

На правах рукописи

БАЖЕНОВА Ольга Иннокентьевна

**СОВРЕМЕННАЯ ДЕНУДАЦИЯ
В ОСТРОВНЫХ СТЕПЯХ СИБИРИ**

Специальность 25.00.25 - геоморфология и эволюционная география

АВТОРЕФЕРАТ
диссертации на соискание ученой степени
доктора географических наук

Томск – 2011

Работа выполнена в Учреждении Российской Академии наук Институте географии им. В.Б. Сочавы СО РАН

Официальные оппоненты

доктор географических наук,
профессор

Чичагов Валерий Павлович

доктор географических наук,
профессор

Евсеева Нина Степановна

доктор географических наук,
профессор

Махинов Алексей Николаевич

Ведущая организация

Санкт-Петербургский
государственный университет

Защита диссертации состоится 25 ноября 2011 г. в 14-30 часов на заседании диссертационного совета Д 212.267.15 при ФГБОУ ВПО «Национальный исследовательский Томский государственный университет» по адресу: 634050, г. Томск, пр. Ленина, 36.

С диссертацией можно ознакомиться в Научной библиотеке Национального исследовательского Томского государственного университета

Автореферат разослан «___» октября 2011 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета,
кандидат географических наук



В.С. Хромых

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы. Денудация – совокупность процессов сноса продуктов выветривания горных пород, приводящих к выравниванию рельефа и общему понижению земной поверхности [Davis, 1902; Мушкетов, 1926; Щукин, 1960; Четырехязычный..., 1979]. В ходе денудации передача вещества и энергии от одной формы рельефа к другой происходит в результате последовательных взаимодействий процессов, которые вместе образуют сложный механизм. Чтобы познать его, надо изучить всю цепь взаимодействий, из которых он складывается. Раскрытие механизмов денудации – одна из фундаментальных проблем геоморфологии. Их знание позволяет понять сущность процессов экзогенного рельефообразования, объяснить причины изменения рельефа и увидеть морфологические следствия процессов.

Отмечающееся в настоящее время повышение интереса к созданию общей схемы рельефообразования, вызывает необходимость обратиться в нашем исследовании к идее А. Шоллея [1959] об изучении не отдельно взятых форм и процессов, а их взаимодействий – систем эрозии (денудации). В связи с признанием за элементарными геосистемами значения основных ячеек материально-энергетического обмена [Сочава, 1976], в качестве объекта исследования рассматриваются элементарные денудационные системы. На этих небольших по размерам и очень динамичных объектах можно в течение относительно короткого времени проследить всю совокупность изменений, составляющих механизм функционирования денудационных систем. Это достигается постановкой и проведением детальных многолетних стационарных наблюдений за ходом сноса вещества.

Опорной территорией исследования выбраны островные степи предгорных и межгорных равнин юга Сибири. Они являются интересным научным полигоном для изучения процессов денудации, которые отличаются здесь высокими скоростями, доступны для инструментальных измерений, и по данной территории накоплен богатый фактический материал многолетних полевых экспериментальных исследований (рис. 1).

Знания о динамике текущих процессов денудации особую ценность представляют для прогнозных оценок и палеореконструкций эволюции рельефа. Изучение режимов функционирования денудационных систем актуально в условиях отмечающихся изменений климата и природопользования, а также в связи с проблемой опустынивания континентальных районов Внутренней Азии. Поскольку с развитием современных экзогенных рельефообразующих процессов на юге Сибири связан ряд серьезных экологических проблем, таких как эрозия и дефляция почв, деградация земель, миграция загрязнений, заиливание водоемов и др., не менее актуальной представляется экологическая направленность работы.

Цель исследования – выявление основных климатически обусловленных закономерностей пространственно-временной организации процессов современной денудации в островных степях Сибири.

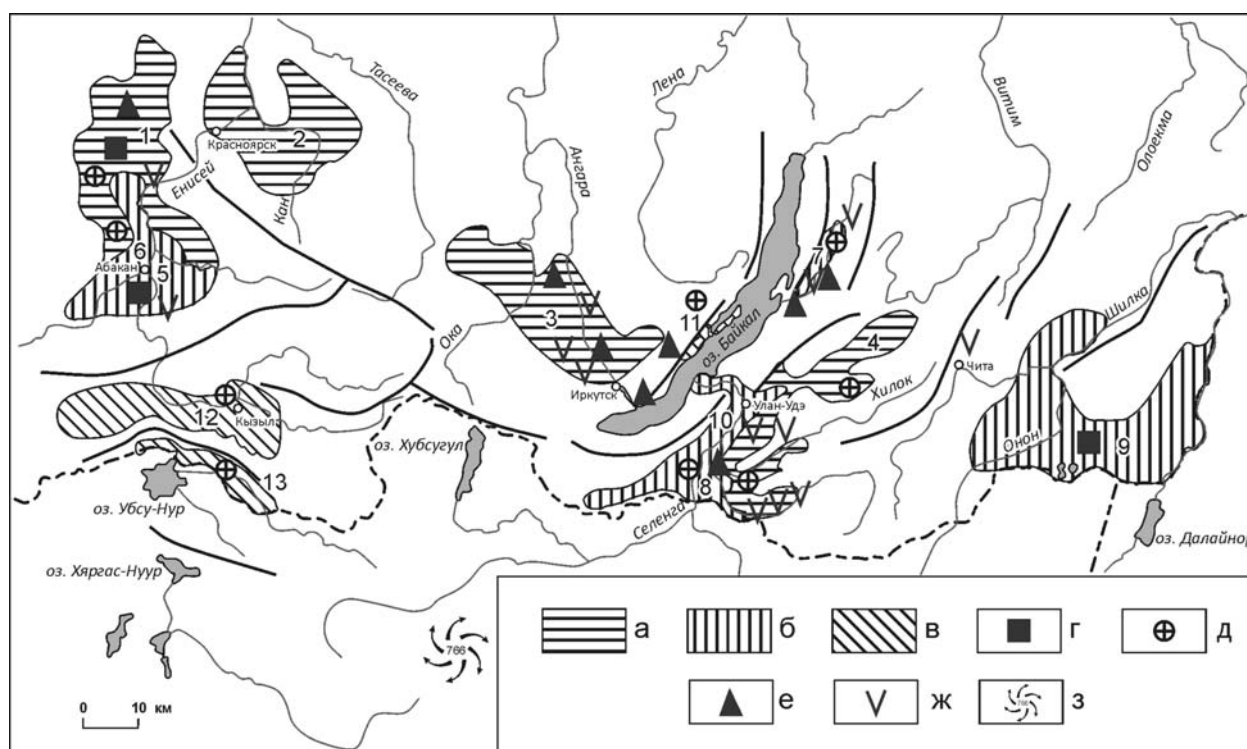


Рис. 1. Расположение лесостепных (а), степных (б) и опустыненно-степных (в) морфоклиматических районов на юге Сибири.

