

УДК 551.510.42

**СТОК ВЗВЕШЕННЫХ НАНОСОВ КАК КЛЮЧЕВОЙ ЭЛЕМЕНТ
УСТОЙЧИВОСТИ РЕЧНЫХ ЭКОСИСТЕМ**

Канд. геогр. наук М.Ж. Бурлибаев

Сделана попытка рассмотреть сток взвешенных наносов с точки зрения охраны речных экосистем, а не только как гидрологического параметра. При этом проводится параллель между антропогенным изменением стока взвешенных наносов, гранулометрического состава, химизма и деградацией речных экосистем.

Для исследования устойчивости речных экосистем изучение взвешенных наносов речного стока, как и его химического и гранулометрического состава, представляет собой фундаментальный характер, с точки зрения определения роли стока наносов, в жизнедеятельности автономно существующей экосистемы. Обозначив такую проблему, необходимо пояснить, что же в этом конкретном случае имеется в виду под термином «речной экосистемы». В понимании автора речная экосистема есть совокупность и взаимодействие биоты с абиотической средой применительно к водотоку.

Сравнительный анализ современной деградации речных экосистем показывает, что при «обосновании» минимально необходимых расходов воды или же санитарных попусков ниже водохранилищ и крупных гидрехимических сооружений абсолютно игнорируется сток наносов, несмотря на особую роль этой гидрологической характеристики в жизнедеятельности речной экосистемы, известной еще со времен В.В. Докучаева [1]. Наоборот, вся система мелиорации и гидроэнергетики боролась со стоком наносов как с нежелательным элементом, приносящим только экономические убытки.

Между тем известно, что сток наносов играет важную роль не только в преобразовании пойменных лугов, но и в продуцировании биогеоценозов. Поэтому в водно-аккумулятивных комплексах, каковой является речная экосистема, роль гидрологического режима, в том числе стока наносов, в создании биогеоценозов и почвообразовании, становится еще более значимой, потому как сам почвенный субстрат является порождением пойменного и аллювиального речного потока. Мезорельеф пойм трансзональных рек Казахстана указывает на их чрезвычайную сложность

и неоднородность по поемному и аллювиальному отложению, как по глубинному профилю, так и в направлении от русла к пойме и террасам. Такое сложное сочетание явления оказывается главной причиной и основой создания при одних и тех же физико-географических условиях, атмосферном воднотеплобалансовом и гидрологическом режимах неоднозначных гидротермических, воздушных и пищевых режимах местообитаний биоты. Разнообразие факторов при сопряженной дифференциации растительного покрова речной экосистемы, накопления и преобразования биогенных и органических продуктов приводит к формированию мозаичного и закономерного по экологическому профилю сменяющегося почвенного покрова.

Таким образом, становится понятным, что сток наносов является не только почвообразующим фактором, но и основным источником питания биоценозов, объединенных в рамках речной экосистемы. Например, источником необходимого набора органических соединений для растений являются первичные продукты фотосинтеза. Известно, что эти продукты образуются из двуокиси углерода и воды в процессе питания растений, где в их химической основе лежат углерод, кислород и водород. Далее, в результате обмена веществ, первичные продукты фотосинтеза превращаются в аминокислоты, белки, макроэргические соединения, в ферменты и другие сложные органические вещества. Однако для достижения этой цели требуются также другие металлы периодической таблицы Д.И. Менделеева. Их растения получают из почвы пойменных лугов, куда в свою очередь эти химические элементы попадают исключительно благодаря стоку взвешенных наносов. Интенсивность роста пойменных растений, да и вообще благополучие речной экосистемы, включая и гидробионтов, зависит, главным образом, от гидрологического режима реки, в том числе и от стока взвешенных наносов. Поэтому данная работа будет посвящена не только определению условий формирования стока взвешенных наносов, но и выявлению химического и гранулометрического состава этих наносов. При выявлении роли стока взвешенных наносов в почвообразовательном процессе речной экосистемы нами выделяются поемные и аллювиальные процессы. Под поемными процессами понимаем отложения взвешенных наносов, сформировавшихся со всей площади водосбора, во время затопления поймы тальми водами периода половодья. Аллювиальные же процессы, в нашем понимании, есть отложения наносов паводковыми водами в виде наилок как результат взмучивания влекомых наносов, размывания русла, поймы и их переотложения. Поэтому в нашем случае изучению

стоков взвешенных наносов придается важная роль не только как чисто гидрологической характеристике, но и как одному из важных факторов, обеспечивающих устойчивое развитие речной экосистемы. В связи с чем, нам на перспективу необходимо научиться прогнозировать не только гидрологический режим водотоков, но и сток взвешенных наносов.

