

ПРИКЛАДНАЯ МЕТЕОРОЛОГИЯ

Т. А. ОГНЕВА, А. М. МХИТАРЯН, А. А. ГАЛФАЯН

ХАРАКТЕРИСТИКИ ТУРБУЛЕНТНОГО ОБМЕНА
ПРИВОДНОГО СЛОЯ ОЗЕРА СЕВАН

Рассмотрение характеристик турбулентного обмена приводного слоя оз. Севан имеет существенное значение при обосновании методики расчета испарения с поверхности озера.

Как известно, наиболее часто для расчета испарения с оз. Севан при составлении водных балансов применяется так называемый гидрометеорологический метод, сущность которого состоит в установлении зависимости скорости испарения с водной поверхности от метеорологических факторов. При этом само испарение измеряется с помощью испарителей, установленных на суше.

Помимо спорного вопроса о возможности распространения связей, полученных по наблюдениям на береговых испарителях, на акваторию озера, некоторым недостатком при использовании гидрометеорологического метода является также отсутствие устойчивых коэффициентов в расчетных формулах, выведенных по материалам за различные годы. Авторы считают целесообразным рекомендовать при расчете испарения с оз. Севан, широко используемый в настоящее время для расчетов испарения с суши, так называемый градиентный метод, обладающий большей универсальностью.

Одной из основных величин, определяющих испарение по диффузионному методу, является коэффициент турбулентности. По современным воззрениям [2], коэффициент турбулентности K в естественных условиях легко определяется через скорость ветра U_1 , параметр шероховатости подстилающей поверхности Z_0 и параметр стратификации $\Delta T/U^2$

$$K = f \left(Z_0, U, \frac{\Delta T}{U^2} \right). \quad (1)$$

Заметное влияние термической стратификации на величину коэффициента турбулентности проявляется, главным образом, для условий суши, когда перепад от температуры подстилающей поверхности к температуре воздуха составляет несколько десятков градусов. При этом наблюдаются сверхадиабатические градиенты температуры воздуха в приземном слое и за счет влияния параметра стратификации величина коэффициента турбулентности может измениться на 100% и более

[3]. Для условий водной поверхности существенного влияния термической стратификации не должно обнаружиться в силу того, что различия температур поверхности и воздуха на порядок меньше, чем над сушей. Это подтверждается материалами ряда водоемов, например в [4, 5].

Характер разностей температур „вода—воздух“ ΔT на оз. Севан подобен тому, что наблюдается и на других водоемах. В качестве примера в табл. 1 приводятся величины ΔT для некоторых пунктов на оз. Севан, полученные по средним данным наблюдений за июнь—октябрь 1957 г. в различные часы суток.

Таблица 1

Разность температур „вода—воздух“ по наблюдениям на оз. Севан

Часы суток \ Пункты	Часы суток					
	1	7	10	13	16	19
Остров плот	3,3	4,0	2,7	1,5	0,8	1,8
Шоржа	2,5	2,9	2,6	1,6	0,3	1,0
Норалдз	—	3,1	2,3	1,4	1,7	2,4
Мартуни	—	4,5	3,1	3,2	3,6	—

Как видно из приведенной таблицы, разность температур составляет несколько градусов и почти не зависит от времени суток. Отсюда следует, что в условиях оз. Севан зависимостью коэффициента турбулентности от температурной стратификации практически можно пренебречь.

В свете изложенного, для оз. Севан можно допустить, что коэффициент турбулентности является функцией скорости ветра и параметра шероховатости. В силу этого если принять зависимость от скорости линейной, получим:

$$\frac{K}{U} = f(Z_0). \quad (2)$$

Обычно Z_0 определяется по экспериментальным данным о вертикальном распределении скорости ветра. В условиях водной поверхности такие данные до последнего времени были известны для обширных морских или океанических поверхностей. При этом опытные данные по распределению скорости были получены, как правило на судах [6, 7 и др.]. Основным результатом, полученным по этим работам, является уменьшение параметра шероховатости с ростом скорости ветра при возрастании последней до 5–6 м/сек; при дальнейшем увеличении скорости ветра это изменение не значительное.

Абсолютные величины Z_0 по различным данным довольно разнообразны, как видно из рис. 1, и меняются для обширных водных поверхностей в пределах от 10^{-1} м (по данным Неймана) до 10^{-5} м (по данным Соркиной).

Следует отметить, что в отличие всех обычных экспериментальных данных, величины А. И. Соркиной и В. П. Грачевой получены по наблюдениям на Каспийском море на расстоянии в нескольких десятках километров от ближайших берегов с помощью стационарных наблюдений на твердо закрепленной ажурной вышке по дистанционным электроконтактным анемометрам.

