

<https://doi.org/10.55764/2957-9856/2024-1-8-15.2>

УДК 556. 535. 6
МРНТИ 37.27.25

Дж. Г. Мамедов

К. г. н., доц., ведущий научный сотрудник
(Институт географии им. акад. Г. А. Алиева Министерства науки и образования Азербайджана,
Баку, Азербайджан; jumamamedov@yahoo.com)

РАСЧЕТЫ ВЛЕКОМЫХ НАНОСОВ С УЧЕТОМ НАИБОЛЬШИХ РАСХОДОВ ВЗВЕШЕННЫХ НАНОСОВ (НА ПРИМЕРЕ РЕК БОЛЬШОГО КAVKAZA АЗЕРБАЙДЖАНА)

Аннотация. Анализируются сток влекомых наносов и их отношения к наибольшим расходам взвешенных наносов. Изучение влекомых наносов в горных областях представляет собой более трудную задачу, чем в равнинных. Кроме того, слабая гидрологическая изученность горных областей, а также недостаточность наблюдений над расходами влекомых наносов на малых реках не позволяют в полной мере проследить за влекомыми наносами, поэтому изучение и расчет влекомых наносов имеют большое научное и практическое значение. Перекатывающиеся частицы в наибольших расходах взвешенных наносов относятся к влекомым, особенно при их движении во время селевых потоков. Выявлено, что сток влекомых наносов имеет сортировочный характер в конусе выноса по закону Эри.

Ключевые слова: сток наносов, взвешенные наносы, влекомые наносы, расход взвешенных наносов, ливневые осадки.

Введение. В условиях ограниченных водных ресурсов Азербайджанской Республики их рациональное использование требует всестороннего анализа формирования стока воды и наносов.

Изучение влекомых наносов в горных областях представляет собой более сложную задачу, чем в равнинных. С отсутствием точных измерительных приборов исследование влекомых наносов затрудняется. Кроме того, слабая гидрологическая изученность горных областей, а также недостаточность наблюдений над расходами влекомых наносов на малых реках не позволяют в полной мере проследить за влекомыми наносами.

Решение многочисленных практических задач, связанных с проектированием гидротехнических сооружений на реках (особенно сезонных сооружений), требует наличия данных влекомых наносов в составе общего стока наносов.

К настоящему времени проведенные исследователями расчеты влекомых наносов не лишены определенной условности. Нами была сделана попытка расчетов влекомых наносов по соотношению их с наибольшими расходами взвешенных наносов. В последние годы такое соотношение представляет большой интерес в связи с влиянием глобального потепления климата.

Хотя по 2000 год были организованы стационарные наблюдения над стоком взвешенных наносов рек Азербайджанской Республики, однако с того же года прекратились эти наблюдения по неизвестным причинам службой Гидрометеорологии при Министерстве экологии и природных ресурсов.

В зависимости от скорости потока реки одна и та же частица в ней может находиться то во взвешенном, то во влекомом состоянии. Перекатывающиеся частицы в наибольших расходах взвешенных наносов относятся к влекомым, особенно при их движении во время селевых потоков. Трудностью расчета влекомых наносов является отсутствие точного прибора для измерения расходов влекомых наносов. Несмотря на то, что изучение стока взвешенных наносов со стоком воды имеет почти достаточное решение, но подробного исследования стока влекомых наносов пока не имеется. Влекомые наносы в основном появляются в движении грязекаменных и водокаменных селей.

Условность разделения стока наносов на взвешенные и влекомые зависит от скорости потока по закону Эри

$$W = Av^6, \quad (1)$$

где W или $d^3\gamma$ представляет собой вес тела потока; v – природная скорость потока; A – коэффициент пропорциональности.

Из уравнения следует, что вес влекомых частиц пропорционален шестой степени скорости потока. Если скорость потока равнинного и горного характера примем в отношении 1:5, то вес перемешанных частиц будет $1:5^6$, т.е. 15 625 раз. Из этого ясно, что на равнинных реках перемещение наносов в придонном слое состоит из песка различной крупности, а горные реки при селевых потоках переносят песок, гравий, гальку, крупные камни и валуны даже по весу 20 т. В исследуемой территории такие валуны наблюдались на реках Кишчай, Шинчай, Курмухчай, Мухахчай, Талачай, Белеканчай и др. На них отмечаются грязевые, грязекаменные и водокаменные сели. С этой точки зрения Азербайджан является родиной селей [1]. Водокаменные и грязекаменные сели в основном встречаются в Талачае, Мухахчае, Белеканчае, Шинчае и Кишчае. Такие сели были катастрофическими в 1963-1964 годах в Талачае и Мухахчае [2].