Научных трудов, посвященных определению закономерностей формирования стока наносов имеется множество. Учитывая специфику наших интересов к стоку взвешенных наносов с точки зрения изучения устойчивости речных систем, мы ограничимся исследованиями на примере р. Шу. В этой связи хотелось бы подчеркнуть ряд трудов, посвященных изучению стока взвешенных наносов р. Шу, являющихся основополагающими для рассматриваемого речного бассейна. Это труды Г.И. Шамова [7], Г.В. Лопатина [4], В.Л. Шульца [8, 9], О.П. Щегловой [10], Н.Т. Кузнецова [2] и Справочник «Ресурсы поверхностных вод» под ред. М.Н. Большакова [5].

Они, в основном, посвящены выявлению закономерностей формирования как взвешенных, так и влекомых наносов. Общим выводом для этих работ, хотя и с некоторыми сомнениями в результатах отдельных работ [5], является наличие связи среднемесячных и среднегодовых стоков взвешенных наносов и речного стока. Эту связь предложено определять как:

$$R = \alpha \cdot Q^n, \quad (1)$$

где R - сток взвешенных наносов, кг/с; α и n - эмпирические коэффициенты полученных зависимостей; Q - среднегодовой и среднемесячные расходы воды, м³/с.

В работе [5] авторам не удалось избежать противоречий самим себе. Например, на с.180 авторы констатируют факт, что попытка использовать связи расходов воды с расходами наносов (для удлинения коротких рядов наблюдения) не приводит к положительным результатам из-за слабости этих связей. Несмотря на это авторы на с.193 предлагают использовать эти зависимости (1) для расчета стока взвешенных наносов. Как представляется, ошибка авторов заключается в том, что из привлекаемых для расчетов 60-ти пунктов наблюдений только в 24 пунктах имеются ряды наблюдений более десяти лет, тогда как на остальных 36 гидропостах менее десяти лет. Во-вторых, из классической гидрологии суши известно, что при поиске связи стока взвешенных наносов с расходом воды надо четко разграничивать отдельные гидрологические фазы во внутригодовом распределении стока. В противном случае статистические параметры стока наносов и речного стока в декартовых координатах образуют рассеянное поле точек с низкими

показателями корреляционной связи, т.е. задача превращена в детерминированную, с множеством эпизодов случайностей. К сожалению, в цитируемой работе этой ошибки не удалось избежать.

Поэтому при правильной постановке задачи, т.е. для выявления зависимости стока взвешенных наносов от расхода воды, наравне с высотной зональностью рассматриваемых створов, подстилающей поверхности водосборной площади и типа питания немаловажную роль играет и внутригодовое распределение речного стока. А именно, четкое и правильное определение водности периода: половодье, паводки и межень. Ибо в данном случае водность водотока выступает как интегральный показатель, вобравший в себя совокупность отдельных факторов, формирующих сток взвешенных наносов.

Выявление роли и участия каждого фактора формирования стока наносов для фундаментальной науки на основе натуральных экспериментов представляется архиважным. В настоящее время экономические реалии таковы, что на ближайшую перспективу проведение таких работ просто невозможно, в связи с чем, для выявления связей, придется ограничиться только результатами наблюдений на стационарных постах гидрометслужбы.

В результате продолжительного поиска нам удалось получить зависимости эмпирических коэффициентов α и n от высоты расположения гидрологических постов (см. рис.). При этом связи для этих коэффициентов получены для двух периодов гидрологического режима, то есть весенне-летнего половодья (4...8 месяцы) и осенне-зимней межени (9...3 месяцы). Эти связи аппроксимируются следующими полиномиальными уравнениями:

$$\alpha_{4-8} = 2 \exp(-0,8H^2) - 7 \exp(0,5H) + 0,0708, \quad (2)$$

$$\alpha_{9-3} = 7 \exp(-0,8H^2) - 0,0003H + 0,2324, \quad (3)$$

$$n_{4-8} = -\exp(0,7H^2) + 0,0007H + 1,4179, \quad (4)$$

$$n_{9-3} = -6 \exp(0,8H^2) + 0,0003H + 1,3109. \quad (5)$$

При этом R^2 соответственно равны: 0,97; 0,83; 0,80; 0,72. При построении зависимости использован метод наименьших квадратов в изложении Ю.В. Линника [3] по сводке формул и правил оценки с учетом подробной и матричной записи:

$$\sum_{i=1}^n (kH_i H_j) \alpha_j = (kH_i l), \quad (6)$$

при $K\alpha = H^n kl$ и $K = H^n kH$, где K – матрица; k – матричный весовой коэффициент; $H_{i,j}$ – переменная высоты расположения гидрологических постов; l – расстояние между постами.