Очевидно, что, к такого рода опытным данным следует относиться с большим доверием, чем к данным измерениям на судах, при которых могут вноситься значительные искажения в измерении градиентов скорости за счет влияния корпуса судна. По наблюдениям на небольших водоемах с плотов (работы [11, 12]), как показано на том же рисунке 1, характер зависимости Z_0 от скорости ветра иной. Имен-

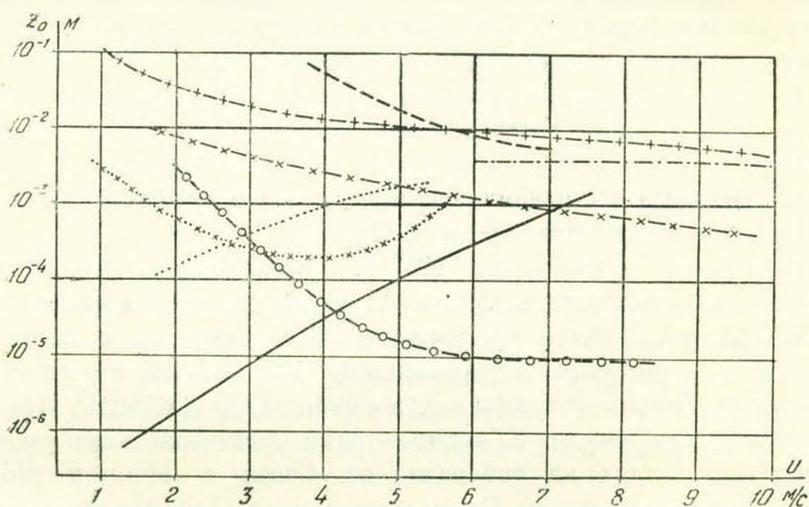


Рис. 1. Зависимость Z_0 от скорости ветра над водной поверхностью.

— — — Россби 1936, — · — · — Свездруп 1944,
 — × — × — Кузьмин 1946, — + — + — Нейман 1948,
 — ○ — ○ — Соркина, Грачева 1955, ··········· Хей, 1955.
 ··+···×·· Константинов 1956, ————— Севан 1957.

по по данным А. Р. Константинова наименьшая величина Z_0 отмечается при скоростях ветра 3—4 м/сек, а при меньших и больших значениях она увеличивается. По данным Хейя наблюдается увеличение Z_0 с ростом скорости ветра.

Как видно из приведенных данных, основной особенностью параметра шероховатости для водных поверхностей является изменение его со скоростью ветра причем по различным данным эта зависимость проявляется по разному. Эту особенность все авторы обычно объясняют подвижностью водной поверхности и зависимостью ее формы от ветрового воздействия.

Для установления величины параметра шероховатости на оз. Севан, впервые были поставлены исследования вертикального распределения скорости ветра во время экспедиционных исследований Глав-

ной геофизической обсерватории им А. И. Воейкова (ГГО) в июле 1956 г. При этом, измерения вертикального распределения скорости ветра проводились с помощью дистанционных контактных анемометров, расположенных на подвижном телескопическом мачте на шести уровнях от 0,5 до 16,5 м. Мачта устанавливалась на берегу у уреза воды с наветренного со стороны озера берега в пунктах Остров и Норадуз. Такая методика дает возможность без больших трудностей, которые обычно возникают при исследованиях на водной поверхности, получить характер вертикального распределения скорости ветра со стороны озера. Следует особенно подчеркнуть, что в связи с малыми градиентами скорости ветра в нижнем, особенно приводном слое требуется их измерение с большой тщательностью и точностью. При измерениях на судах добиваться такой точности очень трудно. Поэтому представляется рациональным рекомендовать использованную на оз. Севан методику для исследований на малых водоемах.

В связи с небольшим количеством материала наблюдений за июль 1956 г., можно было сделать лишь предварительное заключение о характере профиля ветра над оз. Севан (главным образом, над Малым), который оказался логарифмическим, а также о величине Z_0 .

Эти результаты приведены в [13].