Отличие стока взвешенных наносов от влекомых в том, что повышается качество естественных минеральных удобрений почв сельского хозяйства в конусах выноса, а также он является хорошим строительным материалом.

Цель изучения стока влекомых наносов – выявление различий региональной специфики, а также закономерностей их движения.

Методы и материалы. Методикой исследований является обнаружение, на основе стационарных данных, наибольших расходов взвешенных наносов, производимых посредством расчетов влекомых наносов. Нами проанализированы стационарные данные по 2000 год стока наибольших расходов взвешенных наносов рек азербайджанской части Большого Кавказа. Причиной является то, что в 2000 году прекращено измерение стоков наносов Гидрометеорологической службой при Министерстве экологии и природных ресурсов Азербайджанской Республики. Поэтому вопросы полного освещения стока наносов рек, в том числе влекомых наносов остаются не решенными. Однако для расчета влекомых наносов нами использовались экспедиционные данные 2003-2005 годов, а также проведенного гидрологического мониторинга в 2021-2022 годах. Известно, что характер движения влекомых наносов в русле реки обуславливается в основном их крупностью и величиной скорости течения. Однако в условиях горных рек часто возникает совместное движение определенного слоя отложений в русле. Для установления слоя отложений в русле нами проведено нивелирование до и после прохождения селя. Затем измерены расходы влекомых наносов в летние периоды 1992, 2003, 2005 и 2022 гг. в водосборах рек Талачай, Курмухчай, Велвеличай на их характерных участках. Для улавливания влекомых наносов применялся сетчатый батометр. С целью обеспечения необходимой точности измерений определена выдержка батометра под водой. Изменчивость уловленных наносов минимальная. Выдержка батометра продолжительностью $0,25^{-10}$ мин. Эти измерения показали, что лучший результат получен при выдержке в одну минуту и больше. При меньших уклонах выдержку батометра следует увеличить на более 5 мин. Данные измерения подтверждают тесную связь между изменениями расходов влекомых наносов и воды.

Результаты и их обсуждение. В лабораторных условиях механизм движения влекомых наносов был изучен рядом исследователей [3, 4, 5] и др. Они разработали эмпирические формулы для придонного слоя потока. Однако их прикладное использование в других местных условиях горных рек вызывает значительные трудности из-за региональных различий. Проведенные исследования показывают сущность разнообразий движений влекомых наносов. Разработанные формулы имеют преимущество при спокойном гидрологическом режиме рек и не могут быть применены для рек с течением, сопровождающимся паводками и селевыми потоками. Следует отметить, что для выявления четкой границы между стоком взвешенных и влекомых наносов требуются совершенно разные подходы с разнообразными гидрологическими особенностями паводков и селевых потоков. Разработанная указанными авторами эмпирическая формула для установления расхода влекомых наносов, несомненно, дает определенное представление о механизме их движения в селевых потоках. Однако в селевых потоках не измеряются секундные расходы для влекомых наносов из-за отсутствия измерительных приборов.

Поэтому ряд исследователей для расчета влекомых наносов применяют их отношение к стоку взвешенных наносов. С этой целью соотношение стока влекомых и взвешенных наносов рассматривалось в работах ученых. Для приближенной оценки стока влекомых наносов различные исследователи предлагают принять величину указанного соотношения в следующих пропорциях. Особая конкретность этих соотношений имеется в работах [6] – 19,1%, [7] – 15-23%, [8] – 15-100%, [9] – 37-71%, средние (51%), [10, 11] – 20%, [12] – 13,8%, [13, 14] – 10-20%, [15] – 30%, [16, 17] – 10-100%, [18] – 9%, [19] – 15-30%, [20] – 10% и др. В указанных работах принятые соотношения применяются для определения объема стока влекомых наносов. По мнению Клопова, вопрос о соотношении количества влекомых и взвешенных наносов возникает при необходимости более полного учета всех продуктов поверхностного смыва, переносимых речным стоком.

Отношения влекомых наносов к взвешенным в селях объясняются резкими колебаниями от обычного режима. Появление идеи определения соотношений норм стока влекомых наносов обусловлено отсутствием достаточных данных измерений расхода влекомых наносов.

