

В. Н. ЖАМАГОРЦЯН

### ИЗМЕНЕНИЕ ПРОДОЛЬНЫХ ПРОФИЛЕЙ РЕК ВПАДАЮЩИХ В ОЗЕРО СЕВАН, В ЗАВИСИМОСТИ ОТ ПОНИЖЕНИЯ ЕГО УРОВНЯ

Среди многочисленных вопросов связанных с русловыми процессами в реках впадающих в озеро Севан, возникших в связи с понижением уровня озера, т. е. базиса эрозии, важное место занимает изменение продольного профиля русла рек. С последним тесно связаны динамика твердого стока выносимого реками в озеро, условия работы проектируемых сооружений на них, использование освобожденных из под воды земель и др.

Определению продольного профиля русла реки посвящены работы А. К. Аняняна [1, 2]. Принцип решения заключается в совместном применении уравнений неравномерного движения жидкости, деформации русла и транспортирующей способности потока. Такой подход является наиболее общим, но несмотря на ряд упрощений конечное решение получается сложным.

В настоящей работе решение получено с использованием критерия подвижности размываемого русла, для частного случая, когда можно считать глубину потока постоянной. Расчетная зависимость позволяет с некоторым приближением прогнозировать продольные профили русла рек соответствующие любому фиксированному стоянию уровня озера.

Собственно говоря ни одна расчетная зависимость, выражающая закон изменения продольного профиля, не может претендовать на высокую точность, так как влияющие на него факторы, как-то: гидрограф, извилистость и плановое развитие русла, размеры слагающих его наносов и их распределение, не могут быть определены с достаточной точностью.

С понижением уровня озера отступает береговая линия, благодаря чему длина реки увеличивается. В виду того, что дно озера в прибрежной полосе в большинстве случаев имеет сравнительно крутой уклон, ведущим процессом в руслообразовании будет размыв.

Дно озера, в частности в прибрежной полосе, в основном сложено достаточно крупными наносами и можно их считать обтекаемыми квадратично.

В условиях Севана руслообразование происходит не непрерывно. Этот процесс может быть разбит на два этапа: межениый, когда уро-

вень Сейвипл понижается, и паводковый, когда имеет место некоторое повышение уровня, благодаря увеличению притока и уменьшению слива воды из озера. Этапы этого процесса протекают быстро и почти завершаются в течение одного года. В данное время при наличии 11 м понижения уровня озера, в результате размыва, врезание рек доходит до 6—7 м и грозит существующим мостам, которые находятся от уреза озера на расстоянии 1,5—2,0 км.

По Лохтину [3] русловой процесс есть функция трех независимых факторов

$$\zeta(Q, i, d), \quad (1)$$

где  $Q$  — расход воды,  $i$  — уклон реки,  $d$  — характерный диаметр наносов слагающих русло.

Из этого закона следует, что изменение продольного профиля русла для одной и той же реки при постоянном расходе вдоль пути должно зависеть от двух факторов:

$$\zeta(i, d). \quad (2)$$

Развитие закона (1) приводит к уравнению транспорта наносов, которое в наиболее обобщенном виде получено Егиззаровым [4, 5] и для частного случая крупных фракций [6] имеет вид (для единицы ширины):

$$G = kq \left[ 1 - \left( \frac{hi}{f_0 ad} - 1 \right) \right], \quad (3)$$

где  $a = \frac{10^{-4} \gamma}{\gamma_s}$ ,  $h$  — глубина потока,  $f_0$  — коэффициент сопротивления подвижного русла при начальном трогании частиц.

Для крупных фракций —  $f_0 = 0,04$  до  $0,06 = \text{const}$ , для всех случаев движения однородных наносов по такому же однородному руслу или для случая движения смеси по руслу из такой же смеси.

Комплекс

$$\frac{hi}{f_0 ad} = \text{idem}, \quad (4)$$

является критерием подвижности.

В условиях трогания  $\dot{\eta} = 0$  и следовательно для фракции характеризующей наибольшую крупность

$$\frac{hi}{d_{max}} = af_0. \quad (5)$$

поэтому

$$d_{max} \sim hi. \quad (6)$$

Автор, основываясь на наблюдениях проведенных им на притоках озера Сепан считает, что на больших протяжениях, без притоков основными изменяющимися вниз по течению величинами являются уклон русла и крупность фракции отмытки. Глубина потока остав-

ся практически постоянной и поэтому вместо (6) можно считать

$$d_{\max} \sim \bar{i} \quad (7)$$

Шоклич [7] еще в 1930 г. на основании многочисленных данных пришел к заключению, что вниз по течению уклоны меняются по закону:

$$i = aP_0 e^{-bx} \quad (8)$$

где  $a$  и  $b$  суть постоянные величины;  $P_0$  — вес частицы в начале участка.

