

ФАКТОРЫ ФОРМИРОВАНИЯ СТОКА ВЗВЕШЕННЫХ НАНОСОВ РЕК И МЕТОДЫ ЕГО КОЛИЧЕСТВЕННОЙ ОЦЕНКИ

Ковязина И. А., Баяндина Д. С.

*Пермский государственный национальный исследовательский университет,
г. Пермь, Россия, e-mail:irinakoviazina@mail.ru*

Количество транспортируемых рекой наносов и их режим во многом определяют формирование речного русла, заносимость судоходных каналов на реках, режим перекатов, а также темпы заиления водохранилищ [1]. В работе выполнен анализ изученности процессов формирования стока наносов и методик его количественной оценки. Выделены внешние и внутренние факторы поступления твердого вещества в реки. К внешним относятся выветривание, почвенная эрозия и денудация. К внутренним – русловой и пойменный аллювий, а также первичные продукты разрушения материнских пород. Для восстановления рядов при отсутствии материалов наблюдений приведены требования к выбору рек-аналогов.

Ключевые слова: наносы; сток взвешенных наносов; реки-аналоги.

FACTORS OF RIVER SUSPENDED SEDIMENT RUNOFF FORMATION AND METHODS OF ITS QUANTITATIVE ESTIMATION

Kovyazina I. A., Bayandina D. S.

*Perm State University
Perm, Russia, e-mail:irinakoviazina@mail.ru*

The amount of sediments transported by the river and their regime largely determine the river channel formation, the silting of navigable canals on rivers, the regime of rifts, and also the siltation rate of reservoirs [1]. The paper analyzes the study of the sediment runoff formation processes and methods for its quantitative assessment. The external and internal factors of the influx of solid matter into rivers are identified. The external ones include weathering, soil erosion and denudation. Internal - channel and floodplain alluvium, as well as primary products of destruction of parent rocks. Requirements for the selection of analogous rivers are given to restore the series in the absence of observation materials.

Key words: sediment; suspended sediment runoff; analogous rivers.

Введение. Необходимость количественной оценки твердого стока возникает при решении ряда водохозяйственных задач, связанных с заилением водохранилищ. Как правило, недостаточность и некорректность данных наблюдений за расходом наносов на реках не дают возможность получить достоверную информацию о параметрах его распределения [2]. Именно отсутствие сведений по твердому стоку является существенным недостатком при комплексном изучении водохранилищ. В связи с этим

появляется необходимость выбора методик для восстановления рядов наблюдений за стоком взвешенных наносов.

Расход наносов и мутность водного объекта (водотока, водоема) изменяются как во времени, так и в пространстве. Внутригодовое распределение расхода наносов определяется фазами водности, которые определяют поступление аллохтонного вещества в водный объект – продукты смыва и выветривания грунтов подстилающей поверхности водосбора. Также интенсивность поступления грунта извне в одинаковые фазы водности для разных лет определяется водностью и метеорологической обстановкой отдельного года [3].

Работы российских исследователей по изучению стока взвешенных наносов можно условно разделить по четырем направлениям: выявление факторов формирования наносов [4, 5, 6], характеристика методик отбора проб и расчета твердого стока [7, 8, 9], построение моделей транспорта наносов [2, 10] и комплексные исследования [1, 11, 12, 13].

Формирование стока наносов, как и для любого природного процесса, зависит от целого ряда причин. Однако, в зависимости от типа водного объекта, источники твердого вещества и вклад той или иной составляющей этого процесса могут быть различны. Выделяются две группы факторов, влияющих на формирование стока наносов: внешние и внутренние.

К внешним факторам относятся процессы выветривания и денудации, почвенная эрозия, климатические условия. В результате воздействия на горные породы механических, физических, химических и биологических процессов выветривания образуется крупный и тонкодисперсный обломочный материал, именуемый элювием. Элювиальный покров горных пород образует кору выветривания. Он является исходным материалом для образования почв, которые формируются в результате сложных природных процессов и антропогенных факторов. Мелкий и крупный обломочный материал горных пород, частицы почвы, остатки растительного и животного мира являются исходным продуктом формирования наносов [1].