В отличие от стока взвешенных наносов движение и закономерности влекомых наносов не получили до сих пор полного освещения. В этом отношении изучение влекомых наносов имеет особое значение для исследуемых рек Большого Кавказа.

Проведенные исследования показывают, что основная часть стока влекомых наносов, как и взвешенных, 95-98% транспортируется реками Иле Алатау в теплый период года, а в холодный период года сток влекомых наносов практически отсутствует [21]. Другой исследователь считает, что отношение расходов влекомых наносов к взвешенным должно постепенно уменьшаться от истока к устью реки. На наш взгляд эта закономерность особенно должна наблюдаться в конусах выноса в связи с уменьшением скорости потока. Мы согласны с мнением исследователя, но с условием учета уклона рек и водосборов, а также гранулометрического состава русловых отложений [22, 23]. Это характеризует основы формирования стока влекомых наносов. При равных условиях чем крупнее русловые отложения, тем больше будет значение отношения стока влекомых наносов к стоку взвешенных. Есть мнение, что большие величины этого соотношения (до 100 %) могут иметь место в верхних течениях рек. Мы полагаем, что отношение влекомых к взвешенным наносам с большими пределами с меньшей вероятностью может наблюдаться в природных условиях верховья скалистых гор, где из-за физического выветривания (особенно морозного) образуются крупнообломочные материалы в истоках этих рек. Здесь сели формируют в основном водокаменный поток с катастрофическим исходом.

Следует отметить, что в условиях горных рек Азербайджана сток влекомых наносов был исследован в работах [24, 25]. Установлено, что величина отношения годового стока влекомых наносов к взвешенным в условиях рек Большого Кавказа в среднем составляет 15%. Однако по расчетам другого исследователя влекомые наносы равны около 30% от годового стока взвешенных наносов. Это же соотношение для рек Малого Кавказа исследователями составляет 20%.

Таким образом, отношение годового стока влекомых наносов к стоку взвешенных при выходе рек на Ганых-Автаринскую долину составляет 35%, а ниже Степного плато – всего 6% [25]. Подобное уменьшение количества влекомых наносов также наблюдается на р. Турианчай ниже Степного плато. Это объясняется аккумуляцией их в Ганых-Автаринской долине, представляющей собой как-бы природный отстойник на пути протекающих в ее пределах рек.

В бывшей Гидрометеорологической службе Азербайджана отношение величин годовых расходов влекомых наносов к взвешенным изменилось от 19% на р. Дамарчика до 49% на р. Чухадурмаз. Среднее годовое значение этого соотношения по указанным трем рекам равно 35%.

На реках исследуемой территории наблюдается на разных абсолютных высотных водомерных постах наибольший расход взвешенных наносов, которые колеблются в больших пределах. Это объясняется тенденцией выпадения ливневых осадков от высокогорья к низкогорью и, наоборот, суммированным или не суммированным транзитным способом ливневых осадков. На одном и том же водомерном посту, где наблюдается выпадение осадков от низкогорья к высокогорью, не отмечается наибольший расход взвешенных наносов. Причиной служит не охват по площади водосбора ливневых дождей выше 3 мм/мин [26]. Наоборот, при выпадении ливневых осадков от высокогорья к низкогорью наблюдается наибольший расход воды. При таких условиях сели наносят катастрофический ущерб хозяйству. Эти катастрофические сели были в 1963-1964 годах

на р. Талачай и р. Мухахчай. При этом селевые наносы с большим диаметром скапливались на правом, а с мелким – на левом берегу конуса выноса горных рек, что подтверждается законом Кориолиса [27]. Указанное распределение закономерности селевых наносов в природных условиях было обнаружено наблюдениями исследователя.

Как известно, совместное действие центробежной силы и отклоняющей силы вращения Земли (т.е. сила Кориолиса и центробежная) в соответствии с выражениями:

$$i_{\text{поп}} = \frac{m v^2}{R} : mg = \frac{v^2}{Rg}; \quad (2)$$

$$P = 2 m v \omega \sin \varphi \quad (3)$$

приводит к возникновению поперечного уклона

$$i_{\text{поп}} = \frac{v}{g} \left(\frac{v}{R} \pm 2 \omega \sin \varphi \right), \quad (4)$$

где m – масса частицы жидкости; v – продольная скорость движения частицы; R – радиус кривизны траектории движения частицы жидкости; φ – широта места; ω – угловая скорость вращения Земли; g – ускорение; $i_{\text{поп}}$ – поперечный уклон.