Районы: 1 – Назаровский, 2 – Красноярско-Канский, 3 – Ангаро-Ленский, 4 – Селенгинский, 5 – Койбальский, 6 – Минусинский, 7 – Баргузинский, 8 – Селенгинско-Хилокский, 9 – Онон-Аргунский, 10 – Удинский, 11 – Приольхонский, 12 – Кызылский, 13 – Убсунурский.

г – комплексные географические стационары ИГ СО РАН; участки полустационарных исследований процессов: д – эоловых, е – делювиальных, ж – оврагообразования. з – центр Азиатского антициклона.

Для ее достижения необходимо было решить следующие **задачи**:

1. Рассмотреть особенности пространственной дифференциации современных экзогенных процессов на исследуемой территории.
2. На основе синтеза материалов стационарных исследований процессов и временных климатических рядов Росгидромета изучить временную организованность денудационных систем.
3. Раскрыть ведущие механизмы современной денудации.
4. Определить реакцию денудационных систем на современные климатические изменения и выявить тенденции трансформации режимов их функционирования.
5. Оценить вероятность формирования экстремальных морфоклиматических ситуаций.
6. Изучить влияние хозяйственной деятельности на динамику процессов плоскостной денудации.

Исходные материалы, методика исследований. Исследование базируется на принципах и подходах климатической геоморфологии, так как

именно климат определяет особенности выветривания, набор экзогенных процессов, участвующих в переносе вещества, их постоянство или эпизодичность, темп и соотношение с параллельно или навстречу идущими процессами [Флоренсов, 1983].

В основу работы положены материалы многолетних полевых экспериментальных исследований современных экзогенных процессов, выполнявшихся на комплексных степных физико-географических стационарах Института географии им. В.Б. Сочавы СО РАН несколькими поколениями геоморфологов под руководством профессора Л.Н. Ивановского. Большой вклад в эти исследования внесли З.А. Титова, Э.В. Фриш, И.Н. Рашба, Р.И. Салюкова, Е.М. Тюменцева (Любцова). Автором экспериментальные геоморфологические исследования проводились на трех стационарах: Харанорском (Онон-Аргунская степь) в 1975-1978 гг., Ново-Николаевском (Койбальская степь) в 1979-1980 гг. и Березовском (Назаровская лесостепь) с 1979 по 1995 гг. Привлекались также многочисленные данные полустационарных инструментальных наблюдений. В работе основное внимание уделяется исследованию механической денудации. При обобщении фактического материала, полученного по общепринятой методике, использовался сравнительно-географический метод. Для всех основных морфологических элементов денудационных систем, составляющих морфологическую триаду, определялся баланс рыхлого обломочного материала. В работе использовались опубликованные материалы региональных геоморфологических исследований, дендрохронологические данные, сведения о колебаниях уровней степных озер, данные о строении опорных разрезов коррелятных отложений.

Важное место в работе отводится анализу взаимодействия структуры современных экзогенных процессов и режимов их поведения с многолетними колебаниями тепла и влаги. Совместно с климатологом Г.Н. Мартяновой проведен сопряженный анализ климатических и геоморфологических временных рядов Росгидромета за период 60-105 лет с использованием методов математической статистики. Автором выполнено разномасштабное картографирование динамики рельефа и дана прогнозная оценка интенсивности процессов с помощью эмпирических моделей.

Систематизация материала проводилась в рамках плановых тем Института географии СО РАН и инициативных проектов РФФИ под руководством автора: 94-05-16407а «Пространственно-временной анализ динамики эрозийных процессов юга Восточной Сибири», 99-05-64492 «Климатический анализ современного морфогенеза на юге Сибири» и 02-05-64117 «Оценка состояний криоаридных морфодинамических систем юга Сибири при глобальных изменениях климата». Исследования выполнялись и по интеграционным проектам СО РАН: № 56 «Исследования влияния солнечной активности и антропогенных факторов на глобальные климатические изменения, их проявление в Сибирском регионе и озере Байкал», № 138 «Сибирская геосферно-биосферная программа исследования современных природно-климатических изменений», № 11.3 «Разработка системы комплексной индикации процессов опустынивания и оценка современного состояния экосистем».

Научная новизна работы. В ходе исследования были получены следующие основные результаты, определяющие его новизну.

1. Впервые с системных позиций выполнено обобщение знаний об особенностях денудации в островных степях предгорных и межгорных равнин юга Сибири. Систематизирован богатый фактический материал стационарных исследований современной динамики рельефа.

2. Показана пространственная упорядоченность процессов денудации, которая в островных степях Сибири выражается в последовательном изменении структуры и режима функционирования денудационных систем вдоль векторов аридности и континентальности климата. Получена единая матрица возможных переменных состояний систем, закономерно сменяющих друг друга в пространственном ряду морфоклиматических районов.

3. Исследована временная организация денудационных систем. Разработаны представления о динамических фазах денудации. Созданы картографические модели и принципиальные схемы функционирования денудационных систем, раскрывающие главные связи в системах и показывающие направленность изменения рельефа.

4. Определена реакция денудационных систем на современные климатические и антропогенные изменения. Выявлены масштабы антропогенной трансформации динамики рельефа. Установлены тенденции изменения поведения систем на ближайшую перспективу. Оценена вероятность формирования экстремальных морфоклиматических ситуаций.

Полученные результаты вносят вклад в познание механизмов денудации и выравнивания рельефа внутриконтинентальных районов юга Сибири в условиях непосредственного соседства криогенной и аридной морфоклиматических зон.

Практическая значимость работы. Автором с помощью эмпирических моделей выполнена количественная прогнозная оценка потерь почв от ливневого смыва для основных сельскохозяйственных ареалов юга Восточной Сибири, приуроченных к островным степям. В работе показаны последствия интенсификации эрозионных процессов на обрабатываемых землях и предложены первоочередные мероприятия по снижению их негативного воздействия. Авторские материалы и карты эрозионоопасных земель использованы при разработке «Картографического обеспечения земельного кадастра Иркутской области» (1996), «Экологически ориентированного планирования землепользования в Байкальском регионе (Байкальская природная территория)» (2002). Выявленные закономерности учитывались при создании «Географических и правовых основ организации Байкальского участка всемирного природного наследия» (2006), при рекультивации земель открытой угледобычи (Березовский и Харанорский угольные разрезы).