В теплое время года 1957 г. исследования вертикального распределения скорости ветра на оз. Севан по значительно расширенной программе были продолжены ГГО совместно с Водно-энергетическим институтом АН Армянской ССР (ВЭНИ) и при участии Управления Гидрометслужбы Армянской ССР (УГМС). При этом телескопические мачты с анемометрами устанавливались одновременно в трех местах на побережье оз. Севан в пунктах Норадуз, Дара, Алучалу или остров Севан попеременно. Продолжительность работы мачт была с 19 мая по 15 октября. За это время было получено около 3000 лент записей часовых средних скоростей ветра по высотам от 0,5 до 16,5 м для всех направлений ветра, а если отобрать строго случаи с направлением ветра только с водной поверхности, то их набирается около 1500. На таком количестве материала можно делать уже более надежные выводы о профиле ветра и параметре шероховатости оз. Севан. Анализ полученного материала показывает, что для данного пункта наблюдений вертикальные градиенты скорости ветра в приводном слое не зависят от времени года и времени суток, а зависят только от скорости ветра. Этот факт позволил рассматривать распределение скорости по средним данным, сгруппированным по различным пределам скоростей (< 2 м/сек; 2—4; 4—6; > 6 м/сек). Средние профили ветра по этим пределам скоростей отдельно по пунктам Норадуз и Алучалу представлены на рис. 2 в полулогарифмических координатах (по оси абсцисс — скорость ветра, по оси ординат — логарифмы высот). Число случаев, входящих в осреднение, различное в разных группах и наибольшее для скоростей от 2 до 6, в связи с чем профили ветра в этих пределах скоростей можно рассматривать, как самые надежные.

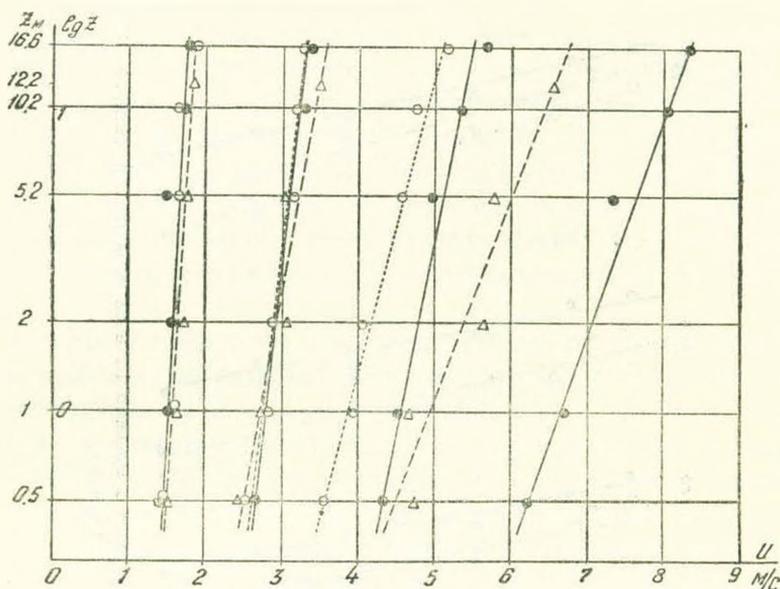


Рис. 2. Вертикальное распределение скорости ветра над водной поверхностью по наблюдениям в Норадузе, Дара, Алучалу.

● — Норадуз, Δ — Дара, \circ Алучалу.

Рассматривание представленных профилей показывает, что с достаточной точностью распределение ветра над оз. Севан описывается логарифмическим законом для всего теплого времени года и по наблюдениям в различных пунктах. Этот вывод имеет более практическое значение как для использования при приведении скорости ветра к стандартным уровням, так и для определения величины параметра шероховатости. Если по данным, приведенным на рис 2 определить параметр шероховатости общепринятым способом, то оказывается, что Z_0 меняется прежде всего в зависимости от скорости ветра от значений в 10^{-3} при скоростях более 6 м/сек до 10^{-6} м при скоростях меньше 2 м/сек. Эта закономерность соответствует вышеуказанным представлениям для небольших водоемов при скоростях ветра более 2 м/с; при скоростях ветра менее 2 м/сек, в связи с малыми градиентами скорости величины Z_0 определяется с большой погрешностью и не следует ей придавать большого физического значения. Кроме того, как видно по наклону профилей в данном пределе скоростей, значения Z_0 будут различаться по наблюдениям в различных пунктах, причем именно по наблюдениям в пункте Норадуз они на порядок меньше, чем по наблюдениям в Дара и Алучалу. Возможно, что этот факт объясняется особенностью местоположения пункта наблюдений, расположенного на отлогой песчаной косе, омываемой самой мелководной частью озера. Среднее значение параметра шероховатости для наиболее распространенного предела скоростей на оз. Севан составляет 10^{-4} м— 10^{-5} м (последнее с учетом данных по Норадузу). Зависимость Z_0 от скорости ветра (как видно из рис. 1, где приведены данные по Севану)

