

## СООТНОШЕНИЕ КОМПОНЕНТОВ БАЛАНСА НАНОСОВ ДЛЯ БОЛЬШИХ РЕК: ЭРОЗИЯ И АККУМУЛЯЦИЯ, РУСЛОВАЯ И ВОДОСБОРНАЯ ЭРОЗИЯ

**В.А. Иванов, С.Р. Чалов**

*Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова, Москва, Ленинские горы, 1, 119991, Россия, email: [viktoro.1998@yandex.ru](mailto:viktoro.1998@yandex.ru)*

В данной работе представлены результаты исследования баланса наносов крупнейших рек Северной Евразии – Оби, Енисея и Лены. Для расчета водосборной эрозии использовалась модель RUSLE (Revised Universal Soil Loss Equation) и модель Ларионова-Краснова с использованием цифровой модели рельефа GMTED 2010 с разрешением 250 м. Русловая эрозия была оценена на основе сравнения разновременных космоснимков интегрированной с оценкой высоты берега, полученной по цифровой модели рельефа ArcticDEM. Сток наносов был оценен по данным мониторинга мутности воды Росгидромет с 1936 по 2021 год. Аккумуляция наносов в бассейне была рассчитана как разница между эрозией на водосборе и стоком наносов в устьевом створе. Данный подход позволил численно оценить все основные потоки вещества в единицах тонн в год, что дает новое понимание соотношения скоростей данных процессов для водосборов больших рек.

**Ключевые слова:** русловые процессы; дистанционное зондирование; Сибирь.

Развитие эрозионно-русловых систем связано с тремя неразрывными процессами переноса вещества: эрозией, транспортом и аккумуляцией речных наносов [1]. Наносы, поступающие в речную сеть, и последующее перемещение частиц от источника к стоку определяются комплексом природных и антропогенных процессов, которые изменяются во времени и неравномерно распределяются по речному бассейну. Существенной частью количественного описания этих процессов является определение баланса наносов, который является одним из наиболее важных параметров эрозии и осаждения водосбора.

Используя методы численного моделирования почвенной эрозии при помощи моделей, чей принцип работы основан на решении универсального Уравнения Потери Почв [2], была рассчитана бассейновая эрозия для водосборов рек Обь, Енисей, Лена. Так, для водосбора Оби суммарная бассейновая эрозия составила 1 471 000 000 тонн в год (1471 Мт/год), для Енисея 882 Мт/год, для Лены 880 Мт/год. Объем русловой эрозии был получен через расчет площадей русловых деформаций, которые была оце-

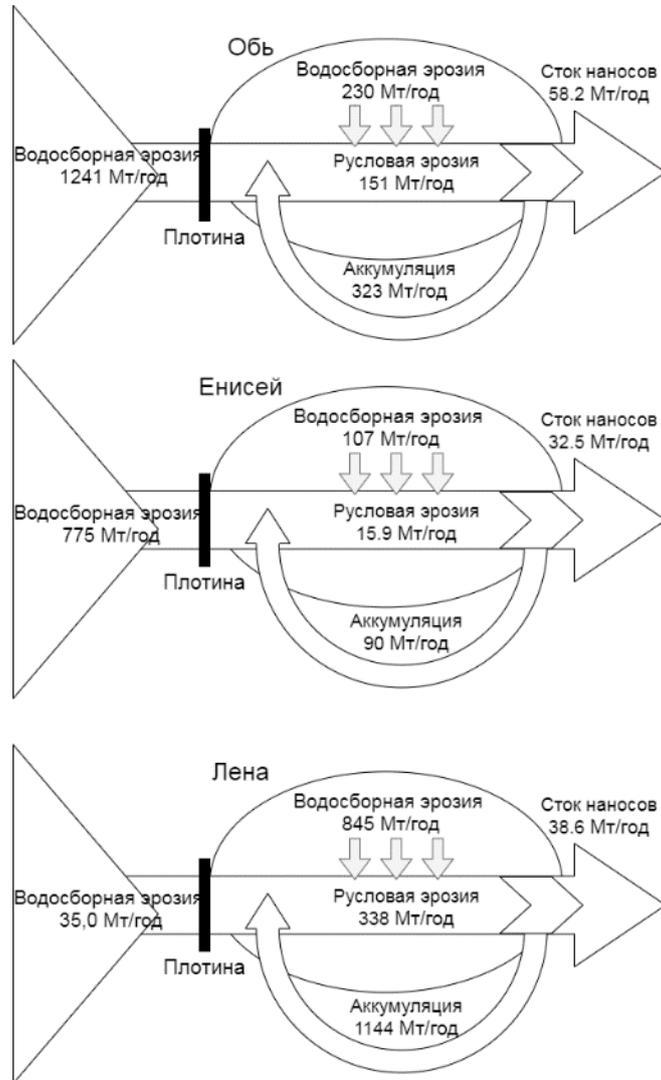
нена при помощи сравнения данных спутниковых снимков Landsat при помощи ресурса GSWE [3], а также цифровой модели рельефа ArcticDEM [4] для получения данных о высоте берегов. Для всех трех рек русловая эрозия была рассчитана для нижних течений рек, севернее 66° с.ш. и составила 151 Мт/год для водосбора Оби, 15,9 Мт/год для р. Енисея, и 338 Мт/год для р. Лены. Сток наносов был оценен по данным мониторинга мутности воды Росгидромет с 1936 по 2021 год. Для р. Обь он составляет 58,2 Мт/год, 32,5 Мт/год, 38,6 Мт/год. Аккумуляция наносов в бассейне была рассчитана как разница между эрозией на водосборе и стоком наносов в устьевом створе, для р. Оби данное значение было оценено как 323 Мт/год, для р. Енисея 90 Мт/год, для р. Лены 1144 Мт/год.