Полученные материалы нашли применение при крупномасштабном картографировании динамики рельефа, оценке геоморфологического риска при создании линейных инженерных сооружений, при разработке программы действий по борьбе с опустыниванием островных степей юга Сибири.

Интенсивность экзогенных процессов выступает важным показателем состояния окружающей среды. Полученные в работе данные по скорости денудации могут использоваться при решении многих экологических задач. Установленные закономерности распространения и динамики современных геоморфологических процессов, выявленные тенденции их изменения могут служить основой в практике землеустройства и землепользования при проектировании противоэрозионных мероприятий, оценке геоморфологического риска развития процессов, опасных для жизнедеятельности человека, ландшафтном планировании территории.

Апробация работы. Результаты исследований докладывались на Пленумах Геоморфологической Комиссии РАН: XV «Климат, рельеф и деятельность человека» (Казань, 1978), XIX «Экзогенные процессы и окружающая среда» (Казань, 1988), XXVI «Геоморфология Центральной Азии» (Барнаул, 2001), XXVII «Самоорганизация и динамика геоморфосистем» (Томск, 2003), XXVIII «Рельефообразующие процессы: теория, практика, методы исследования» (Новосибирск, 2004) и XXX «Отечественная геоморфология: прошлое, настоящее, будущее» (Санкт-Петербург, 2008), XXX Международном Географическом конгрессе (Глазго, 2004), III–VI Щукинских чтениях: «Экологические аспекты теоретической и прикладной геоморфологии» (Москва, 1995), «Геоморфология на рубеже XXI века» (Москва, 2000) «Новые и традиционные идеи в геоморфологии» (Москва, 2005) и «Геоморфологические процессы и их прикладные аспекты» (Москва, 2010), на Иркутском теоретическом геоморфологическом семинаре (Чтения памяти Н.А. Флоренсова (1988, 1989, 1995, 1999, 2007, 2010), XI–XIII Совещаниях географов Сибири и Дальнего Востока (Иркутск, 2001; Владивосток, 2004; Иркутск, 2007), Симпозиумах «Степи Северной Евразии» (Оренбург, 2009); Чтениях памяти В.Б. Сочавы (Иркутск, 2002) и Д.Д. Базарова (Улан-Удэ, 2002), на международной конференции «Закон Российской Федерации «Об охране озера Байкал» как фактор устойчивого развития Байкальского региона» (Иркутск, 2003), на Всероссийской школе-семинаре «Геоморфология гор и предгорий» (Барнаул, 2002), на научной конференции «Фундаментальные проблемы изучения и использования воды и водных ресурсов» (Иркутск, 2005), на научной конференции, посвященной 125-летию основания ТГУ «Проблемы геологии и географии Сибири» (Томск, 2003), на международной конференции, посвященной 105-летию со дня рождения академика В.Б. Сочавы «Динамика геосистем и оптимизация природопользования» (Иркутск, 2010) и др.

Структура работы. Диссертация состоит из введения, шести глав, заключения и списка использованных источников. Во введении обосновывается актуальность, формулируются цели и задачи исследования, изложена научная новизна и практическая значимость работы. В первой главе дана характеристика островных степей Сибири, раскрыты теоретические предпосылки работы и методы исследования. Во второй главе рассмотрены процессы механической денудации. В третьей главе показаны особенности пространственной климатически обусловленной организации процессов денудации на локальном и региональном уровнях. Четвертая глава раскрывает зако-

номерности внутривековой организации денудационных систем. В пятой главе дается прогнозная оценка трансформации процессов денудации в условиях современных изменений климата и землепользования. Прикладным аспектам изучения современной денудации в островных степях Сибири посвящена шестая глава. В заключении изложены основные выводы.

Работа содержит 371 страницу, включая 77 рисунков, 37 таблиц и 401 использованный источник.

ОСНОВНЫЕ ЗАЩИЩАЕМЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ И РЕЗУЛЬТАТЫ

1. В островных степях Сибири пространственная дифференциация экзогенных процессов определяется сочетанием зональных и провинциальных климатических факторов: с усилением аридности и континентальности климата в структуре денудации последовательно снижается роль дефлюкции, флювиальных процессов и нивации, но повышается участие криогенных процессов, дефляции, увеличивается неравномерность хода процессов во времени.

Островные степи Сибири характеризуются ярко выраженным своеобразием условий денудации. Это своеобразие складывается из внутриконтинентального положения районов, соседства и функциональной связи с Южно-Сибирским горным поясом, нахождения в зоне активного влияния Азиатского антициклона, расположения у южной границы криолитозоны и вдоль северных пределов обширной аридной области Центральной Азии. Восточная часть островных степей периодически испытывает сильное влияние муссонов.

На карте климатического районирования СССР [Григорьев, Будыко, 1959] островные степи Сибири приурочены к территориям, имеющим недостаточное увлажнение, которое между отдельными районами существенно различается. Так, в Назаровском районе средняя многолетняя сумма осадков достигает почти 500 мм, а в опустыненно-степном Приольхонском районе едва превышает 200 мм. С учетом внутривековой изменчивости годовая сумма осадков за период инструментальных наблюдений варьировала от 100 мм в сухой Удинской степи (станции Улан-Удэ, Хоринск, 1946, 1989 гг.) до 820 мм в Ангари-Ленском районе (Иркутск, 1938 г.). По температурным среднегодовым условиям размах колебаний достигает 7 градусов (от 1,8 °С в Койбальском до -5,5 °С в Убсунурском районе). Максимальная среднегодовая температура в островных степях отмечалась в 2002 г. на метеостанции Бея, она составила 4 °С, а минимальная зафиксирована в 1956 г. на метеостанции Эрзин, когда она опускалась ниже -6 °С.