Рассматривая совместно (7) и (8) нетрудно заметить, что диаметр или вес частицы отмытки вдоль реки также должен изменяться по закону:

$$d_{\max} = d_{0\max} e^{-bx} \quad (9)$$

Нужно отметить, что из литературы известен только один закон распределения диаметра (или веса) фракции по длине, полученный Штернбергом при рассмотрении процесса истирания [8], а именно:

$$d = d_0 e^{-\frac{1}{2} f_1 x} \quad (10)$$

где  $f_1$  и  $f_2$  соответственно коэффициент трения и истирания.

Этот закон подтвержден натурными исследованиями Гохенбургера [9] произведенного на 120 км участке р. Мур. Однако, нам кажется, что зафиксированный в натуре показательный закон относится не только к фактору истирания, но и к сортировке наносов по критерию подвижности. Измерениями в натуре (или на модели) очевидно определяется общее распределение частиц, так как дифференциация по отдельным эффектам (истирание и самоотмытка) не возможна. Поэтому полученные результаты нужно отнести к общему распределению частиц по крупности вдоль русла. В том случае, когда процесс протекает в условиях активного воздействия потока на русло, основным фактором будет сортировка наносов по критерию подвижности.

Как следствие из уравнения (8) получается:

$$i = -\frac{dy}{dx} = i_0 e^{-bx} \quad (11)$$

Интегрируя (11) в пределах рассматриваемого участка, получим

$$y - y_0 = \frac{i_0}{b} (e^{-bx} - 1), \quad (12)$$

где  $i_0$  и  $y_0$  — уклон и ордината профиля реки, в начале участка.

На рис. 1 приведены некоторые данные сравнения результатов расчетов произведенных по (12) с данными, снятых в 1958 г. профилей конечных участков русел рек Аргичи, Бахтык и Гельских родников (пунктирная линия), которые показывают удовлетворительное совпадение. По руслу Гельских родников в средней части участка имеется местное отклонение профиля от расчетной линии, которое

обусловлено наличием рыболовецкой запруды. Удовлетворительный результат получается и по другим притокам озера Севан.

Кроме того, в наших исследованиях, проведенных на р. Аргичи для участка ниже от шоссеного моста ( $x=0$ ) в с. Н. Геташен получены средние значения  $f_0 \approx 0,043$  (см. табл.).

$x$ м	$d$ м		$f_0$
0	0,25—0,30	0,01	0,013—0,036
500	0,20—0,25	0,01	0,059—0,017
2300	0,12—0,14	0,004	0,036—0,031
3600	0,06—0,08	0,0032	0,058—0,013
4 50	0,04—0,05	0,0015	0,01—0,033

При расчете для всех точек приняты  $h=1,6$  м,  $\gamma_n=2,60$  т/м<sup>3</sup>,  $\gamma=1,05$  т/м<sup>3</sup>. Для уклонов ( $i$ ) взяты натурные значения. Если вместо натуральных взять их расчетные значения, определенные по (12) для каждой точки профиля, получится незначительное отклонение от табличных значений  $f_0$ , а среднее значение  $f_0=0,0415$ , т. е. в обоих случаях ближе к нижнему из отмеченных выше пределов. Но необходимо отметить, что определение ( $d_{max}$ ) по участкам произведено очень грубо.

Форхгеймер [9] принимая (10) и предложив, что коэффициент Шези,  $C=const$  по длине реки, приводит уравнение продольного профиля „равного (сопротивления)“ в виде

$$z = \bar{\gamma}_1 (e^{\bar{\gamma}_2 x} - 1), \quad (13)$$

где  $z$  — высота точки профиля;  $\bar{\gamma}_1$  и  $\bar{\gamma}_2$  — коэффициенты зависящие от свойства грунта слагающего русло.

Несмотря на различные исходных предложений и в трактовке результатов, в конце концов остается единым то, что как у Шоклича и Форхгеймера, так и у Анязяна и автора для формы продольного профиля получена степенная зависимость, которой кроме уже указанных примеров удовлетворяют продольные профили рек Мааса, Мура, среднего Рейна и Эиса [9].