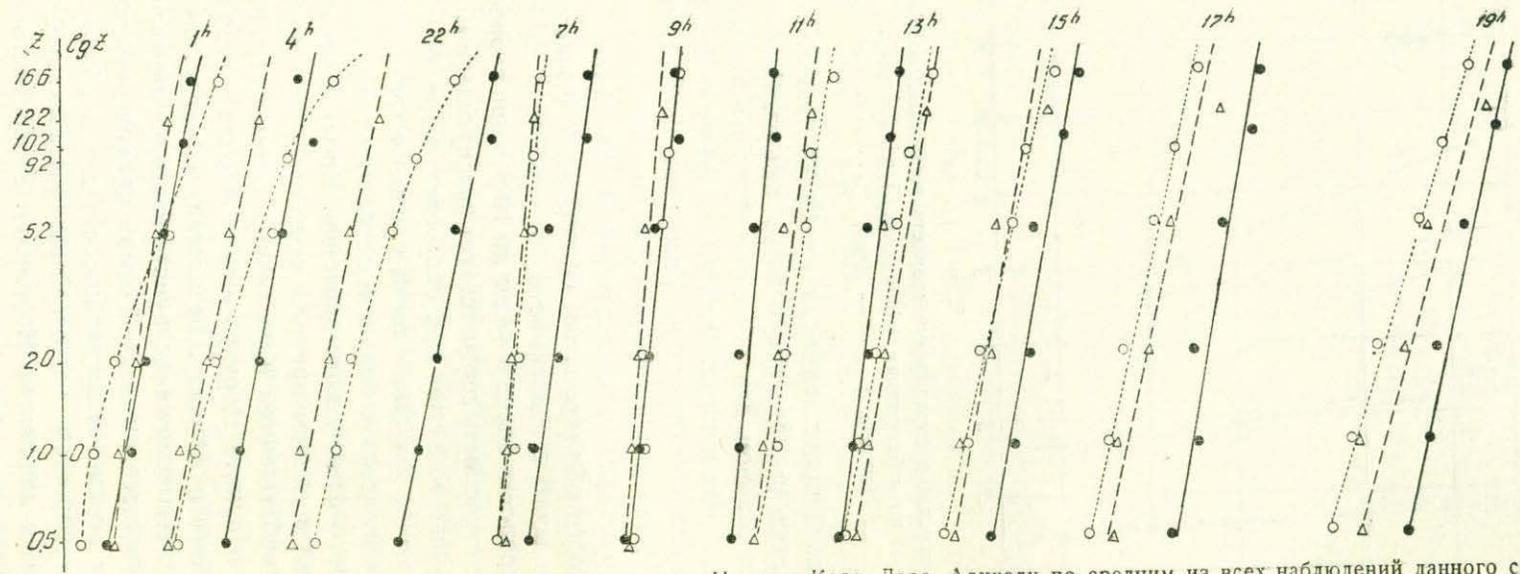


Рис. 3. Вертикальное распределение скорости ветра в пунктах Норадуз-Коса, Дара, Алучалу по средним из всех наблюдений данного срока.
 — Норадуз, Δ — — — Дара, \circ Алучалу.

по наблюдениям на Севане наиболее резко выражена по сравнению с остальными известными данными, и соответствует примерно изменению на порядок величины на прирост скорости на 1 м/сек.

Такое отличие определяется очевидно, местными особенностями водоема, находящегося в сложных горных условиях. Любопытно отметить, что если рассматривать профили над поверхностью суши, то зависимости Z_0 от скорости ветра не обнаруживается: этот факт по материалам наблюдений на оз. Севан проанализирован для пункта Норадуз.

В связи с тем, что в теплое полугодие на побережье Большого Севана наблюдается развитие местной бризовой циркуляции с преобладанием потоков днем с водной поверхности, а ночью с поверхности суши, интересно рассмотреть характер вертикального распределения скорости ветра в суточном ходе. На рис. 3 приведены профили ветра, осредненные по отдельным срокам наблюдения в пунктах Дара, Алучалу, Норадуз. Эти данные также подтверждают логарифмическое распределение ветра с высотой над оз. Севан, даже и в ночное время, когда потоки преобладают с суши (за исключением наблюдений в Алучалу ночью, что объясняется влиянием находящейся вблизи от места установки возвышенностью).

Следовательно, на основании проведенных на Севане экспериментальных исследований, можно сделать заключение о возможности распространения логарифмического закона распределения ветра на оз. Севан.

Водно-энергетический институт
АН Армянской ССР

Поступило 20. V. 58.