Влияние на морфогенез зональных климатических факторов оценивалась нами с помощью индекса аридности по Кеппену [Баженова, Мартынова, Артеменок, 1999], который варьирует от 0,55 (Назаровская котловина) до 1,28 (Приольхонье). В качестве интегральной климатической характеристики, показывающей степень изменчивости хода экзогенных процессов во времени и отражающей секторные закономерности рельефообразования, взят

коэффициент континентальности Конрада. В островных степях он меняется от 53 до 96, т.е. почти в два раза. Аридность и континентальность – главные характеристики климата, определяющие специфику экзогенного рельефообразования в регионе.

Двумерная ординация районов (по данным метеостанций), в пространстве выбранных климатических параметров выявила последовательное расположение морфоклиматических районов, соответствующее климатическим векторам (рис. 2). С северо-запада на юго-восток закономерно уменьшается увлажненность территории, но повышается аридность и континентальность климата (сухость и морозность).

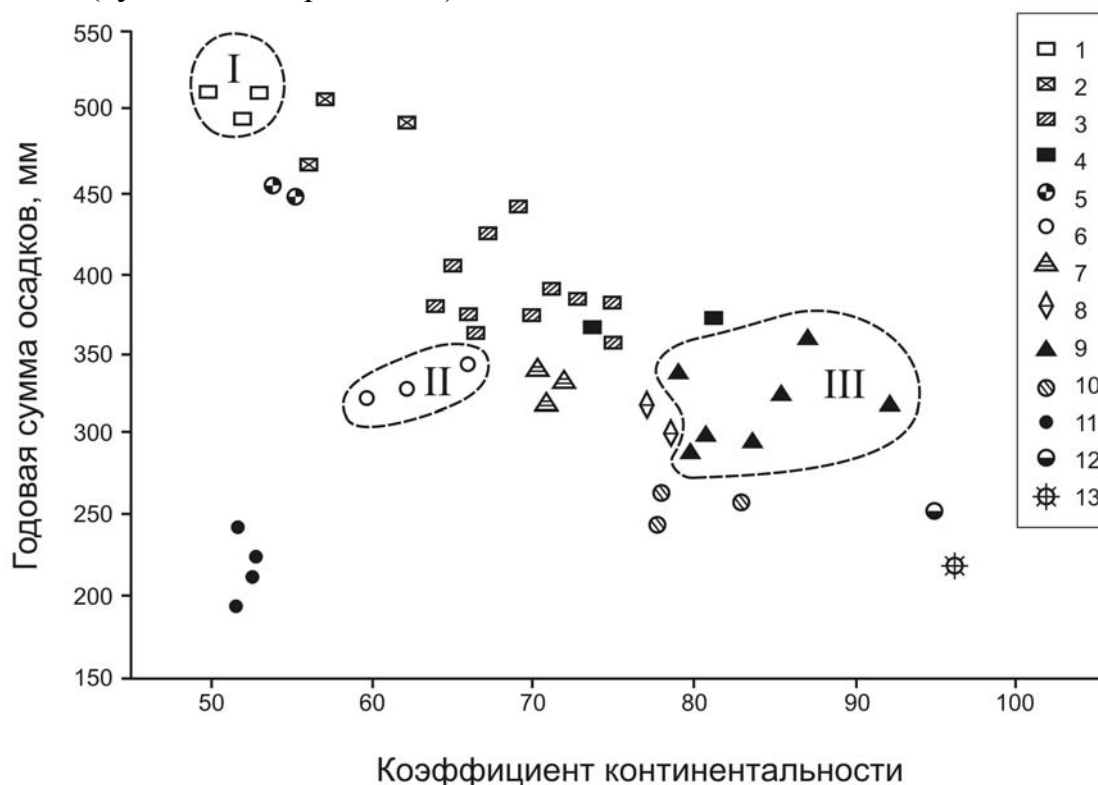


Рис. 2. Ординация морфоклиматических районов (см. рис. 1) в пространстве климатических параметров. I-III – районы детальных исследований.

Значительная изменчивость климата между отдельными районами предопределяет большое разнообразие агентов денудации, их сложное взаимодействие в пространстве и во времени. В условиях недостаточного увлажнения поверхность склонов плохо защищена растительностью, а почвы и грунты под влиянием криогенеза слабо устойчивы к эрозии и дефляции, что инициировало здесь широкое развитие процессов открытой плоскостной денудации.

Для каждого района характерны существенные различия в структуре плоскостной денудации, показывающие индивидуальные особенности морфогенеза. Рассмотрим их более подробно в соответствии с направлением климатических векторов. От лесостепных к опустыненно-степным районам снижаются среднегодовая температура воздуха и годовая сумма атмосферных осадков, но повышается аридность и континентальность, что отражено на графиках (рис. 3). Исключение составляют anomalно теплая и влажная предгорная Койбальская степь (район 5) и anomalно холодная Баргузинская