В уравнении (12),  $\frac{a}{b}$  и  $b$  определяются граничными условиями, которые при понижении базиса эрозии становятся переменными.

Пользуясь (12) можно прогнозировать продольный профиль реки соответствующий любому понижению базиса эрозии. Граничными условиями при этом могут служить координаты профиля русла в устье (обусловленное уровнем и профилем дна озера) и в начале расчетного участка реки, уклон  $i_0$  и уклон профиля в устье реки  $i_y$ . При построении профиля нельзя расчет вести в отрыве от местных условий (резкое изменение геологии, неразмываемые участки). В связи с этим нужно учесть влияние плотин, скальных участков и других препятствий, которые могут породить перепады. Как отме-

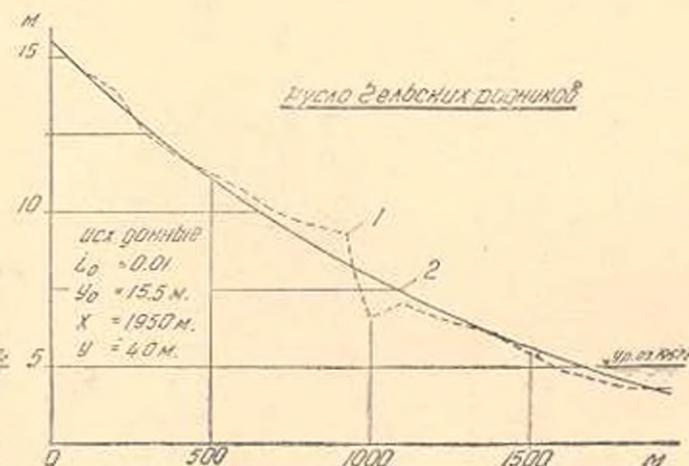
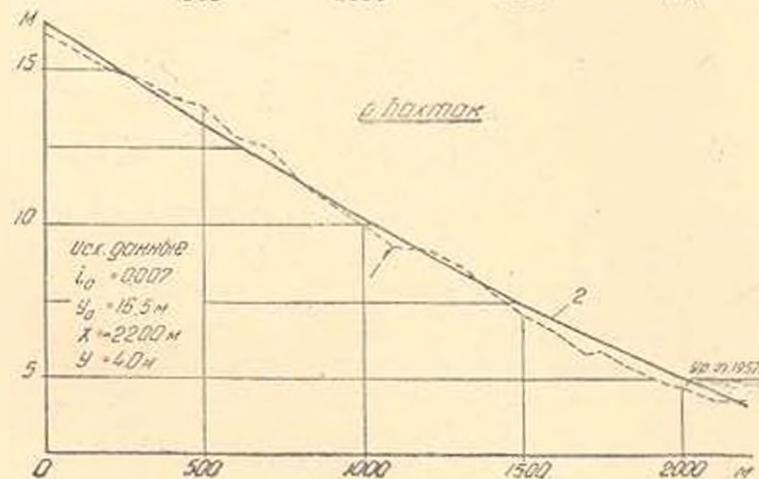
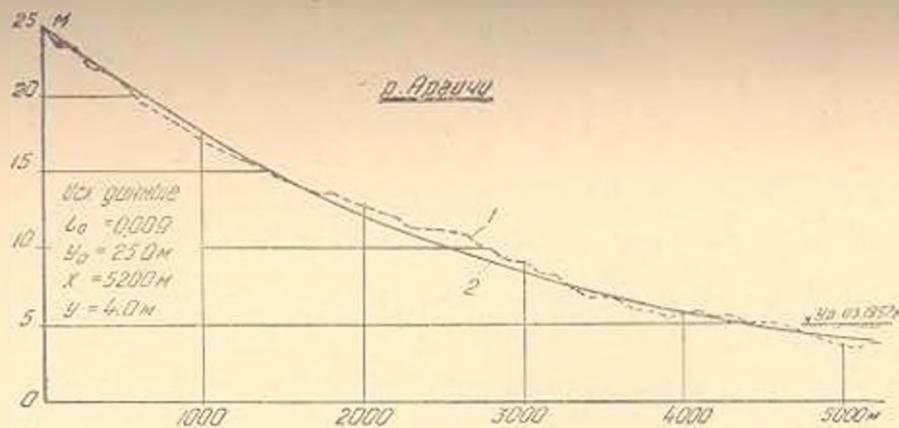


Рис. 1. Сравнения расчетных и натуральных профилей конечных участков рек Арғици, Бахтак и Гельские родники.  
 1 — натуральный профиль, 2 — расчетный профиль.

