

УДК 551.4.042(479)

**СОВРЕМЕННЫЕ ЭКЗОГЕННЫЕ ПРОЦЕССЫ В ГОРНЫХ
ЛАНДШАФТАХ УМЕРЕННОГО ПОЯСА СЕВЕРНОЙ ЕВРАЗИИ
И ОЦЕНКА ИХ ДОЛЕВОГО ВКЛАДА В СТОК НАНОСОВ РЕК
ПО МАТЕРИАЛАМ КОСМИЧЕСКИХ СЪЕМОК****О.П. Ермолаев, А.Г. Шарифуллин, В.Н. Голосов, Х.Н. Сафаров***Аннотация**

Роль экзогенных процессов в формировании стока наносов и эволюции склонов в горных ландшафтах изучена недостаточно. Представление об объемах материала, перемещаемого тем или иным агентом денудации, не дает полного ответа об их рельефообразующей деятельности, так как дальность переноса вещества этими процессами неодинакова, поэтому требует тщательной разработки методов их исследования. В изучении экзогенных процессов в последние десятилетия широко применяются аэрокосмические методы исследования. В статье рассмотрены возможности использования этих методов для идентификации спектра экзодинамических процессов на примере горных ландшафтов умеренного пояса Северной Евразии. Приведены легенды и тематические карты с предварительной оценкой вклада различных экзогенных процессов в сток наносов рек.

Ключевые слова: сток наносов, экзогенные процессы, аэрокосмические снимки.

Введение

Горные ландшафты в силу наличия у них экстремально высоких значений энергии рельефа, дискретности почвенного покрова и разнообразия горных пород, высоких скоростей тектонических движений, резкой смены гидроклиматических условий обладают принципиально иными по сравнению с равнинными ландшафтами условиями формирования экзодинамических процессов. Разнообразие комплексного сочетания факторов денудации обуславливает проявление по высотным ландшафтными поясам горных стран различного спектра экзогенных процессов. Так, уже более ста лет назад исследователи обратили внимание на происходящие в ледниковой зоне гляциальные процессы [1–3]. Данные, количественно характеризующие гляциальные процессы, содержатся в работах В.Д. Панова [4], В.А. Растворовой [5], М. МакКлина и др. [6], А. Годарда [7]. Другим распространённым типом склоновых процессов в нивально-гляциальном поясе гор является солифлюкция. В высокогорных и среднегорных ландшафтах преобладают лавинообразование, оползни и обвально-осыпные процессы, способствующие формированию здесь разрушительных селей [8–13]. Значимую роль в преобразовании рельефа низкогорного пояса, традиционно более значительно трансформированного благодаря деятельности

* Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда (проект № 15-17-10008).

человека, играют эрозионно-аккумулятивные процессы. В первую очередь это овражная эрозия, а также плоскостной смыв и линейные размывы [14–16]. Средняя интенсивность осыпания на Чаткальском хребте (Тянь-Шань), по В.Н. Голосову и А.В. Панину [17], достигает $1.5\text{--}2.0 \text{ кг/м}^2\cdot\text{сут}$.

Согласно исследованиям Н.В. Хмелевой и др. [18], осыпание в бассейнах рек Гега и Жозквара составляет 7.29 м^3 (с площади 227.6 тыс. м^2) и 0.30 м^3 (с площади 13.8 тыс. м^2). Темпы смыва почв в бедлендах полупустынной зоны Южного Дагестана по Г.А. Ларионову [19] достигают $5.3\text{--}6.8 \text{ мм/год}$ независимо от крутизны склона. В работе О. Коруца и других исследователей [20] показано, что оползни в хвойных лесах Ландвассерской долины приводят к общему снижению территории на 1 м за 8450 лет (среднегодовой снос – 0.12 мм/год). В исследованиях Н. Матцуоки [21], проведенных в перигляциальной зоне Швейцарских Альп, величина поверхностных скоростей солифлюкции составила $1.3\text{--}3.4 \text{ см/год}$. В последние годы объем количественных данных о темпах различных экзогенных процессов в горах заметно увеличился благодаря использованию новых методов исследования. В то же время мало работ по пространственному анализу развития денудационных процессов в горах с оценкой их долевого вклада в сток наносов рек. Это обусловлено как сложностью организации наблюдений, так и высокими затратами на проведение подобного мониторинга.

Тем не менее есть некоторые количественные оценки долевого вклада различных экзогенных процессов в денудацию горных стран. Так, по данным наблюдений М.И. Ивероновой [22], на Тянь-Шанской физико-географической станции в Киргизии, селевой снос является наиболее активным процессом денудации, а его вклад оценивается в среднем в 0.28 мм/год . Особенно больших размеров и мощностей сели достигают в перигляциальной зоне. Вклад других экзогенных процессов (ледниковый транспорт в нивальной зоне, обваливание, осыпание, солифлюкция и дефлюкция в зоне хвойных лесов) в несколько раз меньше. По данным В.А. Хрисанова [23], в суммарных темпах денудации в пределах Северной Осетии доминируют такие процессы, как селевые потоки (0.2 мм/год), ледниковый транспорт (0.17 мм/год) и лавины (0.11 мм/год), приуроченные к нивальной и альпийской зоне, а также зоне хвойных лесов (лавины и сели). На другие экзогенные процессы, по мнению этого автора, приходится менее 10% от общих темпов денудации. Исследования А.А. Ажигирова [14] позволили установить, что ведущими процессами сноса в бассейне реки Бзугу (низкогорно-среднегорная область Западного Кавказа) являются эрозия на оголенных участках (20.7 мм/год), эрозия почв ($0.7\text{--}2.1 \text{ мм/год}$), оползание (2.48 мм/год), химическая денудация (0.014 мм/год) и почвенно-грунтовый крип (0.02 мм/год). В связи с недостаточно полным представлением о структуре, несовершенством методов измерений, небольшим периодом наблюдений и неполнотой сведений об экзогенных процессах, оценки вклада различных денудационных процессов в сток наносов рек являются ориентировочными. Они выполнены, как правило, для бассейнов малых рек [14, 24] и отдельных участков береговой зоны моря [25]. Более детальные исследования проведены в горах западной Норвегии, где для двух малых речных бассейнов удалось выявить долевого вклад в сток наносов реки различных экзогенных процессов [26]. Для одного из бассейнов было выявлено, что за весь 4-летний период наблюдений основной вклад в сток наносов

дают лавины, а боковая эрозия рек, как и привнос материала из притоков, играет подчинённую роль. Иная ситуация наблюдалась в другом бассейне, где вклад различных процессов изменялся год от года. В отдельные годы основным поставщиком наносов были обвальные процессы, снежные лавины и привнос материала из притоков, а вклад боковой эрозии оставался сравнительно неизменным.