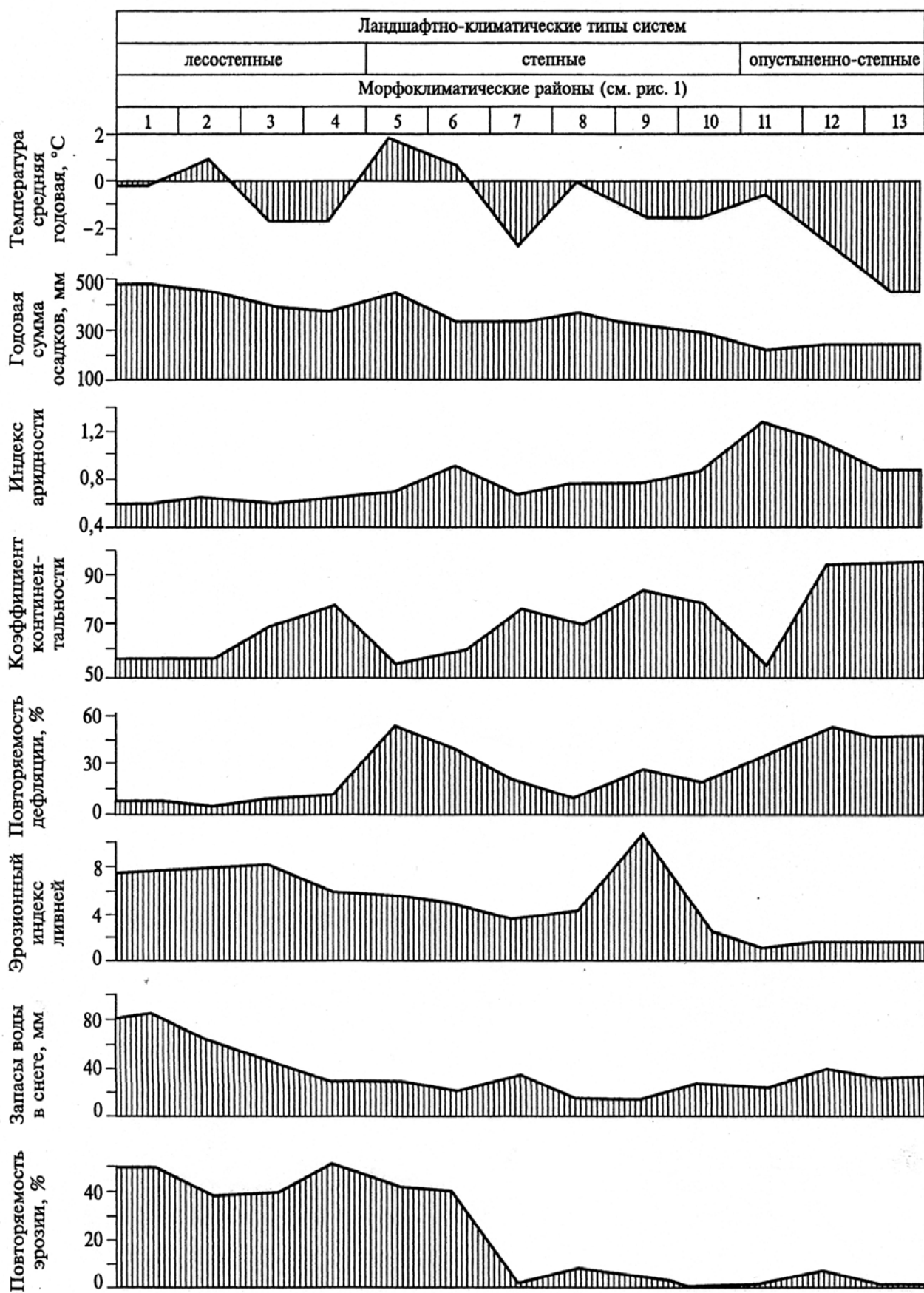


Рис. 3. Влияние климатических факторов на структуру плоскостной денудации в островных степях юга Сибири.

степь (район 7). Повышенной аридностью среди степных морфоклиматических районов выделяется Минусинский район (6), а среди опустыненно-степных – Приольхонский (11), отличающийся максимальной аридностью и минимальной континентальностью климата (см. рис. 3).

Учитывая вероятностный характер проявления экзогенных процессов при оценке роли плоскостной денудации, нами исследовалась повторяемость развития процессов высокой интенсивности [Баженова, Мартыанова, 2004]. Для характеристики эрозионной (флювиальной) деятельности использовалась повторяемость модуля стока взвешенных наносов значимостью более 15 т/км^2 в год. Флювиальные процессы преобладают в структуре денудации в лесостепных и западных степных районах (Койбальский и Минусинский), далее на восток их роль опускается до минимума – в сухостепном Удинском и опустыненно-степном Приольхонском районах (см. рис. 3).

От лесостепей к степям снижается эрозионная опасность ливней. Исключение составляет Онон-Аргунский степной район, для которого характерны максимальные значения эрозионного индекса ливневых осадков, обусловленных муссонным характером дождей (см. рис. 3). Анализ материалов полевых экспериментальных наблюдений за динамикой делювиальных процессов на степных склонах показал, что при равной крутизне склонов скорость смыва возрастает в направлении от опустыненной Приольхонской степи к степям Баргузинской котловины, далее к Назаровской лесостепи и достигает максимума в Онон-Аргунской степи.

Изменение климатических параметров вызывает различия в динамике эоловых процессов. Оценка вероятности развития эоловых процессов высокой интенсивности выявила резкое повышение роли эолового рельефообразования при переходе от лесостепных районов к степным. Степной максимум повторяемости интенсивности дефляции имеет два пика повышения интенсивности. Первый характерен для умеренно континентальных степей западной части пояса, второй – для опустыненно-степных районов.

В структуре денудации наблюдаются заметные различия, связанные с климатически обусловленным изменением состояния рыхлых склоновых отложений, их способностью к медленным массовым смещениям. При одинаковом составе коренных пород в лесостепи образуются продукты выветривания, обладающие более высокой подвижностью, чем в степи, так как они значительно лучше увлажнены и обогащены глинистыми частицами по сравнению с рыхлым чехлом степных склонов. В Назаровской лесостепи высокая подвижность грунтов сочетается с продолжительным периодом дефлюкционного смещения грунтов (3-4 мес. в год) и большой мощностью смещающегося слоя (в среднем 120 см).

В Койбальской степи данные показатели снижаются вдвое. Средние скорости дефлюкции в лесостепи достигают 2,6-8 мм/год, а в степи – 0,7-1,5 мм/год [Баженова, 1982; Рашба, 1976]. При дальнейшем понижении увлажненности грунтов, их опесчанивании, уменьшении плотности (Приольхонье) скорость массового смещения склонового чехла падает до 0,6-0,8 мм/год, а мощность смещающегося слоя уменьшается до 25-35 см [Агафонов, 2001].

С понижением увлажненности территории и сокращением доли зимних осадков в рельефообразовании снижается участие нивации. Но с ростом континентальности климата в центральной и восточной частях рассматриваемого пояса значительно повышается роль криогенных процессов. По геокриологическому районированию рассматриваемая субаридная территория относится в основном к зоне островного и редко островного распространения многолетнемерзлых пород (ММП) и длительного сезонного промерзания почвогрунтов [Лещиков, 1978; Геокриология СССР, 1989]. ММП характеризуются небольшой мощностью со среднегодовыми температурами $-0,1 \div -1,5$ С. Здесь, у южной границы распространения высокотемпературных ММП, находящихся в неустойчивом термодинамическом состоянии, криогенные процессы отличаются большим разнообразием и повышенной динамичностью. Они включают пучение и морозобойное растрескивание грунта, солифлюкцию, термокарст и термоэрозию, мерзлотную сортировку грунтов, наледообразование.

Таким образом, в пределах островных степей Сибири экзогенные процессы образуют закономерный пространственный ряд коррелирующих систем, изменяющих свою структуру с севера-запада на юго-восток вдоль векторов аридности и континентальности климата. Анализ спектров экзогенных процессов, их интенсивности и направленности воздействия на рельеф показал, что наиболее существенные различия в структуре систем и механизмах денудации отмечаются между лесостепными, степными и опустыненно-степными районами.