Из селевых материалов жителями построены дома селений Калел и др. Иногда на этих реках при ливневых дождях расход селей в летний период возрастает более $1000 \text{ м}^3/\text{с}$. В таком случае потоки горных рек могут находиться в конусах выноса под влиянием силы Кориолиса. Из-за хрупкого свойства материала в конусах выноса горных рек может действовать закон Кориолиса и влиять на отношение влекомых наносов к взвешенным.

В наших полевых экспедиционных исследованиях подобные верхние пределы в редких случаях наблюдались при определении гранулометрического состава селевых потоков (см. рисунок).

Учитывая прежние исследования, помимо верхних пределов в отношении влекомых наносов к взвешенным, нами были вычислены их средние значения (20%), а с учетом большого предела оно равняется 26%.

Следует отметить, что допустимые ошибки среднего значения отношений влекомых наносов к взвешенным для рек Большого Кавказа не должны превышать 6%.



Определение гранулометрического состава в конусе выноса р.Талачай

Сведения о селевых наносах за 5 часов

№ п/п	Река-пункт	Площадь водосбора F, km ²	Средняя высота водосбора H _{ср.}	Уклон реки I	Длина реки, L km	Отметка поста от БС, м	Наибольшие расходы		Сток наибольших расходов взвешенных наносов за 5 часов W, т	Сток Влекомых наносов W _G , т
							воды Q, м ³	взвешенных наносов R, кг/с		
1	Самур-с.Мишлеш	563	2800	0,0283	42	1701,62	92,7	330	5900	1200
2	Кара Самур-Лучек	481	2560	0,0547	42	1436,07	39,6	350	6300	1300
3	Самур-с.Лучек	962	2720	0,0223	65	1430,87	133	740	13000	2600
4	Самур-с.Ахты	2210	2560	0,0169	111	999,82	129	4000	72000	14000
5	Усухчай-с.Усухчай	272	2640	0,0814	36	859,78	27,1	460	8300	1700
6	Самур-с.Усухчай	3620	2530	0,0159	129	824,64	322	12000	220000	44000
7	Ахтычай-с. Ахты	952	2600	0,0372	61	1027,91	75,7	2900	52000	10000
8	Гусарчай-с.Кузун	250	2940	0,0540	34	1262,90	25	74	1300	260
9	Хыналыгчай-с.Хыналыг	36	2780	0,0186	8	2011,46	7	100	1800	360
10	Гуручай-с.Сусай	35,9	1930	0,1400	12	1220,81	18-3	43	770	154
11	Гудиялчай-с.Хыналыг	104	2960	0,0820	14	1990,36	23,4	120	2200	440
12	Гудиялчай-с. Гырыз	426	2590	0,0560	34	1220,19	27,7	820	15000	3000
13	Гудиялчай-с.Кюпчал	517	2400	0,0500	47	742,85	48,7	1100	20000	4000
14	Агчай-с.Джек	124	2590	0,0860	21	1595,55	27,7	500	9000	1800