Таким образом, можно отметить, что идет накопление данных об интенсивности экзогенных процессов в различных поясах горных стран, а сведений о долевого вкладе экзогенных процессов в формирование стока наносов горных рек по-прежнему крайне мало. Между тем именно оценка вклада различных экзогенных процессов в сток наносов рек позволяет создать целостную картину хода денудации в водосборе, получить результаты, необходимые для решения прикладных задач (заиление водохранилищ, строительство объектов инфраструктуры, развитие сельского хозяйства). В связи с бурным развитием новых методик географических исследований: геоинформационных систем, использования в открытом доступе космических снимков высокого разрешения, глобальных цифровых моделей рельефа, специализированных компьютерных программ обработки данных и пространственного анализа – становится доступным решение задач, связанных с оценкой денудации на больших площадях, включая и такие сложные территории, как горные страны.

Методика исследования

Широкое и повсеместное распространение экзогенных процессов требует тщательной разработки методов их исследования. Для оценки перераспределения материала внутри речного бассейна обычно используется балансовый подход, основанный на количественной оценке объёмов перемещённого и переотложившегося внутри бассейна материала [14, 27–30]. В последние десятилетия в изучении экзогенных процессов важное место приобретают дистанционные методы исследования. Внедрение этих методов значительно расширяет возможности пространственного анализа переформирования рельефа горных стран благодаря возможности выявления площадей распространения различных экзогенных процессов в пределах исследуемой территории. С учётом существующих количественных оценок интенсивности процессов экзодинамики можно дать оценку долевого вклада основных для данного речного бассейна процесса в сток наносов рек. Временные ряды космических снимков создают принципиально новую основу для возможности динамического анализа рельефа [31]. В итоге, интерпретация снимков позволяет создавать различные карты экзогенных процессов.

Нами для оценки долевого вклада различных агентов денудации в сток наносов рек использовался метод, предложенный Д. Тейлером, Э. Рейнардом и др. [31]. Его основу составляет матрица (рис. 1). В первой матрице для каждого процесса, используя информацию по уклонам, полученную по цифровой модели рельефа и залесенности, определяется в относительных величинах интенсивность процесса. В результате по интенсивности экзогенных процессов выделяются три класса: высокая, средняя и низкая. По второй матрице определяется

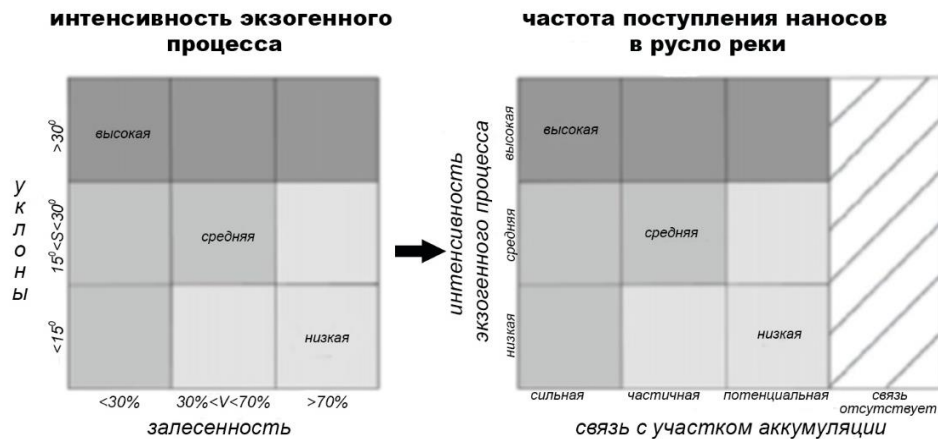


Рис. 1. Определение частоты поступления наносов различными агентами денудации [31]

частота поступления наносов в русло реки с использованием информации по интенсивности процесса, полученной по первой матрице и по связи участков аккумуляции с руслом реки, которая идентифицируется по космическим снимкам. Если выносимый каким-либо экзогенным процессом материал, не аккумулируясь, поступает в русло реки, то связь с руслом реки высокая. Если участок аккумуляции размывается рекой, то связь считается хорошей; при наличии участков аккумуляции, расположенных на большом расстоянии от русла реки (или притока), с возможностью поступления за долгий промежуток времени связи нет.

Предлагаемый подход к оценке процессов денудации горных стран имеет ряд очевидных преимуществ: 1) позволяет оценить различия в темпах денудации в целом для горной страны; 2) даёт возможность установить степень влияния наиболее значимых факторов, определяющих темпы денудации; 3) позволяет оценить относительный вклад различных процессов денудации в сток наносов рек. Достоверность полученных в результате данных определяется продолжительностью наблюдений за стоком наносов на гидрологических створах, уровнем генерализации использованных для анализа картографических материалов, точностью определения темпов различных процессов денудации и разрешающей способностью использованных при дешифрировании космических снимков.

В рамках настоящего исследования было проведено картографирование экзогенных процессов по космическим снимкам высокого разрешения. Для этого было выполнено тематическое дешифрирование, которое включает распознавание и интерпретацию информации, отобразившейся на космическом снимке.