Лесостепные системы денудации характеризуются господством флювиальных процессов, которые осуществляют дальний транспорт вещества. Для лесостепных районов свойственна большая глубина долинных врезов и разнообразие типов русловых процессов. Густота овражного расчленения и плотность оврагов здесь выше в 6-10 раз, а средняя скорость линейного прироста оврагов в 3-4 раза по сравнению со степными районами [Салюкова, 1976; Баженова, Любцова, Рыжов, Макаров, 1997; Кожуховский, 2004].

На высокую активность делювиальных процессов в лесостепях указывают хорошо развитые делювиальные шлейфы. Вычисленные по геологическим, археологическим и радиоизотопным данным средние скорости аккумуляции делювия в лесостепях в среднем в 2-4 раза выше, чем в степях [Баженова, 1998]. Лесостепной максимум эрозии предопределен стоком как талых, так и ливневых вод в связи с большим запасом воды в снеге в период снеготаяния и высокой эрозионной опасности ливней (см. рис. 3). Для склонов характерна полосчатость, связанная с развитием деллей.

В лесостепях происходит преимущественно эоловая аккумуляция, о чем свидетельствуют толщи лессов и лессовидных суглинков, в формировании которых участвуют эоловые процессы.

Степные денудационные системы отличаются постоянным чередованием и взаимодействием эрозионных и эоловых процессов [Титова, 1976]. Для них характерен транзит поступающего эолового вещества, перераспределение его внутри системы (между наветренными и подветренными скло-

нами) и вынос за пределы системы при ведущей роли дефляционной составляющей. К морфологическим свидетельствам этих процессов относятся: асимметрия склонов, дефляционная моделировка седловин, формирование дефляционных котловин, останцов, грив. В зонах дефляции на степных склонах отмечается поверхностное защебнение, верхние горизонты склоновых отложений обеднены пылеватыми и глинистыми частицами.

Опустыненно-степные системы отличаются господством дефляционной денудации высокой интенсивности. Мощной дефляционной переработке подвержены практически все формы рельефа и верхние горизонты горных пород. В экстраконтинентальных опустыненно-степных системах (Кызылский и Убсунурский районы) дефляция – основной процесс избирательной денудации, приводящий к формированию широко распространенного структурно обусловленного рельефа [Рельеф Алтае-Саянской горной области, 1988]. Следует также отметить коррадирующее воздействие переносимых ветром частиц песка, в результате которого в гранитах образуются ниши пескоструйного выдувания (тафони). По данным С.Д. Кужугет [2005], дефляционный рельеф этих районов представлен лунковыми и ячеистыми песками, котловинами выдувания, дефляционными коридорами. В функционировании систем принимают активное участие криогенные процессы.

Дефляционный тип денудации характерен и для умеренно континентальных прибайкальских опустыненно-степных систем (Приольхонский район). Здесь дефляция создала своеобразный ложинно-грядовый рельеф с замкнутыми котловинами выдувания, которые группируются в линейные депрессии. Следы длительного эолового воздействия на рельеф и горные породы проявляются в каменистой отмостке, в распространении ветрогранников, в формировании эоловых россыпей железомарганцевых и титановых руд [Тайсаев, 1982, 1999; Акулов, Агафонов, 2007].

С возрастанием аридности климата в опустыненных степях отмечается последовательное снижение активности эрозионных процессов (см. рис. 3). Но в отдельные годы редкой повторяемости здесь возникают кратковременные бурные водные и даже селевые потоки, играющие важную рельефообразующую роль. Характерная особенность опустыненно-степных систем заключается в формировании областей внутреннего стока, в которых деятельность водных потоков в основном направлена на выравнивание рельефа, так как практически весь материал, даже в экстремально влажные годы, остается в бессточных бассейнах.

2. Поведение денудационных систем во времени характеризуется сменой их переменных состояний, обусловленных определенным сочетанием климатических показателей и проявляющихся в особом соотношении динамических, литологических и морфологических параметров экзогенного морфогенеза.

Состояние системы, т.е. ее качество, которое описывается набором признаков или параметров, сохраняющихся некоторое время – является од-

ним из ключевых понятий в проблеме временной организации геосистем. Согласно Ю.Г. Симонову (1988), весь путь эволюции рельефа можно рассматривать как непрерывную смену разнокачественных состояний различной длительности, характеризующихся единством структуры и функционирования систем. Исходя из этого, при изучении внутривековой организации денудационных систем на траектории их изменения нами находилось такое минимальное количество точек (состояний), которые достоверно и полностью описывают движение системы за вековой период. Управляющим параметром поведения систем в естественных условиях выступает климат [Баженова, Мартыанова, 2002]. Особенно высокая согласованность геоморфологических и климатических изменений выявляется при анализе сглаженных рядов. Установлено, что в разные по сочетанию тепла и влаги годы проявляются характерные геоморфологические процессы с определенным уровнем интенсивности, направлением воздействия на рельеф и распределением по элементам склонов разной экспозиции.

На основе классификации лет по сочетанию тепла и влаги за весь период инструментальных наблюдений по 65 метеостанциям исследуемой территории получена единая матрица возможных переменных состояний систем, закономерно сменяющих друг друга в пространственном ряду островных степей (табл. 1). По тепловым условиям выделены шесть типов градаций – от очень теплых лет до очень холодных. Диапазон изменений увлажнения включает 8 типов градаций – от экстремально сухих до экстремально влажных лет. Эта матрица рассматривается нами в качестве климатической основы типизации состояний денудационных систем.

Важным морфологическим индикатором при диагностике состояний является микро- и нанорельеф, орнаментирующий поверхность степных склонов, днищ падей, долин и озерных котловин. Он представлен положительными (холмики, валики, микрогряды, бугры и др.), отрицательными (воронки, ниши, микророкотловины, трещины, ложбины, микрорусла и др.) и ступенеобразными (террасеты и др.) формами размером от нескольких сантиметров до нескольких метров. Сочетания длительно существующих (многолетних) форм микрорельефа, таких как дюны, бутаны, гидролаколлиты, овраги, делли, нивальные ниши, наледные поляны, карстовые воронки, суффозионные степные блюдца и другие служат визитной карточкой экзогенного морфогенеза на той или иной территории. Наноформы образуют морфологические комплексы, сменяющие друг друга во времени и отражающие смену состояний систем денудации. Выделено пять типов переменных состояний систем.