Տ. Ա. ՕԳՆԵՎԱ, Ա. Մ. ՄԵԻՔԱՐՅԱՆ, Հ. Ա. ԿԱԼՅԱՅԱՆ

ՄԵՎԱՆԱ ԼՃԻ ՄԵՐՉՋՐՅԱ ՇԵՐՏԻ ՏՈՒՐՐՈՒԼԵՆՏ ՓՈՆԱՆԱԿՈՒՄԸ ԲՆՈՐՈՇՈՂ ՊԱՐԱՄԵՏՐԵՐԸ

Ա մ փ ո փ ո լ մ

Սեանա լճի մերձջրա շերտի տուրբուլենտ փոխանակումը բնորոշող պարամետրերը որոշելու հարցը շատ կարևոր է, նրա հաշվուց գոլորշիացումը որոշելու մեթոդիկան հիմնավորելու տեսակետից: Հայտնի է, որ ամենից հաճախ օգտագործվում է ջրա-օդերևութաբանական մեթոդը, որը հիմնվում է ցամաքի վրա տեղավորված գոլորշացնողների ավալների վրա, մինչդեռ գոլորշիուն ունեցող ժամանակակից մեթոդները, այն է՝ տուրբուլենտ գիֆոլգիայի և ջերմային հաշվիչների մեթոդները, համեմատաբար ունիվերսալ են և ֆիզիկապես հիմնավորված:

Հոդվածում, հիմնվելով 1957 թ. ամսական արշավախմբային աշխատանքների արդյունքների վրա, որոնք կազմակերպել էին Լենինգրադի գլխավոր երկրաֆիզիկական գիտաբանը, ՀՍՍՌ ԳԱ Ջրաէներգետիկ ինստիտուտը և

հիդրոմետ ծառայության Հայաստանի վարչությունը, ցույց է տրված, որ տուրբուլենտ փոխանակման գործակիցը մերձջրյա շերտում կախված է քամու արագությունից և խորզուրրզությունների պարամետրից, բայց բոլորովին կախված չէ մթնոլորտի ստրատիֆիկացիայից: Դա բացատրվում է նրանով, որ ջրի մակերեսի և օդի ջերմաստիճանների տարբերությունը փոքր մեծություն է:

Մորզուրրզությունների պարամետրը փոփոխական մեծություն է, կախված քամու արագությունից, ընդորում այդ կախումը ուղիղ է, արագության մեծացումով մեծանում է նաև z_0 :

Դիտումները ցույց են տալիս, որ քամու պրոֆիլը լճի հայելու վրա մեծ ճշտությամբ հետևում է, այսպես կոչված, լողարիթմական օրենքին:

ЛИТЕРАТУРА

1. Тимофеев М. П. О методике определения составляющих теплового баланса оз. Севан. Изв. АН Армянской ССР, серия ОТН, в. 2, 1957.
2. Будыко М. И., Лайтхман Д. Л., Тимофеев М. П. Определение коэффициента турбулентного обмена в приземном слое воздуха. Метеорология и Гидрология, 3, 1953.
3. Огнева Т. А. Особенности теплового баланса деятельной поверхности. Гидрометиздат, 1955.
4. Зайков Б. Д. Испарения с водной поверхности прудов и малых водохранилищ на территории СССР. Тр. ГГИ, вып. 21, 1949.
5. Кириллова Т. В. Особенности теплового баланса водной поверхности. Метеорология и Гидрология, 4, 1956.
6. Rossby C. G. On the frictional force between air and water and on the occurrence of a laminar boundary layer next to the surface of the sea. Papers in Physics and Mathemat., V, IV, 3, 1936.
7. Sverdrup H. V. The humidity gradient over sea surface. Journ. Meteor., V, 3, 1, 1946.
8. Кузьмин П. П. О шероховатости водной поверхности, как факторе испарения и конвекционного теплообмена моря. Тр. ГОИН, вып. 1 (3), 1947.
9. Neumann G. Über den Tangentialdruck des Windes und die Rauhigkeit der Meeresoberfläche. Zeitschr. für Meteor., Heft 778, 1948.
10. Соркина А. И. Определение характеристик термического и турбулентного режима атмосферы над морем. Тр. ГОИН, 38, 1957.
11. Константинова А. Р. Обоснование методики расчета испарения по данным метеорологических станций. Тр. ГГИ, вып. 54, 1956.
12. Hoy I S. Some observations of airflow over the sea. Quart. Journ. of the Royal Tet. Soc, Vol. 81, 349, 1955.
13. Тимофеев М. П. Об исследовании метеорологического режима оз. Севан. „Известия АН Армянской ССР“ (серия ТН), X, 4, 1957.