Для распознавания ареалов ведущих экзогенных процессов наиболее удобны увеличенные снимки высокого разрешения с повышенной контрастностью, весенне-летнего залета с малой облачностью. Нами использованы многозональные космические снимки Worldview-2 из открытых источников, полученные в DigitalGlobe, имеющие разрешение 2 м за сентябрь 2011 г.

Прямыми признаками при визуальном дешифрировании процессов экзодинамики служат форма, размер, тон, рисунок (текстура), местоположение. Признаки дешифрирования различны для денудационных и аккумулятивных форм рельефа. Гравитационные процессы характеризуются резкими и лучше распознаваемыми формами обоих типов. При медленных процессах (солифлюкции, делювиальном сносе) распознаются только аккумулятивные формы. Локализация участков почвенной эрозии, имеющих осветленный тон, обычно возрастает с активизацией процессов смыва – от общего площадного осветления при слабом смыве к линейно-площадным ареалам среднего и линейным участкам сильного смыва [31]. Поскольку этот метод дешифрирования зависит от квалификации исследователя, анализ снимка должен проводиться очень тщательно. Дешифрирование снимка по косвенным признакам выполняется на основе информации о наличии или отсутствии связанных с объектом косвенных признаков. Так, границы эродированных почв напрямую связаны с такими факторами почвообразования, как рельеф и растительность. Однако применение этого метода требует глубоких знаний взаимосвязей между используемыми косвенными признаками и самим объектом. Помимо визуальных методов дешифрирования космических снимков, для анализа данных дистанционного зондирования применяются также автоматические методы, реализованные в специальном программном обеспечении. Хотя эти методы и не могут полностью заменить собой традиционные способы дешифрирования, у них есть определённые преимущества, к которым можно отнести повторяемость результатов, определение большого числа оттенков серого цвета, возможность проведения количественного анализа и т. д.

Одновременное получение серии снимков в нескольких зонах видимого спектра позволяет синтезировать цветное изображение, оперативно выбирая наиболее эффективные комбинации зон и цветовую гамму. На многозональных космических снимках достаточно высоко оценивается возможность дифференциации сельскохозяйственных культур, выявление разреженного или густого растительного покрова, являющиеся причиной увеличения спектральной яркости (смытые участки) или обусловленные более низкой отражательной способностью в видимых участках спектра, приуроченных к несмытым или намытым почвам [32].

На основании визуального дешифрирования космических снимков и использования современных компьютерных технологий в базовом масштабе 1:10 000 и 1: 50 000 было выполнено картографирование ведущих экзогенных рельефообразующих процессов на примере бассейна реки Киблай, расположенной в низкогорном поясе Памиро-Алая. Одновременно на этом водосборе проводились мониторинговые наблюдения за внутригодовым выпадением осадков и темпами осыпания на крутых бортах эрозионных врезов. Для оценки темпов осыпания использовался метод шпилек, а также у подножия склонов, на которых проводились наблюдения, устанавливались ловушки, в которые поступал осыпающийся со склонов материал. Подробное описание данной методики приведено в статье [17]. На водосборе проведено также подробное геоморфологическое обследование территории, позволившее установить степень достоверности результатов дешифрирования и составленной на их основании морфодинамической карты исследуемого водосбора.

Табл. 1

Использование земель на территории водосбора Киблаи

Виды землепользования	Площадь, га	%
Пашня	74.0	47.8
Неиспользуемые земли	30.5	19.7
Фруктовый сад	2.0	1.3
Пастбище	35.4	22.9
Кишлак Киблаи и ферма	12.9	8.3
Общая площадь	154.8	100.0

Объект исследования

В качестве объекта исследования выбран водосбор р. Киблаи, который входит в бассейн р. Варзоб и располагается к северо-востоку от столицы Таджикистана г. Душанбе. Площадь части водосбора, для которой проводилось дешифрирование, составляет порядка 1.5 км². Данный водосбор является типичным для низкогорного лёссового пояса Гиссарского хребта на Памиро-Алае, расположенного в диапазоне высот 800–1200 м над уровнем моря. Склоны водосбора имеют различную крутизну, постепенно возрастающую от истоков по направлению к устью, а их протяжённость составляет от 50 до 250 м. Относительно более пологие склоны с крутизной 3–8% расчленены сетью хорошо выраженных в рельефе ложбин, по которым происходит концентрация стока. Далее сток поступает по притокам и небольшим донным врезам, сформировавшимся в днищах крупных ложбин, в основной водоток. Основной водоток врезается в толщу лёссов, мощность которых здесь составляет не менее 40 м. Относительно пологие склоны используются в сельском хозяйстве преимущественно в качестве пахотных земель. Часть участков, ранее распаханых, в настоящее время заброшены. Более крутые склоны в различной степени задернованы и используются в качестве пашни. Остальные типы землепользования представлены в табл. 1. Почвы исследуемого водосбора горные, коричнево-карбонатные, с разной степенью смывости. Согласно, многолетним наблюдениям по станции Душанбе в среднем выпадает чуть более 600 мм с колебаниями по годам от 380 до 920 мм. Максимум осадков наблюдается в зимне-весенний период (рис. 2), причём в зимние месяцы часть осадков выпадает в виде снега, тогда как в весенне-осенний период – в виде дождей. Периодически выпадающие сильные ливни приводят к формированию склонового стока и смыва, а в ряде случаев и к образованию селевых потоков. Данные мониторинга за осадками непосредственно на водосборе Киблаи указывают на аналогичное внутригодовое распределение осадков с максимумом в зимне-весенние месяцы. При этом период мониторинга (2011–2012 гг.) совпал с относительно более засушливыми годами со слоем осадков 415–460 мм/год. Самый тёплый месяц года – июль со средней температурой 27.5 °С., а самый холодный – январь (–3.1 °С).