Аридные состояния формируются в экстремально и аномально сухие годы. Они характеризуются господством эоловых процессов высокой интенсивности в условиях разреженного травостоя и сильного иссушения верхних горизонтов склоновых отложений. Глубокой эоловой переработке подвергаются верхние горизонты отложений вершинных поверхностей, склонов, где увеличи-

вается щебенность, выдуваются соленосные осадки сухих днищ озерных котловин. В структуре микроморфологических комплексов господствуют дефляционные котловины, ложбины, ветровая рябь, ветровые косички, флажки, гряды, дюны, отмечается эоловая переработка бортов и днищ малых эрозионных форм, размеры которых могут уменьшиться в связи с накоплением в них эолового материала.

Для *семиаридных* состояний характерно взаимодействие эоловых и делювиальных процессов, скорость которых близка к средним значениям, свойственным зональным степным системам. Происходит незначительный вынос эолового материала из системы, основная же его часть перераспределяется между наветренными и подветренными склонами. В малых эрозионных формах заметные изменения отмечаются лишь в привершинной части. У подножий склонов постепенно формируются делювиальные шлейфы. Дефляция усиливается также благодаря активной деятельности землероев, которые выбрасывают на поверхность склонов большой объем сыпучего материала, легко подхватываемого ветровым потоком. Семиаридные состояния диагностируются микроморфологическим комплексом, представленным сочетанием эоловых, эрозионных и зоогенных форм при ведущей роли первых.

Семигумидные состояния появляются в основном в умеренно влажные, умеренно теплые или умеренно холодные годы. В это время расширяется спектр процессов и изменяется направленность преобразования склонов. Интенсивность эоловых процессов и зоогенного сноса снижается, а скорость делювиальных процессов и оврагообразования увеличивается. Заметное участие в структуре денудации принимают дефлюкция и нивация. Процессы отличаются средней интенсивностью. В микрорельефе преобладают эрозионные формы.

Гумидные состояния возникают при аномально и экстремально высоком увлажнении в основном в теплые и умеренно теплые годы. Поверхность склонов хорошо защищена растительностью, преобладают процессы медленного массового смещения склонового чехла. При высокой скорости дефлюкции формируются террасеты. Увеличиваются размеры карстовых и суффозионных воронок, нивальных ниш, малых эрозионных форм рельефа. Господствуют процессы флювиальной денудации, при этом резко повышается сток взвешенных наносов за счет склоновой, русловой и овражной эрозии.

Перигляциальные состояния характеризуются значительным повышением в морфогенезе роли криогенных процессов в холодные и очень холодные годы. Их индикаторами служат солифлюкционные валики, мерзлотные сальзы, бугры пучения, полигональный микрорельеф и т.д. Мерзлотной переработке подвергаются склоны и днища малых эрозионных форм. Следы современного глубокого воздействия криогенных процессов на морфолитогенез склонов четко прослеживаются в микроморфологии почв [Семенов, 1978]. Лимитирующим фактором формирования перигляциальных состояний в островных степях Сибири выступает влага.

Таблица 1

Вероятность формирования переменных состояний денудационных систем при различных сочетаниях тепла и влаги
(среднегодовые условия), %

Тепловые условия, °С	Состояние							
	Аридное		Семиаридное		Семигумидное		Гумидное	
			Условия увлажнения (осадки, мм)					
	Экстремально сухие, 100- 150	Аномально сухие, 151- 200	Сухие, 201- 250	Умеренно сухие, 251-350	Умеренно влажные, 351-400	Влажные, 451-500	Аномально влажные, 501-600	Экстремально влажные, > 600
Назаровская лесостепь								
Теплые, 1,1-3,0	-	-	-	6	-	11	-	-
Умеренно теплые +1,0÷-1,0	-	-	-	14	22	11	5	8
Умеренно холодные, -1,1÷-3,0	-	-	-	-	11	6	6	-
Красноярско-Канская лесостепь								
Теплые, 1,1-3,0	-	-	-	9	14	9	7	-
Умеренно теплые +1,0÷-1,0	-	-	-	7	18	12	11	4
Умеренно холодные, -1,1÷-3,0	-	-	-	2	5	-	2	-
Ангаро-Ленская лесостепь								
Умеренно теплые +1,0÷-1,0	-	2	3	20	9	-	-	-
Умеренно холодные, -1,1÷-3,0	-	-	3	30	22	3	2	-
Холодные, -3,1 ÷ -5,0	-	-	-	2	2	2	-	-
Селенгинская лесостепь								
Умеренно теплые +1,0÷-1,0	-	-	2	5	3	2	-	-
Умеренно холодные, -1,1÷-3,0	-	3	16	34	28	2	2	-
Холодные, -3,1 ÷ -5,0	-	-	-	3	-	-	-	-
Койбаловская предгорная степь								
Очень теплые, 3,1-4,0	-	-	-	-	2	-	4	-
Теплые, 1,1-3,0	-	2	4	23	27	6	3	2
Умеренно теплые +1,0÷-1,0	-	-	-	6	17	2	2	-
Минусинская степь								
Теплые, 1,1-3,0	-	-	6	14	2	-	-	-

Умеренно теплые +1,0÷-1,0	2	3	4	40	19	3	-	-
Умеренно холодные, -1,1÷-3,0	-	3	-	3	1	-	-	-
Онон-Аргунская степь								
Умеренно теплые +1,0÷-1,0	-	-	-	2	3	2	-	-
Умеренно холодные, -1,1÷-3,0	-	10	11	43	12	-	-	-
Холодные, -3,1 ÷ -5,0	-	2	7	5	3	-	-	-
Селенгинско-Хилокская степь								
Теплые, 1,1-3,0	-	-	-	2	2	-	-	-
Умеренно теплые +1,0÷-1,0	-	-	13	39	29	5	-	2
Умеренно холодные, -1,1÷-3,0	-	-	2	4	2	-	-	-
Баргузинская степь								
Умеренно теплые +1,0÷-1,0	-	-	-	4	4	-	-	-
Умеренно холодные, -1,1÷-3,0	-	-	4	23	20	2	7	-
Холодные, -3,1 ÷ -5,0	-	-	-	27	9	-	-	-
Удинская сухая степь								
Умеренно теплые +1,0÷-1,0	-	2	3	2	2	-	-	-
Умеренно холодные, -1,1÷-3,0	2	21	24	29	3	-	-	-
Холодные, -3,1 ÷ -5,0	-	3	2	7	-	-	-	-
Приольхонская опустыненная степь								
Теплые, 1,1-3,0	2	2	2	-	-	-	-	-
Умеренно теплые +1,0÷-1,0	16	25	20	20	-	-	-	-
Умеренно холодные, -1,1÷-3,0	-	4	7	2	-	-	-	-
Кзылская опустыненная степь								
Умеренно теплые +1,0÷-1,0	5	-	-	-	-	-	-	-
Умеренно холодные, -1,1÷-3,0	2	20	19	15	-	-	-	-
Холодные, -3,1 ÷ -5,0	-	15	17	7	-	-	-	-
Убсунурская опустыненная степь								
Умеренно холодные, -1,1÷-3,0	-	2	3	-	-	-	-	-
Холодные, -3,1 ÷ -5,0	5	34	15	7	-	-	-	-
Очень холодные, -5,1 ÷ -7,0	2	12	10	10	-	-	-	-