чает Форхгеймер, выше и ниже таких перепадов устанавливается профиль, выраженный степенью зависимостью [9]. Следовательно, могут возникнуть два типа задач: когда донная эрозия может распространиться беспрепятственно, и когда она распространяется до препятствия.

В первом случае, расчетный участок охватывает профиль реки от устья до той точки, где донная эрозия практически равна нулю. Примером такого случая может быть р. Аргичи (рис. 2).

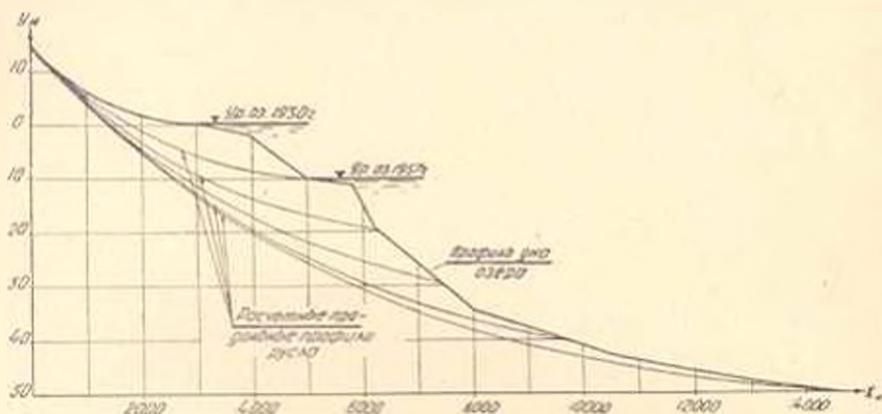


Рис. 2. Прогноз продольного профиля р. Аргичи, при разных стояниях уровня в озере.

Хотя и настоящее время благодаря искусственному понижению уровня озера, она на обнаженной территории врезалась местами до 7 м, однако в створе шоссе моста (с. Н. Геташен), где  $d_{\max} = 0,25 - 0,30$  м, донной эрозии не наблюдалось. Несмотря на это, начало расчетного участка принято на 500 м выше шоссе моста в предположении, что глубинная эрозия при дальнейшем изменении уровня озера практически не перейдет за этот створ, т. е. для этой точки  $i_0 = \text{const}$ ;  $y_0 = \text{const}$ .

Профиль дна озера, взятый по прямой линии на плане против устья Аргичи, построен согласно батиметрической карте Севанского Гидрометбюро (1930 г.). Абсциссы его увеличены на коэффициент извилистости ( $k = 1,25$ ) соответствующим участку реки находящемуся на обнаженной территории.

Расчет профиля произведен для горизонтов озера ниже уровня 1930 г. на 11 м (ур. 1957 г., 20 м; 30 м; 40 м и 50 м). В результате получена полная картина изменения профиля р. Аргичи, соответствующая разным стояниям уровня озера, и картина развития процесса прорезания русла.

Подобным образом построены профили рек Гларгогет (рис. 3) и Мэсрик (рис. 4). Для р. Мэсрик расчет произведен только для первых 3-х стояний уровня озера, так как дальнейшее понижение уровня не вызывает изменения в профиле русла.

Примером второго случая, когда донная эрозия распространяется до препятствия, может быть профиль русла реки Дззнагет (рис. 5). В данное время при 11 м понижения уровня озера Севан донная эрозия реки распространяется до шоссевого моста, образуя в этом

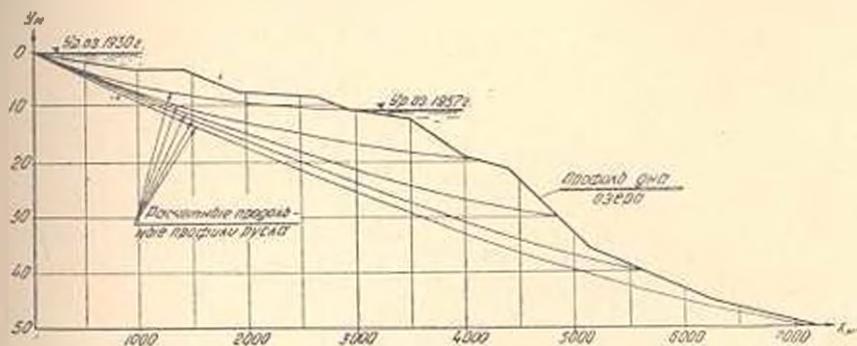


Рис. 3. Прогноз продольного профиля р. Гаварагет при разных стояниях уровня воды в озере.