Результаты исследования

На космическом снимке в пределах водосбора Киблаи (рис. 3) достаточно отчётливо выделяются линейно вытянутые тонкие формы промоин на склонах,

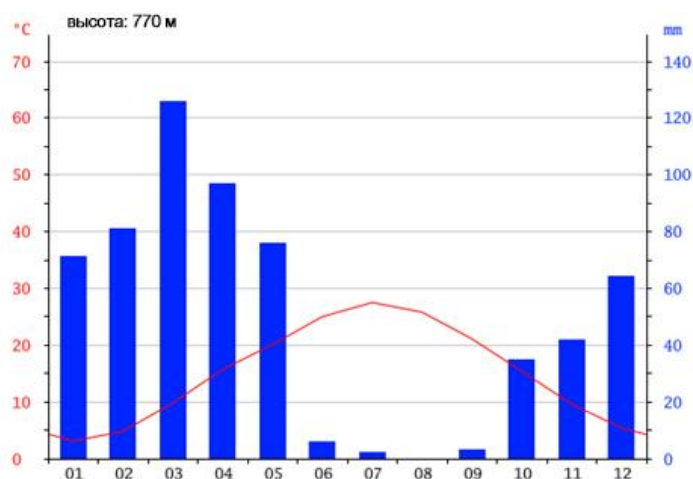


Рис. 2. Среднемесячные внутригодовые ход температуры воздуха и осадков (по данным метеостанции Душанбе)

занятых сильновыбитыми пастбищами. Пастбища с высоким проективным покрытием поверхности почвы отличаются от пашни более густой растительностью, так как на участках пашни в момент съёмки завершен сбор урожая, и на спектрально-зональном снимке эти ареалы имеют красноватый оттенок и неправильную форму. Резко дифференцированными линейными контурами, чёткими границами, извилистыми с древовидным рисунком изображения чётко выделяется овражная система, далее переходящая собственно в долину водотока. Этот водоток образован благодаря вскрытию оврагом горизонта грунтовых вод. Достаточно чётко выделяются склоны с процессами отседания, которые располагаются по левому борту основной долины выше по течению от слияния с крупным правобережным боковым притоком. Тела отседания имеют изометричную форму, нечёткие границы и более тёмный тон в отличие от стенки отрыва и расположены в большинстве случаев в нижней части склона. Осветленные ареалы с однородной структурой изображения на дне оврага идентифицируются как области аккумуляции наносов. Достаточно надёжно по характерным стенкам срыва, формирующим линейный рисунок и изометричную форму, дешифрируются оползневые участки на крутом левобережном склоне.

Была сделана попытка выделить по снимку участки с различной степенью эродированности почв. В основе выделения этих участков лежит такой дешифровочный признак, как тон и расположение на склоне. Так по более светлому тону выделяются почвы различной степени смытости, расположенные на крутых склонах, а по тёмному – намывные почвы в нижней части склона.

На водосборе Киблаи наблюдается интенсивная склоновая эрозия. Центральная часть водосбора прорезана временным водотоком. Борты временного водотока на большом протяжении очень крутые, иногда почти отвесные. Встречаются овражные врезы, развивающиеся по правому борту долины. На междуречных склонах помимо склоновых оврагов имеются несколько сильно деградированных участков, представляющих собой мини-бедленды, расчлененные сетью борозд и промоин. Именно бедленды являются основными поставщиками