Так, для всех рек объем водосборной эрозии значительно превышает русловую эрозию. Для водосбора р. Обь водосборная эрозия превышает русловую в 10 раз, учитывая только нижнее течение, превышение составляет лишь 1,5 раза; для р. Енисея данные соотношения равны 55 и 6,7 раз; для р. Лены, в связи с отсутствием крупных водохранилищ, не имеет смысла оценка лишь нижнего течения, по всему бассейну водосборная эрозия превышает русловую в 2,6 раз. Такие различия в подобных соотношениях связаны прежде всего с тем, что для р. Енисей наблюдается низкая эрозия берегов (15,9 Мт/год), что связано с врезанным характером русла, где развитие русловых процессов ограничено слабо-размываемыми породами. Также, стоит отметить, что среди трех водосборов Обь имеет значительную сельскохозяйственную освоенность в ее верхнем течении, в отличие от Оби и Енисея. Это приводит к максимальным значениям водосборной эрозии в 1471 Мт/год.

Все вышеуказанные значения отображены в виде схемы (рис.). Стоит отметить, что в данном исследовании водосборная эрозия была рассчитана отдельно для областей выше и ниже крупнейших водохранилищ, что также определено на схеме. Так, для водосборов Оби и Енисея отчетливо прослеживается, что большая часть эрозии почв расположено в верхней части водосборов, где расположены горные участки с большими уклонами, разреженной растительностью и большей сельскохозяйственной нагрузкой. Строительство плотин на данных реках привело к тому, что частицы, переносимые потоком, осаждаются в водохранилищах и не могут быть «доставлены» вниз по течению, что снижает сток наносов и усиливает роль русловой эрозии в нижнем бьефе [5].

Обращаясь к теме аккумуляции наносов на водосборе можно сказать что, расчеты баланса наносов показывают, что лишь небольшая часть общего размываемого материала покидает речные водосборы. При нынеш-

них гидроклиматических условиях около 96–97 % запасов оседает в различных буферных зонах водосбора и речной сети: склонах речных долин, поймах, конусах выноса оврагов.



Расчет компонентов баланса наносов рр. Обь, Енисей, Лена

Приводя данные значения к соотношениям вида (1), коэффициента редукиции стока наносов [6], характеризующего соотношение между эрозией и аккумуляцией,

$$K_{\text{red}} = \frac{W_w + W_{ch}}{W_s} \quad (1)$$

где  $W_w$  – водосборная эрозия,  $W_{ch}$  – русловая эрозия,  $W_s$  – сток наносов, можно получить следующие значения. Для р. Оби  $K_{\text{red}}$  составляет 27,9,

для р. Енисея – 27,6, для р. Лены – 31,6. Если брать в расчет лишь нижние течения рек, ниже всех водохранилищ, то для р. Оби  $K_{red}$  составляет 6,55, для Енисея – 3,78, для р. Лены – 30,6.

**Благодарности.** Работы выполнены при поддержке гранта РФФ №21-17-00181 «Интегральная оценка баланса наносов речной системы р. Лена».

### Библиографические ссылки

1. Эрозионно-русловые системы: монография / Р. С. Чалов, А. Ю. Сидорчук, В. Н. Голосов. Москва: ИНФРА, 2017. 698 р.
2. *Wischmeier W., Smith D.* Predicting rainfall erosion losses: a guide to conservation planning // U.S. Department of Agriculture Handbook No. 537. 1978.
3. High-resolution mapping of global surface water and its long-term changes / J. F. Pekel [et al.] // *Nature*. 2016.
4. ArcticDEM; A Publically Available, High Resolution Elevation Model of the Arctic / P. Morin [et al.] // *Geophysical Research Abstracts*. 2016.
5. *Магрицкий Д. В.* Годовой сток взвешенных наносов российских рек водосбора Северного Ледовитого океана и его антропогенные изменения // *Вестник Московского университета. Серия 5. География*. 2010. С. 17–24.
6. *Алексеевский Н. И.* Формирование и движение речных наносов. Москва: Московский государственный университет, 1998. 202 с.