Рис. 4. Прогноз продольного профиля р. Масрик при разных стояниях уровня воды в озере.

створе порог. При этом приблизительно  $i_0 = 0,01$ , а  $i_y = 0,006$ . Этот уклон в данном случае по сравнению с уклоном других рек озера Севан больше, так как здесь крупность фракции больше. Примем для расчета уклон в устье постоянным и равным 0,006. Разумеется, что при дальнейшем понижении уровня,  $i_y$  должен несколько уменьшиться, ввиду уменьшения крупности фракции. Поэтому, вследствие сделанного допущения о постоянстве  $i_y$ , величина вреза реки (особенно в средней части рассматриваемого участка) будет несколько уменьшенной. Кроме того, предполагается, что вследствие дальнейшего врезания реки в начальном створе  $-i_0 = \text{const}$ , так как значения  $d_{0, \text{max}}$  сохранится. Очевидно, что все это принимается условно, без геологических данных.

Из (11) имеем:

$$-b = \frac{1}{x} \ln \frac{x}{i_0} \quad (14)$$

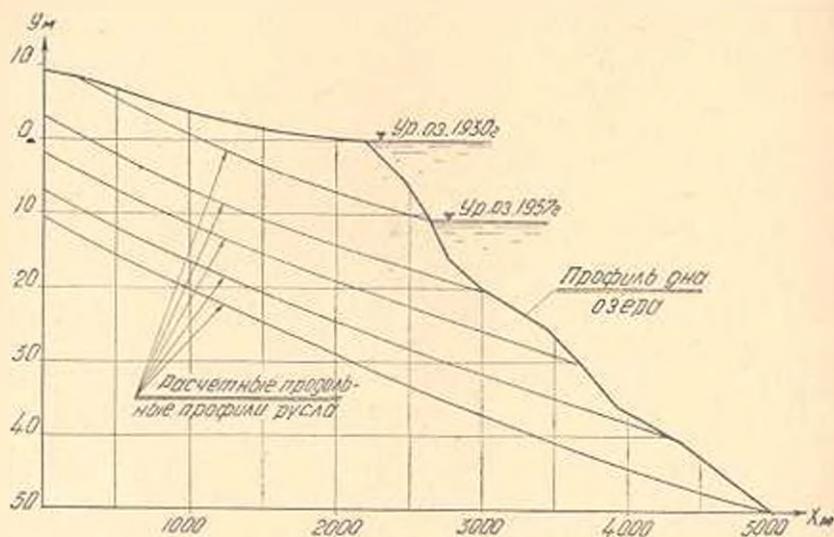


Рис. 5. Прогноз продольного профиля р. Дзакнагет при разных стояниях уровня воды и озера.

Имея  $i_0$ ,  $i_1$  и  $x$ ,  $y$  для устья реки, по (12) и (14) получим значение  $b$  и  $y_0$  для каждого зафиксированного уровня озера. Далее, координаты профиля русла определяются по (12).

Аналогичным образом построены профили рек Варденис (рис. 6), для которого профиль русла построен до 20 м, и Дашгги (рис. 7).

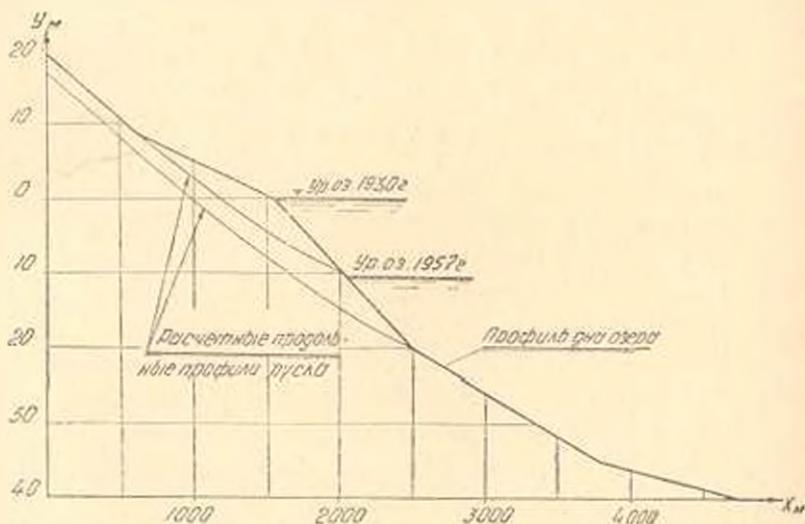


Рис. 6. Прогноз продольного профиля р. Варденис при разных стояниях уровня воды в озере.