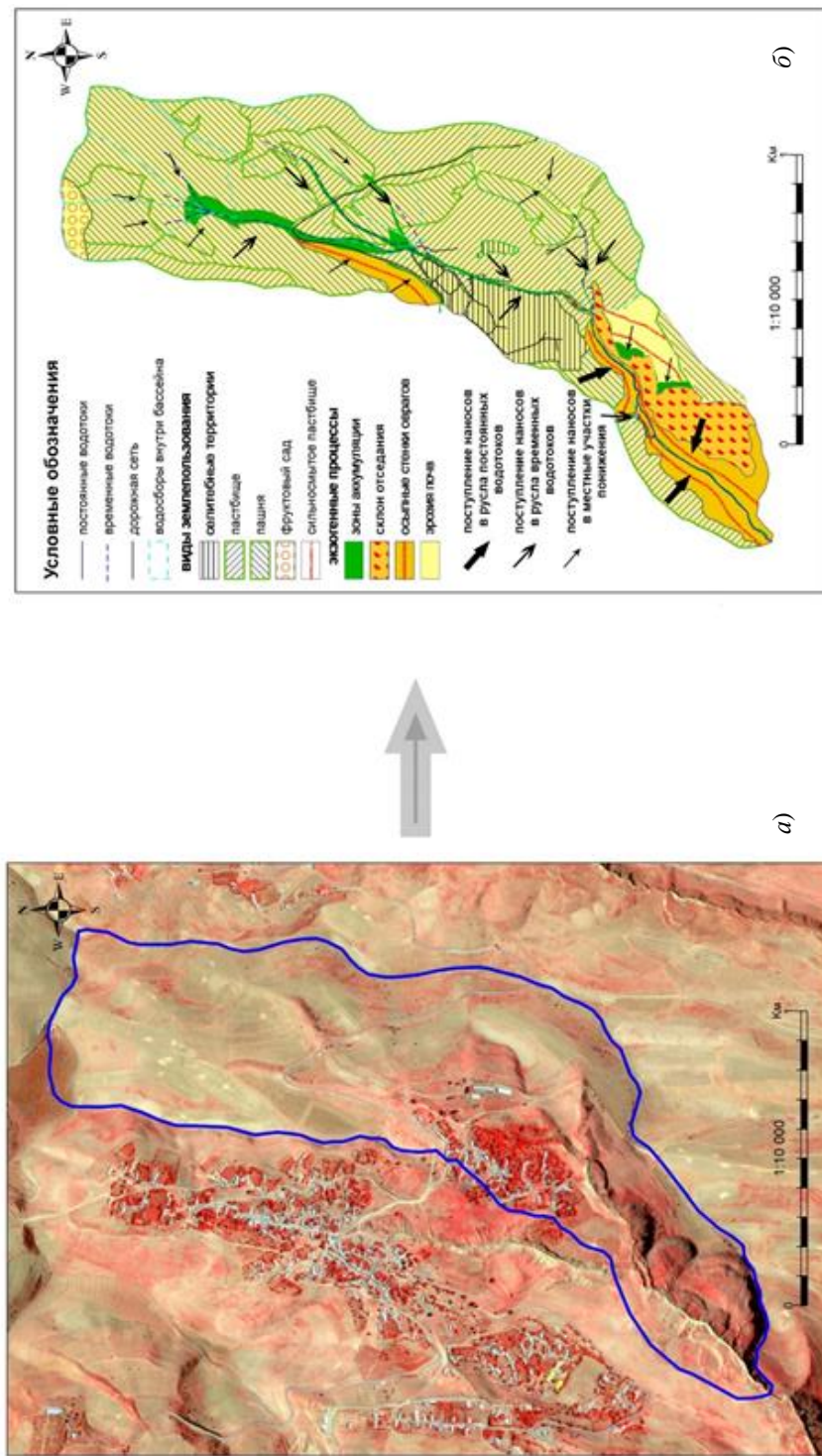


Рис. 3. Водосбор Киблай: *а)* космический снимок территории; *б)* морфодинамическая карта водосбора

наносов, формирующихся на водосборе и аккумулирующихся в днище оврагов. При интенсивных ливнях и снеготаянии наносы поступают в русла крупных рек. При полевом обследовании было выявлено, что небольшие донные врезы, расположенные по тальвегу наиболее крупной ложбины, расположенной в основании большого массива пашни в верхней части водосбора, недостаточно отчетливо видны на снимке в силу пока сравнительно небольших размеров. Большинство остальных участков с проявлениями различных экзогенных процессов было выделено с достаточно высокой точностью.

На основе использования методики [30] было проведено разделение участков водосборов с различными процессами денудации по частоте (вероятности) поступления наносов, формирующихся на данных участках в русло реки (рис. 2). В качестве средних значений интенсивности экзогенных процессов использовались результаты количественных оценок за темпами отдельных экзогенных процессов, выполненных при проведении мониторинга непосредственно на водосборе Киблаи. Кроме того, привлечены материалы по водосбору Бодомо, расположенному в лёссовом низкогорном поясе Гиссарского хребта [15, 16], и данные других авторов, проводивших количественные оценки ряда экзогенных процессов в схожих геолого-геоморфологических и ландшафтно-климатических условиях. Имеющиеся количественные оценки перед применением методики Тейлера пересчитывались в т/га в год.

Процессы осыпания на склонах наблюдались непосредственно на водосборе Киблаи. Частые внутрисуточные переходы через 0°C в зимние месяцы и в марте наряду с таянием снега способствуют достаточно интенсивному развитию осыпных процессов на крутых бортах оврагов и основной долины. Согласно данным наблюдений в среднем за сезон с оголённых стенок осыпается слой мощностью 1.7–2.5 см. Накапливающийся у подножия осыпных склонов материал практически полностью попадает в русла постоянных и временных водотоков и выносится за пределы водосбора. В основном это происходит при формировании селеподобных потоков после интенсивных ливней. Для оценки темпов смыва с пастбищ разной степени выбитости, пашни и фруктового сада привлечены данные, полученные на водосборе Бодомо с использованием радиоизотопного метода и расчётами по эрозионной модели [15, 16] с корректировкой в сторону уменьшения значений в связи с меньшими средними уклонами склонов на водосборе Киблаи. Получены следующие темпы смыва: с пашни - 1480–2220 м³/год, с пастбищ в хорошем состоянии - 30–60 м³/год, с бедлендов – 240–320 м³/год и фруктового сада – 30–40 м³/год. При пересчёте на объёмы перемещаемого материала с единицы площади эти значения оказываются не столь высокими, если их сравнить с объёмами материала, перемещаемого при оползании, отседании и осыпании (0.4–10 тыс. т/га в год) и в целом сопоставимы с объёмами материала, поставляемого другими экзогенными процессами. Однако следует учитывать, что значительная часть продуктов склонового смыва переоткадывается в нижней части склона и только небольшая его часть транспортируется временными потоками в основной водоток. Процессы оползания и отседания, как известно, идут дискретно во времени. Поэтому в момент их проявления оползневые тела и блоки лёссов, срывающиеся со стенок при отседании склонов, непосредственно поступают в днище долины и затем немедленно размываются

потоком. Долю наносов, формирующихся за счёт овражных размывов, достаточно трудно отделить от материала, поступающего за счёт осыпания, но, безусловно, этот материал полностью транспортируется в основное русло.

Заключение

Использование космических снимков высокого разрешения на незалесённых водосборах горных стран умеренного пояса северной Евразии с различными типами землепользования позволяет с достаточно высокой точностью картографировать участки распространения спектра экзогенных процессов, а также идентифицировать области переотложения материала. При наличии материалов об интенсивности проявления каждого из выявленных экзогенных процессов в данном высотном поясе гор появляется возможность оценки их вклада в денудацию и в сток наносов рек, дренирующих данную территорию. Точность подобных оценок зависит от достоверности количественных данных о темпах различных процессов и детальности составления морфодинамической карты, отражающей пути перемещения потоков перемещаемого материала с учётом местного переотложения.

Для исследованного водосбора Киблаи основная часть наносов, формирующих сток реки, образуется за счёт материала, поступающего при осыпании склонов и развития овражной эрозии. В периоды интенсификации процессов денудации, вызванной выпадением экстремально сильных ливней высокой интенсивности и/или при землетрясениях высокой магнитуды, наиболее значительный вклад в формирование стока наносов вносят процессы оползания и отседания склонов.

Предложенный в настоящей работе подход – начальный этап в разработке методов количественной оценки долевого вклада различных экзогенных процессов в сток наносов рек различных высотных поясов гор на основе совместного использования результатов дешифрирования космических снимков высокого разрешения, анализа путей перемещения материала, формирующегося при проявлении различных экзогенных процессов и обобщённых данных о темпах данных процессов в определённом высотном поясе горных стран.