Процессы выветривания в сильной степени зависят от литологического состава пород и структуры почв. Изверженные породы благодаря наличию цементирующего вещества, связывающего зерна породы, наиболее устойчивы в отношении выветривания по сравнению с осадочными породами. Сильно подвержены физическому выветриванию песчаники и конгломераты, распадающиеся при этом на крупные глыбы, а затем слагающие на песок и гальку [4].

В зависимости от структуры образовавшегося при выветривании материала, его влажности и характера движения, различают следующие виды денудации: обвалы, осыпи, оползни, оплывины и покровное сползание. Интенсивность процессов денудации увеличивается с крутизной откосов и уменьшением сопротивления движению масс.

Одним из основных источников поступления наносов в водотоки и водоемы является почвенная эрозия. Вклад почвенной эрозии в общее количество твердых частиц в водных потоках может достигать до 90 % [11].

Г. В. Лопатиным [13] выделены элементы единого эрозионно-аккумулятивного процесса:

- склоновый сток (основная эрозионная деятельность на водосборе);
- овражный сток (овражная эрозия);
- речной сток (развитие речных долин, русловые деформации).

Однако замечено, что значительная часть продуктов бассейновой эрозии не поступает в речную сеть [12]. Но, учитывая, что площадь водосбора, на которой может развиваться эрозия, неизмеримо больше, чем площади поверхности размыва в русловой сети, процесс эрозии верхних звеньев гидрографической сети следует рассматривать как первоисточник поступления наносов в русловые потоки. Очевидно, что объем поступающих в речную сеть наносов зависит от степени размываемости почвы, от орографии и климатических характеристик речного бассейна, а также от проводимых на территории водосбора мелиоративных мероприятий. Поступление твердого вещества с поверхности водосбора также может происходить в результате ветрового переноса пылеватых частиц [3].

Влияние климатических факторов, прежде всего, обусловлено характером выпадающих осадков и интенсивностью снеготаяния. Продолжительные обильные осадки формируют ускоренный склоновый сток, который в значительной степени определяет перемещение почвенных частиц на территории водосбора. Весной, в период снеготаяния в балках и оврагах часто происходит сход снежных масс, сопровождающийся механическим захватом почвенных частиц. Механическое разрушение почвы также возможно и при падении капель дождя. Это разрушение будет тем больше, чем меньше защищена почва растительностью, чем крупнее капли дождя и больше его интенсивность [13].

К косвенным факторам, определяющим процессы почвенной эрозии, следует отнести палеоклиматические характеристики (характеристики климата прошлого), определяющие современный состав и свойства почвогрунтов, представленных на территории водосбора [3].

Внутренними источниками питания наносами рек и ручьев являются отложившийся ранее русловой и пойменный аллювий, а также обломочный материал коры выветривания и непосредственно первичные продукты разрушения материнских пород в местах контакта с ними речного потока [1].

Методы. Все методы расчета стока наносов можно разделить на три группы: при наличии, недостаточности и отсутствии материалов наблюдений.

В первом случае количественная оценка стока взвешенных наносов основана на использовании данных о мутности ежедневных единичных проб воды $p_{ед}$ и связи между мутностью единичных проб и средней мутностью реки $p_{ср}=f(p_{ед})$. Перемножив мутность воды на скорость течения, получаем единичный расход [7]. По полученным данным рассчитываются

среднемесячные и суммарные годовые значения стока наносов и определяются его внутригодовые и многолетние изменения. Это основной способ определения стока наносов по сравнительно небольшому числу измеренных расходов взвешенных наносов: 10 - 15 расходов в год. Как правило, величины измеренных расходов взвешенных наносов, его среднемесячные и суммарные годовые значения публикуются в гидрологических ежегодниках. Однако, в отдельные годы на некоторых постах наблюдения отсутствуют.