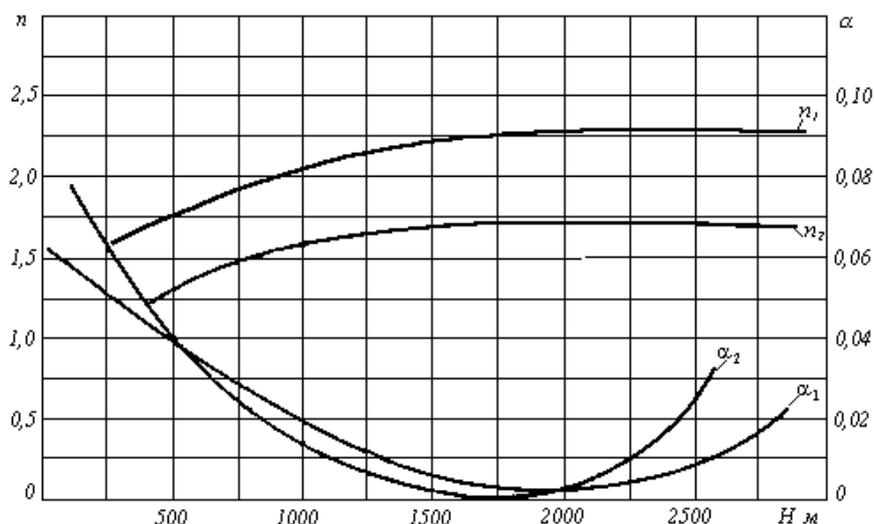


Рис. Зависимость α и n от высоты речного водосбора.

Несмотря на различие физико-географических условий бассейнов рек (Или, Иртыш, Каратал, Шу, Талас, Асса), характер вертикальной поясности формирования стока взвешенных наносов идентичен и позволяет сделать следующие предположения:

- величина α является эмпирическим коэффициентом, учитывающим возрастание стока взвешенных наносов с уменьшением высоты водосбора и возрастанием площади водосбора, а также с учетом добегаания;
- величина n является эмпирическим коэффициентом, учитывающим возможность смыва подстилающей поверхности в различных высотных поясах в зависимости от преобладания тех или иных почвогрунтов, а также факторов, влияющих на формирование стока взвешенных наносов.

Максимумы поясного смыва или же возрастания стока взвешенных наносов приходятся на нижние зоны с высотой местности от 200 до 1000 метров, где преобладают легкие почвы (супесчаные, песчаные, легкие суглинки) и на высокогорье (свыше 2000 метров), что обусловлено, главным образом, размывами влажных тяжелых суглинков и глин с участием обломков скал, осыпей и россыпей. Минимальный смыв имеет место в среднегор-

ном поясе (от 1000 до 2000 метров), где формирование стока наносов обусловлено относительно малой интенсивностью смыва и эрозии.

С помощью зависимостей (2) – (6) получены количественные характеристики восстановленных величин стока взвешенных наносов основных трансзональных рек республики (Или, Иртыш, Шу, Сырдарья) за весеннее половодье (табл.) и осенне-зимнюю межень.

Таблица

Среднемноголетнее распределение восстановленного и нарушенного стока взвешенных наносов основных трансзональных рек Казахстана в период весеннего половодья, кг/с

Река - створ	Сток взвешенных наносов	Месяц				
		4	5	6	7	8
Сырдарья – ст. Томенарык	естественный	3143	5024	6080	3965	1557
	фактический	33	48	73	29	31
	разность	3110	4976	6007	3936	1526
Сырдарья – г. Казалы	естественный	1104	1774	2026	1287	673
	фактический	28	40	40	25	28
	разность	1076	1734	1986	1262	645
Или – в 37 км ниже раб. пос. Или	естественный	253	596	953	962	807
	фактический	7	5	6	4	4
	разность	246	591	947	958	803
Шу – свх. Чапаева	естественный	83	51	43	30	41
	фактический	53	34	21	17	11
	разность	30	17	22	13	30
Шу – с. Кочкорка	естественный	1,1	17	17	11	13
	фактический	2,0	4	15	9	4
	разность	0,9	13	2	2	9
Черный Иртыш – с. Буран	естественный	19	98	167	49	14
	фактический	20	99	164	44	12
	разность	1	1	3	5	2
Иртыш – с. Шульба	естественный	441	417	174	62	38
	фактический	182	115	28	8	3
	разность	259	302	146	54	35