15	Агчай-с. Сухтагала	12,5	1480	0,0125	6	950,63	15,1	83	1500	300
16	Гарачай-с.Рюк	137	2600	0,0890	20	742,85	18,7	61	1100	220
17	Сагаджукчай-с.Рустов	21,7	1450	0,0900	15	644,06	21,7	830	15000	3000
18	Велвеличай-с.Нохурдузи	210	2020	42,4	23	1085,86	31,7	260	4700	940
19	Вельвеличай-с.Тенгя-Алты	454	1870	0,0620	43	720,84	62,3	1300	23000	4600
20	Деркчай-с.Дерк	15,3	2050	0,0166	7,4	1503,59	5,92	25	450	90
21	Шабранчай-с.Зейва	29,8	1150	0,0880	12	–	15,7	9,3	170	34
22	Хармидорчай-с.Халтан	42,4	1380	0,0730	9	997,19	7,73	4,9	88	20
23	Атачай-с. Алтыгагадж	22,4	1360	0,0600	10	1075,06	15	3,2	58	12
24	Пирсагат-г.Шамахи	407	1350	0,0360	58	601,859	68,7	330	590	120
25	Пирсагат-с. Поладлы	995	1000	0,0250	87	313,42	78,9	770	14000	2800
26	Сумгайтчай-с.Перекиш.	1500	890	0,0200	135	61,81	78,2	660	12000	2400
27	Балакенчай-г.Балакен	146	1560	0,1010	20	276,666	24,2	49	880	180
28	Катехчай-с.Габиздара	236	1850	0,0840	262	561,47	55,3	110	2000	400
29	Талачай-г.Загатагала	136	1710	0,1000	21	490,345	36,5	1000	18000	3600
30	Гамачай-с.Илису	62	2380	0,1260		90,20	17,3	6,5	120	24
31	Курмухчай-с.Илису	166	2270	0,1200	19	1150,10	32,5	150	2700	540
32	Кунахайсу-с.Сарыбаш	21	2370	0,1330	6,1	2370	11,5	15	270	54
33	Булангсу-с.Сарыбаш	20,5	2540	0,1210	9,4	–	1,58	27	500	100
34	Ахчай-с.Ахчай	42	1990	0,1130	11	–	4,13	6,30	110	22
35	Агричай-с.Башдашагыл	92	1560	0,1600	12	1151,76	18,7	140	2500	500
36	Агричай-близ устья	1810	1040	0,0228	134	155,55	20,1	160	2900	580
37	Дамарчыг-близ устья	35	1860	0,2450	8,5	1147,10	16,1	180	3200	640
38	Чухадурмаз-близ устья	35	2210	0,1700	12	1070,20	10,5	43	770	150
39	Гайнар-близ устья	18	2040	0,1840	5,5	1066,20	2,72	4,3	77	15
40	Дамирапаранчай.г.Габала	126	2430	0,1420	23	691-57	0,45	37,9	680	140
41	Вандамчай-с.Вандам	69,4	2130	0,1190	18	–	58,4	76	1400	280
42	Сангерчай-с.Галаджык	43,2	2050	0,1410	13	1140	21	350	6300	1300
43	Бумчай-с.Бум	96	2240	0,1400	20	–	25	150	2700	540
44	Агричай-г.Исмайыллы	88,2	940	0,0370	10	544,14	14,1	2,2	40	8
45	Ахохчай-с.Ханагах	66,4	2130	0,1100	14	–	17,3	840	15000	3000
46	Гирдиманчай-с.Гаранох.	352	1820	0,0730	38	751,5	88,8	5900	110000	22000
47	Гейчай-с.Буйнуз	398	1940	0,0930	18	827,34	72,2	650	12000	2400
48	Гейчай-г.Гейчай	1480	970	0,0380	62	–	60,2	1500	27000	5400
49	Агсу-г.Аг	367	1030	0,0520	34	–	38,4	230	4100	820