Литература

1. Хатисян Г.С. Казбекские ледники в период с 1862 по 1887 г. // Изв. Рус. геогр. о-ва. – 1888 (1889). – Т. XXIV, Вып. 5. – С. 326–347.
2. Висковатов А.А. О периодическом Казбекском завале // Изв. Кавказ. отд. Рус. геогр. о-ва. – 1864. – Вып. 6. – С. 12–29.
3. Динник Н.Я. Современные и древние ледники Кавказа. – Нальчик: Изд-во: М. и В. Котляровых, 2010. – 120 с.
4. Панов В.Д. Ледники бассейна р. Терека. – Л.: Гидрометеиздат, 1971. – 296 с.
5. Растворова В.А. Формирование рельефа гор. – М.: Наука, 1973. – 144 с.
6. Macklin M., Brewer P.A., Hudson-Edwards K.A., Coulthard T.J., Dennis I.A., Lechler P.J., Miller J.R., Turner J.N. A geomorphological-geochemical approach to river basin management in mining-affected rivers // James L.A., Marcus W.A. (Eds.). The Human Role in Changing Fluvial Systems. Proc. 37th Int. Binghamton Geomorphology Symp. – 2006. – V. 79. – P. 423–447.

7. *Godard A.* Recherches en géomorphologie en Écosse du Nord-Ouest: Thèse principale pour le doctoral d'État, – Paris, 1965. – 701 p.
8. *Залиханов М.Ч., Гутиев А.В., Усатииков Н.И.* Лавинная опасность долин рек Баддон и Гизельдон // Труды Высокогор. геофиз. ин-та. – Л.: Гидрометеоздат, 1969. – Вып. 15. – С. 46–52.
9. *Тушинский Г.К.* Ледники, снежники, лавины СССР. – М.: Географгиз, 1963. – 126 с.
10. *Беляев Г.К.* Очерк развития рельефа Северо-Осетинской АССР. – Орджоникидзе, 1962. – 96 с.
11. *Zhang Q., Chen G.Y., Su B.D., Disse M., Jiang T., Xu, C.-Y.* Periodicity of sediment load and runoff in the Yangtze River basin and possible impacts of climatic changes and human activities // *Hydrol. Sci. J.* – 2008. – V. 53, No 2. – P. 457–465.
12. *Steinkogler W., Sovillaa B., Lehning M.* Influence of snow cover properties on avalanche dynamics // *Cold Reg. Sci. Technol.* – 2014. – V. 97. – P. 121–131.
13. *Агибалова В.В., Хрисанов С.А.* Современные геоморфологические процессы Цейского ущелья (Северная Осетия) и их влияние на использование природных ресурсов // *Изв. Всесоюз. геогр. о-ва.* – Л., 1975. – Т. 107. – С. 232–237.
14. *Ажигиров А.А.* О роли различных денудационных процессов в развитии склонов на северо-западном Кавказе // *Геоморфология.* – 1991. – № 2. – С. 46–51.
15. *Сафаров Х.Н., Маркелов М.В., Голосов В.Н., Вольфграмм Б.* Оценка темпов перераспределения наносов на склонах малого водосбора лёссового пояса Таджикистана на основе использования радиоцезиевого метода // *Геоморфология.* – 2014. – № 1. – С. 53–65.
16. *Иванов М.М., Краснов С.Ф., Беляев В.Р., Сафаров Х.Н.* Оценка темпов плоскостного смыва на малом водосборе в предгорной зоне Каратегинского хребта (центральный Таджикистан) // *Вестн. Моск. ун-та. Сер. 5: География.* – 2014. – № 3. – С. 64–71.
17. *Голосов В.Н., Панин А.В.* Осыпные процессы на склонах оврагов в низкогорной зоне Западного Тянь-Шаня // *Геоморфология.* – 1988. – № 3. – С. 46–50.
18. *Хмелева Н.В., Виноградова Н.Н., Самойлова А.А., Шевченко Б.Ф.* Бассейн горной реки и экзогенные процессы в его пределах (результаты стационарных исследований) / Под. Ред. Проф. Р.С. Чалова. – М.: Геогр. фак. Моск. ун-та, 2000. – 186 с.
19. *Ларионов Г.А.* Эрозия и дефляция почв: основные закономерности и количественные оценки. – М.: Изд-во Моск. ун-та, 1993. – 198 с.
20. *Korup O., Densmore A.L., Schlunegger F.* The role of landslides in mountain range evolution // *Geomorphology.* – 2010. – V. 120, Nos 1–2. – P. 77–90. – doi: 10.1016/j.geomorph.2009.09.017.
21. *Matsuoka N.* Solifluction rates, processes and landforms: a global review // *Earth-Sci. Rev.* – 2001. – V. 55, Nos 1–2. – P. 107–134. – doi: 10.1016/S0012-8252(01)00057-5.
22. *Иверонова М.И.* Опыт количественного анализа процессов современной денудации // *Изв. АН СССР. Сер. геогр.* – 1969. – № 2. – С. 13–24.
23. *Хрисанов В.А.* Масштабы современной денудации Кавказа (на примере Северной Осетии) // *Геоморфология.* – 1979. – № 4. – С. 81–84.
24. *Клюкин А.А.* Баланс наносов в низкогорье Крыма // *Геополитика и зогединамика регионов.* – 2005. – Вып. 2. – С. 49–58.
25. *Сафьянов Г.А.* Расчет баланса наносов в береговой зоне // *Вестн. Моск. ун-та. Сер. 5: География.* – 1969. – № 4. – С. 121–126.
26. *Beylich, A. A., Laute, K.* Sediment sources, spatiotemporal variability and rates of fluvial bedload transport in glacier-connected steep mountain valleys in western Norway (Erdalen