Уменьшение стока наносов под влиянием хозяйственной деятельности характерно для всех рассматриваемых трансграничных рек. Значительные изменения произошли в стоке взвешенных наносов таких рек, как Сырдарья, Иртыш, Шу и Или. Основное влияние на сток взвешенных наносов оказывает эксплуатация крупных водохранилищ многолетнего и сезонного регулирования, таких как Бухтарминское, Шульбинское, Усть-

Каменогорское, Капшагайское, Ортотокайское, Ташуткульское, Нарынское, Токтогульское, Шардаринское и др. Например, среднемноголетний сток взвешенных наносов р. Или снизился с 15,90 млн т до 0,96 млн т в результате эксплуатации Капшагайского водохранилища, где особенно велико снижение стока взвешенных наносов в вегетационный период – с 13,30 млн т до 0,87 млн т. Полученные нами результаты подтверждаются исследованиями В.Н. Стародубцева [6].

При определении влияния хозяйственной деятельности на естественный гидрологический режим р. Сырдарья весь период наблюдений целесообразно разделить на два этапа, то есть до 1960 года и после 1960 года, а нарушенный же период гидрологического режима до 1975 года и после 1975 года. При такой постановке задачи результаты восстановленного стока взвешенных наносов показывают следующее: с начала регулирования стока р. Сырдарья Фархадским, Кайраккумским, Шардаринским водохранилищами среднемноголетнее значение твердого стока в створах ст. Томенарык и г. Казалы уменьшилось в вегетационный период соответственно на 67 и 36 %. После 1975 года, когда совпали во времени интенсивное освоение бассейна реки Сырдарья и наступление маловодных циклов, эти уменьшения составили соответственно 98,9 и 97,6 %.

Антропогенное воздействие существенно повлияло и на естественную многолетнюю изменчивость стока взвешенных наносов (C_v). Например, C_v взвешенных наносов рек Сырдарья и Шу в период весеннего половодья при естественном гидрологическом режиме равнялся в среднем 0,24 и 0,72 соответственно, тогда как после зарегулирования стока этих рек C_v в низовьях р. Сырдарья упал до нуля в результате прекращения поступления как жидкого стока, так и стока взвешенных наносов, и до 0,32 - на р. Шу.

По мере уменьшения стока взвешенных наносов претерпевает изменение и их гранулометрический состав. Как показывают наши исследования, вместо наносов с диаметром частиц менее 0,01 мм при естественном гидрологическом режиме, в настоящее время в стоке взвешенных наносов преобладают наносы с диаметром частиц более 0,01 мм. Например, в стоке взвешенных наносов р. Или в период подъема половодья до 1970 года наносы с диаметром частиц менее 0,01 мм составляли 50,3 %, где на долю наносов с диаметром частиц менее 0,05 мм приходилось порядка 40 %, тогда как крупные наносы составляли порядка 10 %. В настоящее время гранулометрический состав стока взвешенных наносов в корне изменен:

- с диаметром частиц менее 0,01 мм – 10 %;

- с диаметром частиц менее 0,05 мм – 63 %;
- с диаметром частиц более 0,05 мм – 27 %.

Изменения, касающиеся гранулометрического состава взвешенных наносов при подъеме весеннего половодья, характерны и для периода спада половодья. Например, наносы с диаметром частиц менее 0,01 мм, составляющие 45 % общего объема, в настоящее время уменьшились до 7 %, тогда как наносы с диаметром частиц менее 0,05 мм увеличились с 36 % до 48 %. Аналогичные закономерности наблюдаются и на примере других рассматриваемых трансзональных рек.

Взвешенные наносы р. Иртыш с диаметром частиц менее 0,01 мм увеличились с 38 % до 48 %, соответственно при подъеме и спаде половодья уменьшились до 28 % и 18 %, то есть разница составляет 10 % и 30 %. Констатируемые уменьшения стока взвешенных наносов с диаметром частиц менее 0,01 мм происходят на фоне увеличения наносов с более крупными частицами. В частности, наносы с диаметром частиц более 0,05 мм, составлявшие 17 % и 18 % в периоды подъема и спада половодья естественного гидрологического режима, в настоящее время увеличились до 51 % и 40 % соответственно.