При недостаточности материалов наблюдений для восстановления рядов используется метод построения зависимостей между расходами наносов и расходами воды $R=f(Q)$. Применение второго способа ограничивается тем, что для построения надежной зависимости между расходами наносов и расходами воды необходимо большое число измеренных расходов наносов. Обычно достаточная частота измерения расходов наносов (20 – 40 в год) бывает только в первые годы работы станции или при проведении гидрометрических работ по специальной программе.

В расположении точек, нанесенных на график зависимости, обычно наблюдается закономерность, позволяющая провести по ним плавную кривую. В отдельных случаях получаются более сложные формы кривой, состоящей из двух и более петель, которые соответствуют паводкам: нижняя ветвь петли – подъему, верхняя – спаду.

Для расчета стока наносов с графика снимают значения средних суточных расходов взвешенных наносов по значениям средних суточных расходов воды. При этом необходимо пользоваться теми участками кривой, которые соответствуют датам определения расходов. Полученные средние суточные расходы наносов суммируются по декадам, после чего вычисляются средние декадные расходы наносов. Годовой сток наносов получается суммированием вычисленных значений стока наносов за все декады года.

При отсутствии материалов наблюдений за стоком взвешенных наносов на исследуемом водотоке все характеристики и параметры твердого стока устанавливаются по рекам-аналогам.

Под рекой-аналогом понимают реку, обеспеченную данными гидрологических наблюдений и находящуюся в схожих условиях формирования стока с рекой, для которой выполняется расчет [14, 15].

При выборе реки-аналога производится оценка и сравнение ведущих факторов, определяющих формирование стока наносов двух рек:

- пространственной структуры колебаний рассматриваемой гидрологической характеристики,
- однотипности стока рек аналогов и исследуемой реки;
- географической близости расположения, уклона и площади водосборов;
- однородности условий формирования стока, сходства климатических условий, однотипности почв (грунтов) и гидрогеологических условий, степени озерности, залесенности, заболоченности и распаханности водосборов;

- средних высот водосборов, экспозиции склонов и гипсометрии;
- факторов, существенно искажающих естественный речной сток (регулирование речного стока, сбросы воды, изъятие стока на орошение и другие нужды).

Самым важным параметром при выборе реки-аналога для расчета стока взвешенных наносов является схожесть почвенных и геологических условий водосбора, поскольку именно они определяют скорость и количество поступающих наносов.

При этом основная характеристика твердого стока – норма годового стока взвешенных наносов – неисследованных рек чаще всего устанавливается по картам средней мутности, а также по интерполяции между изученными бассейнами или створами наблюдений при отнесении мутности к центрам водосборов (1):

$$Q_{s0} = \frac{S_0 M_0 F}{10^6}, \quad (1)$$

где Q_{s0} – средний многолетний расход взвешенных наносов (норма), кг/с; S_0 – средняя многолетняя мутность воды (норма), установленная по карте или по интерполяции, г/м³; M_0 – средний многолетний модуль стока воды (норма) в расчетном створе, л/(с·км²); F – площадь расчетного водосбора, км².

Ранее, при оценке суммарного стока наносов на Камском водохранилище Л. А. Кузнецовой [8], Н. В. Буториным, Н. А. Зиминской и В. П. Курдиным [16] учитывались материалы наблюдений лишь по пяти замыкающим створам. На двух крупных притоках, таких как р. Иньва и р. Яйва измерение мутности с последующими вычислениями расходов взвешенных наносов не проводились. В связи с этим нами предложено использовать данные рек-аналогов. Например, в качестве реки-аналога для р. Яйвы можно использовать р. Косьву. Выбор обоснован тем, что водосборы выбранных водотоков имеют территориальную близость, приблизительно одинаковую площадь (6250 и 6300 км² соответственно), схожесть типов почв (горные лесные бурые и горные подзолистые) и климатических условий. При этом наблюдается высокая теснота связи между среднегодовыми значениями расходов воды рассматриваемых рек (коэффициент корреляции составил 0,84).