- and Bødalen drainage basins) // *Geomorphology*. – 2015. – V. 228. – P. 552–567. – doi: 10.1016/j.geomorph.2014.10.018.
27. *Алексеевский Н.И.* Формирование и движение речных наносов. – М.: Изд-во Моск. ун-та, 1998. – 202 с.
28. *López-Tarazón J.A., Batalla R.J., Vericat D., Francke T.* The sediment budget of a highly dynamic mesoscale catchment: The River Isábena // *Geomorphology*. – 2012. – V. 138, No 1. – P. 15–28. – doi: 10.1016/j.geomorph.2011.08.020.
29. *Stubblefield A.P., Reuter J.E., Goldman C.R.* Sediment budget for subalpine watersheds, Lake Tahoe, California, USA // *Catena*. – 2009. – V. 76, No 3. – P. 163–172. – doi: 10.1016/j.catena.2008.11.002.
30. *Theler D., Reynard E.* A geomorphological map as a tool for assessing sediment transfer processes in small catchments prone to debris-flows occurrence: a case study in the Bruchi Torrent (Swiss Alps) // *Smith M.J., Paron P., Griffiths J.S.* Geomorphological mapping: methods and applications. – Amsterdam: Elsevier, 2011. – P. 441–456.
31. *Верещака Т.В., Зверев А.Т., Сладкопевцев С.А., Судакова С.С.* Визуальные методы дешифрирования. – М.: Недра, 1990. – 344 с.
32. *Мозжерин В.В., Шарифуллин А.Г.* Оценка современного денудационного снижения гор по данным о стоке взвешенных наносов рек (на примере Тянь-Шаня, Памиро-Алая, Кавказа и Альп) // *Геоморфология*. – 2014. – № 1. – С. 15–23.

Поступила в редакцию
17.04.15

Ермолаев Олег Петрович – доктор географических наук, профессор кафедры ландшафтной экологии, Казанский (Приволжский) федеральный университет, г. Казань, Россия.

E-mail: oyermol@gmail.com

Шарифуллин Айдар Гамисович – ассистент кафедры ландшафтной экологии, Казанский (Приволжский) федеральный университет, г. Казань, Россия.

E-mail: luleo123@mail.ru

Голосов Валентин Николаевич – доктор географических наук, ведущий научный сотрудник НИЛ эрозии почв и русловых процессов им. Н.И. Маккавеева географического факультета, Московский государственный университета имени М.В. Ломоносова, г. Москва, Россия.

E-mail: gollossov@gmail.com

Сафаров Хасан Нагимович – ассистент, Таджикский сельскохозяйственный институт, г. Душанбе, Таджикистан.

E-mail: khasan_81@mail.ru

* * *

**THE RECENT EXOGENOUS PROCESSES IN MOUNTAIN LANDSCAPES
OF THE TEMPERATE ZONE OF NORTHERN EURASIA AND ASSESSMENT
OF THEIR CONTRIBUTION TO THE SEDIMENT LOAD OF RIVERS USING
SATELLITE DATA**

O.P. Ermolaev, A.G. Sharifullin, V.N. Golosov, Kh.N. Safarov

Abstract

The role of exogenous processes in sediment load formation and slope evolution of mountain landscapes is poorly understood. The insight into the volume of materials moved by some denudation agent

falls far short of describing their relief-forming activities. This is due to variation in the distance to which materials are moved as a result of the considered processes. Therefore, careful development of research methods applicable to them is required. Aerospace research methods have been widely used in the recent decades to study exogenous processes. This paper considers possibilities of using these methods for identification of the spectrum of exodynamic processes by the example of mountain landscapes in the temperate zone of Northern Eurasia. Explanatory notes and thematic maps with a preliminary assessment of the contribution of exogenous processes to the sediment load of rivers are provided.

Keywords: sediment load, exogenous processes, satellite images.

References

1. Khatisyan G.S. Kazbek glaciers in the period from 1862 to 1887 years. *Izv. Russ. Geogr. O-va.*, 1888 (1889), vol. XXIV, no. 5, pp. 326–347. (In Russian)
2. Viskovatov A.A. On the periodic Kazbek debris. *Izv. Kavkaz. Otd. Russ. Geogr. O-va.*, 1864, no. 6, pp. 12–29. (In Russian)
3. Dinnik N.Ya. Modern and Antique Caucasus Glaciers. Nalchik, Izd. M. i V. Kotlyarovykh, 2010, 120 p. (In Russian)
4. Panov V.D. Glaciers in the Terek River Basin. Leningrad, Gidrometeoizdat, 1971. 296 p. (In Russian)
5. Rastvorova V.A. Formation of Mountainous Relief. Moscow, Nauka, 1973. 144 p. (In Russian)
6. Macklin M., Brewer P.A., Hudson-Edwards K.A., Coulthard T.J., Dennis I.A., Lechler P.J., Miller J.R., Turner J.N. A geomorphological–geochemical approach to river basin management in mining-affected rivers. *The Human Role in Changing Fluvial Systems. Proc. 37th Int. Binghamton Geomorphol. Symp.*, James L.A., Marcus W.A. (Eds.). 2006, vol. 79, pp. 423–447.
7. Godard A. Recherches en géomorphologie en Écosse du Nord-Ouest: Thèse principale pour le doctoral d'État. Paris, Les Belles Lettres, 1965. 701 p. (In French)
8. Zalikhano M.Ch., Gutiev A.V., Usatkov N.I. Avalanche danger of in the valleys of the Baddon and Gizeldon Rivers. *Tr. Vysokogorn. Geofiz. Inst.*, Leningrad, Gidrometizdat, 1969, vol. 15, pp. 46–52. (In Russian)
9. Tushinskii G. K. Glaciers, Snow, and Avalanches in the USSR. Moscow, Geografiz, 1963. 126 p. (In Russian)
10. Belyaev G.K. Outline of the Relief Development in the North Ossetian ASSR. Ordzhonikidze, 1962. 96 p. (In Russian)
11. Zhang Q., Chen G.Y., Su B.D., Disse M., Jiang T., Xu, C.-Y. Periodicity of sediment load and runoff in the Yangtze River basin and possible impacts of climatic changes and human activities. *Hydrol. Sci. J.*, 2008, vol. 53, no. 2, pp.457–465.
12. Steinkogler W., Sovillaa B., Lehning M. Influence of snow cover properties on avalanche dynamics. *Cold Reg. Sci. Technol.*, 2014, vol. 97, pp. 121–131.
13. Agibalova V.V. Khrisanov S.A. Recent Geomorphological Processes in the Tsey Gorge (North Ossetia) and their impact on the usage of natural resources. *Izv. Vses. Geogr. O-va.*, Leningrad, 1975, vol. 107, 1975. pp. 232–237. (In Russian)
14. Azhigirov A.A. On the role of different denudation processes in the development of the slopes on the North-Western Caucasus. *Geomorfologiya*, 1991, no. 2, pp. 46–51. (In Russian)
15. Safarov Kh.N., Markelov M.V., Golosov V.N., Wolfgramm B. Assessment of the pace of redistribution of sediments on the slopes of a small watershed of the loess belt of Tajikistan through the use of the radiocesium method. *Geomorfologiya*, 2014, no. 1, pp. 53–65. (In Russian)
16. Ivanov M.M., Krasnov S.F., Belyaev V.R., Safarov Kh.N. Assessment of the rainwash pace in the small catchment area in the foothills of the Karateghin Mountain Range (Central Tajikistan). *Vestn. Mosk. Univ., Ser. 5: Geogr.*, 2014, no. 3, pp. 64–71. (In Russian)
17. Golosov V.N., Panin A.V. Talus processes on the slopes of ravines in the low-hill terrains of the Western Tien Shan. *Geomorfologiya*, 1988, no. 3, pp. 46–50. (In Russian)
18. Khmeleva N.V., Vinogradova N.N., Samoilova A.A., Shevchenko B.F. Basin of the Mountain River and Exogenous Processes within It (Results of Stationary Studies), Chalova R.S. (Ed.). Moscow, Geogr. Fak. Mosk. Univ., 2000. 186 p. (In Russian)