В настоящее время в результате зарегулирования рассматриваемых трансзональных рек произошли изменения не только в гранулометрическом составе стока взвешенных наносов, но и в химическом составе этих наносов. Известно, что при естественном гидрологическом режиме химизм наносов подчинялся химическому составу смываемых пород и гидрохимическому режиму водотока. Такое положение вещей в современных условиях сохраняется только в стоке рек до водохранилищ. Сток взвешенных наносов в нижнем бьефе воспринимает от гидрохимического режима реки лишь некоторые элементы от группы общей минерализации, например, карбонатность воды. Что касается микро- и макроэлементов, содержащихся и характерных для стока взвешенных наносов в горной части водосбора, то они отсутствуют полностью или обнаруживаются их следы. Например, содержание карбонатов в стоке взвешенных наносов рассматриваемых трансзональных рек изменялось и изменяется преимущественно в пределах от 5 до 20 %. В верхнем и среднем течениях рассматриваемых трансзональных рек, при естественном гидрологическом режиме, изменения карбонатности отличаются от нижнего течения, где эти изменения составляли от 20 % до 27 %. Эти изменения карбонатности в нижнем течении закономерны и имеют объяснение, заключающееся в том, что в горах, где наблюдается максимум атмосферных осадков, связанных с характером размываемых пород и почв,

в нижнем течении оно обусловлено выпадением карбонатов из растворов и увеличением содержания CO_2 .

До зарегулирования стока рассматриваемых рек в химическом валовом составе взвешенных наносов присутствовали SiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3 , CaO , MgO , MnO , K_2O , Na_2O , TiO_2 , SO_3 , P_2O_5 , то есть имелись все компоненты, необходимые не только для ихтиофауны, но и для растений в за-тапливаемой части поймы и дельты рек.

К сожалению, в настоящее время сток взвешенных наносов ниже крупных водохранилищ не представляет ценности как удобрение, что еще раз говорит о местном происхождении этих наносов, в результате переработки русел рек. Поэтому, при решении задач восстановления речной экосистемы, необходимо решить вопрос о транспортировке стока взвешенных наносов, аккумулированных в чаше водохранилищ в нижнем бьефе.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Докучаев В.В. преобразование природной среды. Сочинение. Т. IV. - М. - Л.: АН СССР, 1951. – 596 с.
2. Кузнецов Н.Т. и др. Физико-географические основы формирования состава взвешенных наносов рек и ирригационных систем. – М.: Наука, 1987. – 151 с.
3. Линник Ю.В. Метод наименьших квадратов и основы теории обработки наблюдений. – М.: Физматгиз, 1958. – 335 с.
4. Лопатин Г.В. Наносы рек СССР. – М.: Географгиз, 1952. – 336 с.
5. Ресурсы поверхностных вод. (Под ред. М.Н. Большакова) – Л.: Гидрометеиздат, 1973. – Т. 14. – вып. 2. – 308 с.
6. Стародубцев В.Н. Влияние орошения на мелиоративные качества речного стока. – Алма-Ата: Наука, 1985. – 168 с.
7. Шамов Г.И. Речные наносы. – Л.: Гидрометеиздат, 1954. – 347 с.
8. Шульц В.Л. Реки Средней Азии – Л.: Гидрометеиздат, 1963. – Ч. 1. – 302 с.
9. Шульц В.Л. Реки Средней Азии – Л.: Гидрометеиздат, 1965. – Ч. 2. – 690 с.
10. Щеглова О.П. Формирование стока взвешенных наносов и смыв с горной части Средней Азии – Л.: Гидрометеиздат, 1972. – 228 с.

Казахский научно-исследовательский институт
мониторинга окружающей среды и климата

ЖИНАҚТАЛҒАН ТАСЫНДЫЛАРДЫҢ АҒЫСЫ ӨЗЕН ЭКОЖҮЙЕЛЕРІ ТҰРАҚТЫЛЫҒЫНЫҢ НЕГІЗГІ ЭЛЕМЕНТІ РЕТІНДЕ

Геогр. ғылымд. канд.

М.Ж. Бүрлібаев

Жинақталған тасындылардың ағысын гидрологиялық өлшем ретінде ғана емес, өзен экожүйелерін қорғау тұрғысынан қарастыруға тырысушылық жасалған. Осы тұрғыдан жинақталған тасындылардың ағысының антропогендік өзгеруі мен гранулометриялық құрам, химизм және өзен экожүйелерінің деградациясының ара қатынасы анықталған.