В отличие от прежних работ расчет влекомых наносов нами производился не от среднего годового, а от наибольших расходов взвешенных наносов.

Интересные факты о сортировке селевых наносов конуса выноса от верхней части к нижней нами обнаружены в реках Талачай, Мухахчай и Курмухчай. Суть сортировки заключается в том, что в верхней части конусов выноса преобладает селевой нанос с большим диаметром, а в нижней части – с меньшим диаметром. Результаты вычислений даны в таблице.

Анализ таблицы показывает, что влекомые наносы в бассейне реки Самура изменяются от 1200-44000 т, на северо-восточном склоне – от 12-4600 т, а на южном – от 8-22 000 т.

Заключение. Впервые произведен расчет влекомых наносов с учетом наибольших расходов взвешенных наносов на реках азербайджанской части Большого Кавказа.

Вычисленные отношения влекомых к взвешенным наносам позволили проследить основные закономерности их возникновения на реках Большого Кавказа. Интересные факты о сортировке селевых наносов конуса выноса от верхней части к нижней нами обнаружены в реках Талачай, Мухахчай и Курмухчай. Суть сортировки заключается в том, что в верхней части конусов выноса преобладает селевой нанос с большим диаметром, а в нижней части – меньшим диаметром.

Выявлено, что отношение влекомых к взвешенному наносу способно отражать влияние закону Эри. На одном и том же водомерном посту, где наблюдается выпадение осадков от низкогорья к высокогорью, не отмечается наибольший расход взвешенных наносов. Причиной служит не охват по площади водосбора ливневых дождей выше 3 мм/мин. Наоборот, при выпадении ливневых осадков от высокогорья к низкогорью наблюдается наибольший расход воды по сравнению с прежним. При таких условиях сели наносят катастрофический ущерб хозяйству.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Мамедов Дж. Г. Азербайджан является «родиной» селей и краем, создаваемых ими чудес. Земля и человек. – Баку, 2021. – № 01(15). – С. 91-94.
- [2] Мамедов Дж. Г. Классификация и оценка селей // Труды Института гидрометеорологии Грузинского технического университета. – Тбилиси, 2011. – № 117. – С. 43-46.
- [3] Лопатин Г. В. К вопросу изучения твердого стока рек СССР // Метеорология и гидрология. – 2020. – № 1.
- [4] Великанов М. А. Ошибки измерения и эмпирические зависимости. – Л.: Гидрометеоздат, 1962. – 302 с.
- [5] Умаров А. Л. Исследования (натурные и лабораторные) движения донных наносов на горных реках и влияние его на сопротивление и кинематические характеристики турбулентного потока: Автореф. ... канд. дис. – Ташкент, 1968.
- [6] Абрамович Д. И. Исследование наносов реки Сулак. – Л., 1935.
- [7] Алтунин С. Т. Регулирование русел рек при водосборе. – М.; Л., 1948.
- [8] Близняк Е. В., Никольский В. М. Гидрология и водные исследования. – М.; Л., 1946.
- [9] Боголюбова И. В. Результаты полевых исследований и расчет стока влекомых наносов р. Мзымты // Труды ГГИ. – 1968. – Вып. 156. – С. 39-63.
- [10] Волин А. В. Твердый сток и скорость эрозии // Изв. АН СССР. Серия геогр. и геофиз. – 1946. – Т. 9, № 5. – С. 483-497.
- [11] Куликов Г.И. Сток взвешенных наносов рек северо-восточной части Малого Кавказа // Тр. Ин-та географии АН Азерб ССР. – Баку, 1954. – Т. 4. – С. 135-173.
- [12] Клопова С.О. О количественной зависимости твердого стока горных рек от естественных факторов // Изв. АН СССР. Сер. геогр. – 1956. – Т. 2. – С. 79-82.
- [13] Лопатин Г. В. Наносы рек СССР. – М.: Географгиз, 1952. – 366 с.
- [14] Шапов Г. И. Гранулометрический состав рек СССР // Тр. ГГИ. – Л., 1951. – Вып. 18 (72). – 68 с.
- [15] Рустамов С. Г., Куликов Г. И. Взвешенные наносы рек бассейна Куры (без Аракса) // Изв. АН Азерб ССР. – Баку, 1955. – № 12.
- [16] Павленко Н. И. Сток наносов рек северного склона Заилийского Алатау: Автореф. ... канд. дис. – Алма-Ата, 1960.
- [17] Поляков Б. В. Исследование стока взвешенных и донных наносов. – Л.: Изд. ГГИ, 1935. – 129 с.
- [18] Хмаладзе Г. Н. Некоторые соображения о соотношении расходов влекомых и взвешенных наносов горных рек Кавказа // Труды ЗаНИГМИ. – 1970. – Вып. 37 (43). – С. 76-84.
- [19] Чеботарев А. Л. Гидрология суши и расчеты речного стока. – Л.: Гидрометеоздат, 1953.
- [20] Шульц В. Л. Реки Средней Азии. Ч. 1.2. – Л.: Гидрометеоздат, 1965. – 691 с.
- [21] Павленко Н. И. Сток наносов рек северного склона Заилийского Алатау: Автореф. ... канд. дис. – Алма-Ата, 1960.
- [22] Куликов Г. И. Мутность рек Северо-Восточного Азербайджана и Кобыстана // Тр. Ин-та географии АН Азерб ССР. Сер. геогр. – Баку, 1957. – Вып. 7. – С. 185-202.
- [23] Рустамов С. Г. Гранулометрия речных наносов Азербайджанской ССР // Изв. АН Азерб ССР. Сер. геол. геог. наук. – Баку, 1960. – № 6. – С. 83-90.

- [24] Мамедов Дж. Г. Анаконда Большого Кавказа (Сели) // Современные проблемы географии: Материалы республиканской научной конференции. – Сумгайыт: СДУ, 2019. С. 102-106.
- [25] Ахундов С. А. Сток наносов горных рек Азербайджанской ССР. – Баку: Элм, 1978. – 98 с.
- [26] Шихлински Э. М. Атмосферные осадки. Климат Азербайджана. – Баку: Изд-во АН Азерб ССР, 1968. – С. 152-207.
- [27] Мамедов Дж. Г. Гранулометрический состав селевых отложений в конусах выноса и их закономерности (на примере селей азербайджанской части Большого Кавказа) // Географический вестник. – Пермь, 2013. – № 4 (27). – С. 40-48.