19. Larionov G.A. Soil Erosion and Deflation: Basic Patterns and Quantitative Estimations. Moscow, Izd. Mosk. Univer., 1993. 198 p. (In Russian)
20. Korup O., Densmore A.L., Schlunegger F. The role of landslides in mountain range evolution. *Geomorphology*, 2010, vol. 120, nos. 1–2, pp. 77–90. doi: 10.1016/j.geomorph.2009.09.017.
21. Matsuoka N. Solifluction rates, processes and landforms: a global review. *Earth-Sci. Rev.*, 2001, vol. 55, nos. 1–2, pp. 107–134. doi: 10.1016/S0012-8252(01)00057-5.
22. Iveronova M.I. Experience of quantitative analysis of the recent denudation processes. *Izv. Akad. Nauk SSSR, Ser. Geogr.*, 1969, no. 2, pp. 13–24. (In Russian)
23. Khrisanov V.A. The scales of modern denudation in the Caucasus (by the example of North Ossetia). *Geomorfologiya*, 1979, no. 4, pp. 81–84. (In Russian)
24. Klyukin A.A. The balance of deposits in the lowhills of Crimea. *Geopol. Geodin. Reg.*, 2005, vol. 2, pp. 49–58. (In Russian)
25. Saʼyanov G.A. Calculation of sediment balance in the coastal zone. *Vestn. Mosk. Univ., Ser. 5: Geogr.*, 1969, no. 4, pp. 121–126. (In Russian)
26. Beylich, A.A., Laute K. Sediment sources, spatiotemporal variability and rates of fluvial bedload transport in glacier-connected steep mountain valleys in western Norway (Erdalen and Bødalen drainage basins). *Geomorphology*, 2015, vol. 228, pp. 552–567. doi: 10.1016/j.geomorph.2014.10.018.
27. Alekseevskii N.I. Formation and Movement of River Sediments. Moscow, Izd. Mosk. Gos. Univ., 1998. 202 p. (In Russian)
28. López-Tarazón J.A., Batalla R.J., Vericat D., Francke T. The sediment budget of a highly dynamic mesoscale catchment: The River Isábena. *Geomorphology*, 2012, vol. 138, no. 1, pp. 15–28. doi: 10.1016/j.geomorph.2011.08.020.
29. Stubblefield A.P., Reuter J.E., Goldman C.R. Sediment budget for subalpine watersheds, Lake Tahoe, California, USA. *Catena*, 2009, vol. 76, pp. 163–172. doi: 10.1016/j.catena.2008.11.002.
30. Theler D., Reynard E. A geomorphological map as a tool for assessing sediment transfer processes in small catchments prone to debris-flows occurrence: a case study in the Bruchi Torrent (Swiss Alps). *Geomorphological Mapping: Methods and Applications*. Smith M.J., Paron P., Griffiths J.S. Amsterdam, Elsevier, 2011, pp. 441–456.
31. Vereshchaka T.V., Zverev A.T., Sladkopevtsev, S.A., Sudakova S.S. Visual Decoding Methods. Moscow, Nedra, 1990. 344 p. (In Russian)
32. Mozzherin V.V., Sharifullin A.G. Assessment of the current denudation lowering of mountains based on the data on suspended sediment load in rivers (by the example of the Tien Shan, Pamir-Alai, Caucasus, and Alps). *Geomorfologiya*, 2014, no. 1, pp. 15–23. (In Russian)

Received
April 17, 2015

Ermolaev Oleg Petrovich – Doctor of Geography, Professor, Department of Landscape Ecology, Kazan Federal University, Kazan, Russia.

E-mail: oyermol@gmail.com

Sharifullin Aidar Gamisovich – Assistant Lecturer, Department of Landscape Ecology, Kazan Federal University, Kazan, Russia.

E-mail: luleo123@mail.ru

Golosov Valentin Nikolaevich – Doctor of Geography, Leading Research Fellow, Makkaveev Laboratory of Soil Erosion and Fluvial Processes, Faculty of Geography, Moscow State University, Moscow, Russia.

E-mail: gollossov@gmail.com

Safarov Khasan Nagimovich – Assistant Lecturer, Tajik Agrarian University, Dushanbe, Tajikistan.

E-mail: khasan_81@mail.ru