построенный до 40 м понижения уровня озера, так как дальнейшее понижение уровня не вызовет врезание реки.

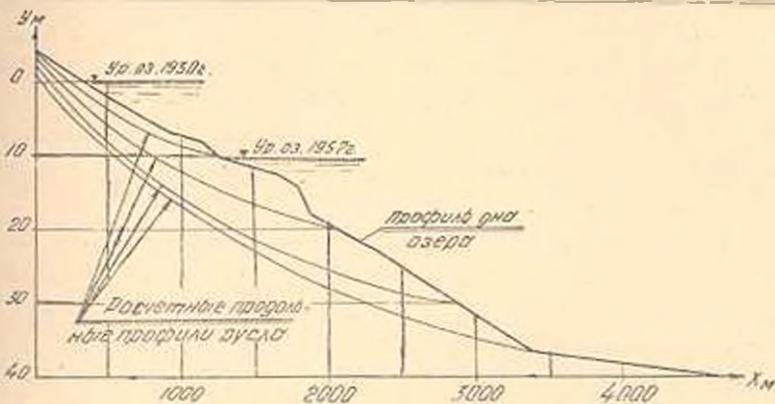


Рис. 7. Прогноз продольного профиля р. Даништы при разных стояниях уровня воды в озере.

Профили, рассчитанные по (12) для последующих понижений уровня озера, должны всегда ложиться ниже предыдущих. В том случае, когда он ложится выше предыдущего, тогда (12) перестает быть справедливым, так как не будет справедлива связь (11).

Վ. Ն. ՓԱՐԱԿՈՐԻՅԱՆ

ՍԵՎԱՆԻ ԼՈՏՐ ԹԱՓՈՂ ԳԵՏՆՐԻ ԸՆԴԵՐԿԱՅՆԱԿԱՆ ՊՐՈՖԻԼԻ ՓՈՓՈԽՈՒԹՅՈՒՆԸ ԿԱՆՎԱՆ ՆՐԱ ՄԱԿԱՐԳԱԿԻ ԻՋՅՈՒՄԻՑ

Ու մ փ ո փ ու լ մ

Քննարկող խնդիրն առաջացել է ինժեներատեխնիկական պրակտիկ հարցերի կապակցությամբ: Թույր վերաբերում է գետերի՝ Սևանի լճի մեջ ջրի մակարդակի տարբեր իջեցումներին համապատասխանող ընդերկայնական պրոֆիլների պրոպոզիցիա: Այդ խնդիրն է վերաբերում Անանյանի [1, 2] աշխատանքները, որտեղ նա ելնում է հեղուկի անհամասարաչափ շարժման, հունի գեֆորմացիայի և շիթի փոխադրականության համարումներից: Վերջնական լուծումը ստացվում է որոշ քննարկությամբ լուծման շնորհիվ:

Այս հոդվածում լուծումը ստացվում է լիարյուղ հունի շարժունությունից հարաանիշի միջոցով, այն մասնակի վեպքի համար, երբ շիթի խորությունը՝  $h$  քստ գետի երկարության կարելի է քննունել հաստատան:

Լճի մակարդակի իջեցման շնորհիվ հունային հիմնական պրոցեսը լիարյուն է, որը սկսվում է ցետաբերանից և փոքրանալով բարձրանում է դեպի վեր: Իրունաները, որոնցում անդի են աննում հունային պրոցեսները, կազմված են ոչ կապակցված ալյուվիախ խոշորությունից ֆրակցիաներից, որոնք վերաբերում են բասակոտային շրջանատան դեպքին:

Գիտությունը հաստատում են այն հայանի միտքը, որ հունային պրոցեսները կախված են ջրի կլրից՝  $Q$ , հունի թեքությունից՝  $i$ , ֆրակցիայի արամադից՝  $d$  3], ալյինքն արտահայտվում է (1): Հետևապես պրոֆիլի փոփոխությունը նույն գետի համար, երբ կլրը քստ երկարության հաստատուն է, կարտահայտվի (2): (2) օրենքը բերում է ջրաբերունների փոխադրունակության հալխասարմանը [4, 5], որը մասնավոր դեպքում խոշոր հա-

