4 for the speed of the wind.

Taking into account the above-mentioned for the calculation of evaporation, the verified formula (5) is suggested.

The coefficients of transformation have the values (6).

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. *Бачуринг А. А.* Трансформация воздуха в приземном слое атмосферы. Труды ЦИП, вып. 10, 1961.
2. *Браславский А. П., Викулина Э. А.* Нормы испарения с поверхности водохранилищ. Гидрометеониздат, Л., 1954.
3. *Гандин А. С.* К вопросу о трансформации профиля ветра. Труды ГГО, вып. 33, 1952.
4. *Дмитриев А. А., Соколова И. Н.* Схема оценки изменений скорости и профиля ветра при переходе с суши на море. Труды Морского Гидрофиз. ин-та, 4, 1954.
5. *Добрышман Е. М.* Трансформация воздушных масс. Метеорология и гидрология, № 2, 1949.
6. *Дородницын А. А.* Влияние рельефа земной поверхности на воздушные течения. Труды ЦИП, вып. 21, 1950.
7. *Зайцев А. С.* Трансформация поля ветра при изменении турбулентного обмена. Труды ГГО, вып. 95, 1963.
8. *Константинов А. Р.* Испарение в природе. Гимиз, Л., 1963.
9. *Лайхтман Д. А.* Трансформация воздушной массы под влиянием подстилающей поверхности. Метеорология и гидрология, № 1, 1947.
10. *Мхитарян А. М.* Испарение с поверхности оз. Севан. „Результаты комплексных исследований по Севанской проблеме“, т. I. Изд. АН АрмССР, Ереван, 1961.
11. *Мхитарян А. М.* Водный и тепловой балансы водоемов и некоторые вопросы гидродинамики пограничного слоя атмосферы. Автореферат диссертации, Л., 1963.
12. *Мхитарян А. М., Давсшанян М. Г., Зорян Э. А., Петросян Н. А.* Экспериментальные исследования трансформации воздушного потока над горным водоемом. Изв. АН АрмССР, сер. физ.-мат. наук, т. 18, № 4, 1965.
13. *Петросян Н. А.* К вопросу о трансформации поля ветра над водной поверхностью при наличии вертикальных токов. Изв. АН АрмССР, сер. физ.-мат. наук, т. 18, № 2, 1965.
14. *Сапожникова С. А.* Типизация метеорологических станций по влиянию их местонахождения на скорость ветра. Метеорология и гидрология, № 5, 1948.
15. *Тараканов Г. Г.* К вопросу об изменении скорости ветра при переходе с суши на водную поверхность. Труды АГМИ, вып. 8, 1958.
16. *Тимофеев М. П.* Метеорологический режим водоемов. Гидрометеониздат, Л., 1963.
17. *Шпак И. С.* Изменение метеорологических элементов при павскании воздушного потока на водоем. Сб. работ Цимлянской ГМО, вып. 1, 1958.
18. *Яковлева Н. И.* Трансформация воздуха над водоемами. Труды ГГО, вып. 41, 1953.