Выводы: 1. Основными внешними факторами поступления твердого вещества являются выветривание, почвенная эрозия и денудация, зависящие от климатических условий, литологического состава пород и структуры почв. К внутренним факторам относятся сформировавшийся русловой и пойменный аллювий, а также первичные продукты разрушения материнских пород.

2. Методы расчета стока взвешенных наносов можно разделить на три группы: при наличии, недостаточности и отсутствии материалов наблюдений. Восстановление данных наблюдений за стоком наносов необходимо проводить по зависимостям с постами-аналогами при соблюдении не только требований, предъявляемых к рекам-аналогам, но и с учетом схожести

почвенных и геологических условий водосбора, поскольку именно они определяют скорость и количество поступающих наносов.

Библиографические ссылки

1. Караушев, А.В. Теория и методы расчета речных наносов. / А.В. Караушев. – Л.: 1977. – 271 с.
2. Шмакова, М.В. Оценка заиления водохранилищ по данным о годовом твердом стоке притоков (на примере Сестрорецкого Разлива). / М.В. Шмакова, С.А. Кондратьев // Учен. зап. РГГМУ, 2014. – № 34. – С.134 -141.
3. Шмакова, М.В. Методология решения геоэкологических задач, связанных с оценкой твердого стока водных объектов: дисс. на соискание ученой степени канд. географ. наук. / М.В. Шмакова. – Пермь, 2020. – 313 с.
4. Шамов, Г.И. Речные наносы. / Г.И. Шамов. – Л.: Гидрометеиздат, 1959. – 377 с.
5. Будник, С.В. Районирование территории Крыма по факторам, имеющим преимущественное влияние на формирование стока наносов / С.В. Будник // Вестн Удмуртского ун-та, 2018. – Т. 28. – Вып. 1. – С. 86-90.
6. Цыпленков, А.С. Формирование стока взвешенных наносов в бассейнах малых горных рек: общие закономерности и региональные особенности: дисс. на соискание учен. степ. канд. географ. наук. / А.С. Цыпленков. – М.: 2019. – 160с.
7. Быков, В.Д. Гидрометрия. / В.Д. Быков, А.В. Васильев. – Л.: Гидрометеиздат, 1977. – С. 303-324.
8. Кузнецова, Л.А. Формирование донных отложений равнинных водохранилищ (на примере Камского водохранилища): дисс. на соискание ученой степени канд. географ. наук. / Л.А. Кузнецова. – Пермь, 1981. – 224 с.
9. Тарвердиев, Р.Б. Комплексные исследования водохранилищ. / Р.Б. Тарвердиев. – М.: Изд-во МГУ, 1978 – Вып. 4. – С. 87-94.
10. Поздняков, Ш. Р. Наносы в реках, озерах и водохранилищах в расширенном диапазоне размера частиц: дис. доктор географических наук: 25.00.36 - Геоэкология. / Ш.Р. Поздняков. – СПб.: 2011. – 399 с.
11. Эдельштейн, К.К. Лимнология: учеб. пособие для академического бакалавриата. / К.К. Эдельштейн. – М.: Издательство Юрайт, 2018. – 398 с.
12. Результаты изысканий для обоснования противоэрозионных и противодефляционных мероприятий в Карачаево-Черкесской автономной области / Н.И. Маккавеев [и др.] // Эрозия почв и русловые процессы, 1956. – Вып. 5. – С. 5-45.
13. Лопатин Г.В. Наносы рек СССР. / Г.В. Лопатин. – М: Географиз, 1952. – 367 с.
14. СП 33-101-2003 Свод правил по проектированию и строительству «Определение основных расчетных гидрологических характеристик».
15. Горошков И.Ф. Гидрологические расчёты. / И.Ф. Горошков. – Л.: Гидрометеиздат, 1979. – 432 с.
16. Буторин, Н.В. Донные отложения верхневолжских водохранилищ. / Н.В. Буторин, Н.А. Зиминова, В.П. Курдин. – Л.: Наука, 1975. – 160 с.