REFERENCES

- [1] Mamedov J. G. Azerbaijan is the “homeland” of mudflows and the land of the miracles they create // *Earth and man*. Baku, 2021. No. 01(15). P. 91-94 (in Russ.).
- [2] Mamedov J. G. Classification and assessment of mudflows // *Proceedings of the Institute of Hydrometeorology, Georgian Technical University*. Tbilisi, 2011. No. 117. P. 43-46 (in Russ.).
- [3] Lopatin G. V. On the issue of studying solid runoff of rivers of the USSR // *Meteorology and Hydrology*. 2020. No. 1 (in Russ.).
- [4] Velikanov M. A. Measurement errors and empirical dependencies. L.: Gidrometeoizdat, 1962. 302 p. (in Russ.).
- [5] Umarov A. L. Research (field and laboratory) of the movement of bottom sediments on mountain rivers and its influence on the resistance and kinematic characteristics of turbulent flow: Author's abstract. PhD. diss. Tashkent, 1968 (in Russ.).
- [6] Abramovich D. I. Study of sediments of the Sulak River. L., 1935 (in Russ.).
- [7] Altunin S. T. Regulation of river beds in watersheds. M.; L., 1948 (in Russ.).
- [8] Bliznyak E. V., Nikolsky V. M. Hydrology and water research // Ed. Ministry of River Fleet of the USSR. M.; L., 1946. (in Russ.).
- [9] Bogolyubova I. V. Results of field research and calculation of the runoff of tractional sediments of the river Mzymty // *Proceedings of the State Historical Institute*. 1968. Issue 156. P. 39-63 (in Russ.).
- [10] Volin A. V. Solid runoff and erosion rate // *Izv. USSR Academy of Sciences, geogr. series. and geophysics*. 1946. Vol. IX, No. 5. P. 483-497 (in Russ.).
- [11] Kulikov G. I. Runoff of suspended sediments in the rivers of the northeastern part of the Lesser Caucasus // *Tr. Institute of Geography, Academy of Sciences of Azerbaijan. SSR*. Baku, 1954. Vol. IV. P. 135-173 (in Russ.).
- [12] Klopova S. O. On the quantitative dependence of solid runoff of mountain rivers on natural factors // *Izv. Academy of Sciences of the USSR. Ser. geogr.* 1956. Vol. 2. P. 79-82 (in Russ.).
- [13] Lopatin G. V. Sediments of rivers of the USSR. M.: Geographgiz, 1952. 366 p. (in Russ.).
- [14] Shamov G. I. Granulometric composition of rivers of the USSR // *Tr. GGI*. L., 1951. Issue 18 (72). 68 p. (in Russ.).
- [15] Rustamov S. G., Kulikov G. I. Suspended sediments of the rivers of the Kura basin (without Araks) // *Izv. AN Azerbaijan. SSR*. 1955. No. 12 (in Russ.).
- [16] Pavlenko N. I. Sediment runoff of rivers on the northern slope of the Trans-Ili Alatau: Author's abstract. Ph.D. diss. Alma-Ata, 1960 (in Russ.).
- [17] Polyakov B. V. Study of the flow of suspended and bottom sediments. L.: Ed. GGI, 1935. 129 p. (in Russ.).
- [18] Khmaladze G. N. Some considerations on the relationship between the flow rates of transported and suspended sediment in mountain rivers of the Caucasus // *Labor ZakNIGMI*. 1970. Issue 37 (43). P. 76-84 (in Russ.).
- [19] Chebotarev A. L. Hydrology of land and calculations of river flow. L.: Gidrometeoizdat, 1953 (in Russ.).
- [20] Shultz V. L. Rivers of Central Asia. Part 1.2. L.: Gidrometeoizdat, 1965. 691 p. (in Russ.).
- [21] Pavlenko N. I. Sediment runoff of rivers on the northern slope of the Trans-Ili Alatau: Author's abstract. Ph.D. diss. Alma-Ata, 1960 (in Russ.).
- [22] Kulikov G. I. Turbidity of the rivers of north-eastern Azerbaijan and Kobystan // *Tr. Institute of Geography, Academy of Sciences of Azerbaijan. Ser. geogr.* Baku, 1957. P. 185-202 (in Russ.).
- [23] Rustamov S. G. Granulometry of river sediments of the Azerbaijan SSR. // *Izv. AN Azerbaijan. SSR. Ser. geol. geog. sciences*. Baku, 1960. No. 6. P. 83-90 (in Russ.).
- [24] Mamedov J. G. Anaconda of the Greater Caucasus (Mudflows) // *Modern problems of Geography. Materials of Republican scientific conferences*. Sumgayit: SDU, 2019. P. 102-106 (in Russ.).
- [25] Akhundov S. A. Sediment runoff of mountain rivers of the Azerbaijan SSR. Baku: Elm, 1978. 98 p. (in Russ.).
- [26] Shikhliniski E. M. Atmospheric precipitation. Climate of Azerbaijan. Baku: Publishing House of the Academy of Sciences of Azerbaijan. SSR, 1968. P. 152-207 (in Russ.).
- [27] Mamedov J. G. Granulometric composition of mudflow deposits in alluvial fans and their patterns (using the example of mudflows in the Azerbaijani part of the Greater Caucasus) // *Geographical Bulletin*. Perm, 2013. No. 4 (27). P. 40-48 (in Russ.).