տիկի համար  $|6|$  ունի (3) տեսքը (միավոր լայնություն համար) որտեղ  $\gamma$  և  $\gamma_n$  ջրի և հատիկի ծավալային քաշն է,  $f_0$  հունի զիմադրություն գործակիցը: Խոշոր հատիկների համար  $f_0 = 0,04 - 0,06$   $|4|$ :

Սկզբնական տեղաշարժման պայմաններում կոշտ կլոր հավասար է 0-ի և հատկապես այն ֆրակցիայի համար, որը բնութագրում է ամենախոշոր հատիկը, կառացիի (5) կամ (6):

Սևանի գետերի վրա կատարած գիտողությունները ցույց են տալիս, որ ըստ գետի երկարության հիմնականում փոփոխվում են թեքությունը՝  $i$  և ֆրակցիայի մեծությունը  $d_{max}$ , իսկ խորությունը պրակտիկորեն մնում է հաստատուն: Հետևապես (6) փոխարինվում է (7):

Ըստ Եռլիչիի  $|7|$  ունենք (8), որտեղ  $a$  և  $b$  հաստատուններ են: (7) և (8) ստացվում է (9), որը նման է Ետերներիցի  $|8|$  մաշման պայմանից ստացված (10) հավասարմանը:

Չնայած Պուր և այլ գետերի վրա կատարված (7) չափումները տալիս են մասնիկների բախշման (10) օրենքը, սակայն պետք է նշել, որ ըստ երկփուլին այդ արդյունքը վերաբերում է մասնիկների բնդհանուր բաշխմանը, քանի որ նրա ղիֆերենցիալիան ըստ առանձին էֆեկտների հարաբեր է:

(8) հետևում է (11): Վերջինիս ինտեգրումը տալիս է (12), որտեղ  $i_0$  և  $y_0$  թեքությունը և օրդինատն է հատվածի սկզբում:  $\frac{i_0}{b}$  և  $b$  գործակիցները ստացվում են սահմանային պայմաններից:

Նկ. 1 բերված է Սևանի երեք գետերի հունի հաշվային (հոծ գիծ) և բնական պրոֆիլների համեմատությունը: Վերջին պրոֆիլի միջին մասում եղած տեղական բնույթի տարրերությունը պայմանախորթված է ձկնորսական արհեստական պատնեշի առկայությամբ:

Բացի գրանից ազդուսակում բերված է Արդիչի գետի վերջին 5 կմ հատվածի համար սրոշված  $f_0$  արժեքները, որոնց միջինը  $f_0 = 0,043$ , սակայն պետք է նշել, որ  $d_{max}$  առանձին ուղղահասացքներում շատ կոպիտ է որոշված:

Նկ. 2—7 բերված է Սևանի յեք թափող գլխավոր գետերի բնդերկալ-նական պրոֆիլները, որոնց պրոգնոզային հաշիվները կատարված են (12), այդ պրոֆիլները համապատասխանում են լճում ջրի հորիզոնի 10-ական մետր իջեցումներին բնդհույ մինչև 50 մետրը:

## Л И Т Е Р А Т У Р А

1. Аханын А. К. Расчет продольного профиля русла реки при непрерывном изменении ее базиса эрозии. Известия АН Армянской ССР (серия техн. наук), т. XII, № 3, 1959.
2. Аханын А. К. Об устойчивом продольном профиле русла реки. Известия АН Армянской ССР (серия техн. наук), т. XII, № 4, 1959.
3. Великанов М. А. Русловый процесс, 1958.
4. Егiazаров И. В. Транспортная способность открытых потоков. Известия АН СССР, ОТН, № 2, 1956.
5. Егiazаров И. В. К решению задачи о транспорте несвязных наносов (ажбыл фракций) с учетом влияния их концентрации в слое придонной мутности. Энергетика и автоматика. Известия АН СССР ОТН, № 5, 1959.
6. Егiazаров И. В. Расход илекомых наносов. Известия ОТН Армянской ССР, № 5, 1949.
7. Schoklitch A. Der Wasserbau, 1 u, 1930.
8. Великанов М. А. Движение наносов, 1945.
9. Форхгеймер Ф. Гидравлика, 1935.