Дж. Г. Мамедов

PhD, жетекші ғылыми қызметкер

(Академик Г. А. Әлиев атындағы География институты, Әзірбайжан ғылым және білім министрлігі,
Баку, Әзірбайжан; jumamamedov@yahoo.com)

**АСҚАН ШӨГІМДЕРДІҢ ЕҢ ЖОҒАРҒЫ АҒЫМДАСТЫРУЫН
ЕСКЕ АЛЫНАТЫН ШӨГІМНІҢ ЕСЕПТІЛЕРІ
(ҮЛКЕН КАВКАЗ ӨЗЕНДЕРІНІҢ МЫСАЛЫНДА ӘЗЕРБАЙДЖАН)**

Аннотация. Мақалада тасымалданатын шөгінділердің ағыны және олардың ілінген шөгінділердің ең жоғары ағынының жылдамдығына қатынасы талданады. Таулы аймақтардағы төсек жүктемесін зерттеу жазық жерлерге қарағанда күрделірек жұмыс. Сонымен қатар, таулы аймақтарды гидрологиялық тұрғыдан нашар білу, сондай-ақ шағын өзендердегі тартқыш шөгінділердің ағынын бақылаудың жеткіліксіздігі тартқыш жүктемелерді толық бақылауға мүмкіндік бермейді. Сондықтан төсек жүктемесін зерттеу мен есептеудің ғылыми және практикалық маңызы зор. Аспалы шөгінділердің ең жоғары ағыс жылдамдығындағы домалақ бөлшектер, әсіресе сел кезінде қозғалған кезде, тартқыш бөлшектер болып табылады. Тасымалданатын шөгінділердің ағыны Эри заңы бойынша аллювий конусында сұрыптау сипатына ие екендігі анықталды.

Түйін сөздер: шөгінді ағыны, ілмелі шөгінді, тасымалданатын шөгінді, тоқтатылған шөгінді ағыны, нөсер жауын-шашын.

J. G. Mammadov

Ph.D., doc., leading researcher

(Institute of Geography named after Academician G. A. Aliyev, Ministry of Science and Education of Azerbaijan,
Baku, Azerbaijan; jumamamedov@yahoo.com)

**CALCULATIONS OF ENTRAINED SEDIMENTS, TAKING
INTO ACCOUNT THE LARGEST EXPENDITURES OF SUSPENDED SEDIMENTS
(USING THE EXAMPLE OF THE RIVERS OF THE GREATER CAUCASUS OF AZERBAIJAN)**

Abstract. The article analyzes the flow of entrained sediments and their ratio to the highest expenditure of suspended sediments. The study of entrained sediments in mountainous areas is a more difficult task than in lowland areas. In addition, the weak hydrological knowledge of mountainous areas, as well as the lack of observations on the flow of entrained sediments on small rivers, do not allow for full monitoring of entrained sediments. Therefore, the study and calculation of entrained sediments is of great scientific and practical importance. Rolling particles in the largest flow rates of suspended sediments are considered to be entrained, especially when they move during mudflows. It was revealed that the runoff of the entrained sediments has a sorting character in the removal cone according to the Erie law.

Keywords: sediment runoff, suspended sediments, entrained sediments, suspended sediment consumption, heavy rainfall.