3. Для каждого морфоклиматического района характерна своя упорядоченная во времени смена динамических фаз денудации, составляющих внутривековые циклы. Циклы включают продолжительную зональную фазу интеграции вещества в системе и экстремальные фазы «залпового» выноса вещества из системы.

Установлено, что для каждого степного «острова» юга Сибири характерны не только свои преобладающие сочетания тепла и влаги (см. табл. 1), но и своя четкая последовательность в смене этих соотношений. Каждый район имеет свою структуру климатических колебаний, которая повторяется в климатических циклах различного иерархического уровня [Мартыанова, Харахинова, 1988; Мартыанова, Баженова, 2000; Магда, Зеленова, 2003; Баженова, 2008]. Процессы денудации чувствительны к этим колебаниям. Поэтому в функционировании денудационных систем различного ранга проявляется климатически обусловленная цикличность. Она выражается в последовательном чередовании периодов активного сноса вещества, во время которых рельеф перестраивается, и периодов относительной стабилизации. Части цикла составляют динамические фазы денудации, которые следуют друг за другом в определенном порядке и различаются между собой дальним или ближним транспортом вещества, уровнем интенсивности и структурой процессов, локализацией их воздействия на тот или иной морфологический элемент системы. Процессы, принадлежащие одной фазе, образуют в пространстве парагенетические цепочки. При этом происходит кумуляция энергии рельефообразования на привершинном, склоновом или долинном элементе системы. Структура динамических фаз дает представление о временном инварианте денудационной системы, свойственном тому или иному морфоклиматическому району.

В островных степях юга Сибири региональное развитие получили три типа функционирования денудационных систем, которые иллюстрируют принципиальные схемы, отражающие главные связи в системе и дающие общее представление о механизмах денудации. Схемы включают пять блоков. Первый блок (вход в систему) показывает структуру климатических колебаний, которые дают импульс для движения литодинамических потоков и определяют способ транзита вещества на склонах. Взаимодействие процессов рассматривается во времени, что отражает второй блок модели. Во временном аспекте схема охватывает один денудационный цикл. Цикл подразделяется на части (фазы) неодинаковой продолжительности. Процессы сноса вещества принадлежат к основным динамическим элементам денудационной системы и составляют третий блок модели. Интенсивность процессов показана на схеме высотой столбца, что позволяет проследить изменение относительного участия каждой группы процессов в ходе денудации и сравнить особенности функционирования систем в разных районах.

В результате взаимодействия процессов с формами рельефа на выходе из системы изменяется расход вещества отдельных литодинамических потоков и в целом баланс вещества основных элементов морфологической триады, что иллюстрирует четвертый блок модели. При этом соответствующим

образом изменяется и направленность рельефообразования, которая представлена в пятом замыкающем блоке модели, где в общем (схематичном) виде рассмотрено преобразование элементов морфологической триады за один денудационный цикл. Стрелками и пунктирными линиями показано взаимодействие климатических факторов, процессов и морфологических элементов системы в пределах одной динамической фазы денудационного цикла.

Среднесибирский тип денудации характерен для лесостепных умеренно континентальных предгорных равнин Назаровской котловины (коэффициент континентальности 50, индекс аридности 0,65). Функционирование систем инициируется синхронным ходом тепла и влаги (рис. 4). В течение цикла происходит чередование теплых очень влажных периодов с относительно сухими и холодными. Отличительной особенностью этого типа функционирования является завершение цикла любого иерархического уровня коротким противофазным скачком тепла и влаги. Температурные среднегодовые условия рельефообразования изменяются от $-0,1$ до $2,3$ °C, условия увлажнения варьируют от 300 до 700 мм при средних фоновых зональных семигумидных значениях соответственно $1,1$ °C и 500 мм.

Зональная, наиболее продолжительная фаза интеграции вещества в системе занимает около 70 % времени цикла, характеризуется ближним транспортом вещества с его перераспределением в системе (см. рис. 4). Хотя на степных склонах юго-западной экспозиции в перемещение вовлечен «активный» слой мощностью 5-10, реже 15-26 мм, вынос вещества со склонов незначителен. Средняя скорость делювиального сноса варьирует от 0,03 до 0,8 мм/год на пологих, до 1,5 – 2,0 мм/год на крутых склонах.

Средняя скорость аккумуляции делювия, вычисленная по геологическим, археологическим и радиоизотопным данным древних поселений человека, составляет 0,10-0,41, по данным натурных наблюдений она колеблется от 0,1 до 2,2 мм/год. На лесных склонах господствуют процессы медленного массового смещения склонового чехла.

С ростом увлажненности территории функционирование переходит в новое качественное состояние – *экстремальную гумидную фазу флювиального выноса вещества из системы*, занимающую 8-10 % от продолжительности денудационного цикла. Наибольшее преобразование характерно для днищ долин рек и временных водотоков, в которых наблюдается эрозионный врез.

При снижении атмосферного увлажнения до минимума в *экстремальную аридную фазу* вынос из системы прекращается, отмечается интенсивное выпадение эолового материала, который поступает из соседних степных районов Хакасии и максимально накапливается в верхнем ярусе рельефа (на орографических барьерах). Фаза характеризуется положительным балансом вещества и составляет около 20 % продолжительности цикла.

В завершение цикла при противофазном скачке увлажнения и резком похолодании отмечаются кратковременная вспышка солифлюкции и развитие наледей, способствующие выносу склонового материала в долинный ярус рельефа. В результате функционирования систем данного типа происходит расчленение рельефа.

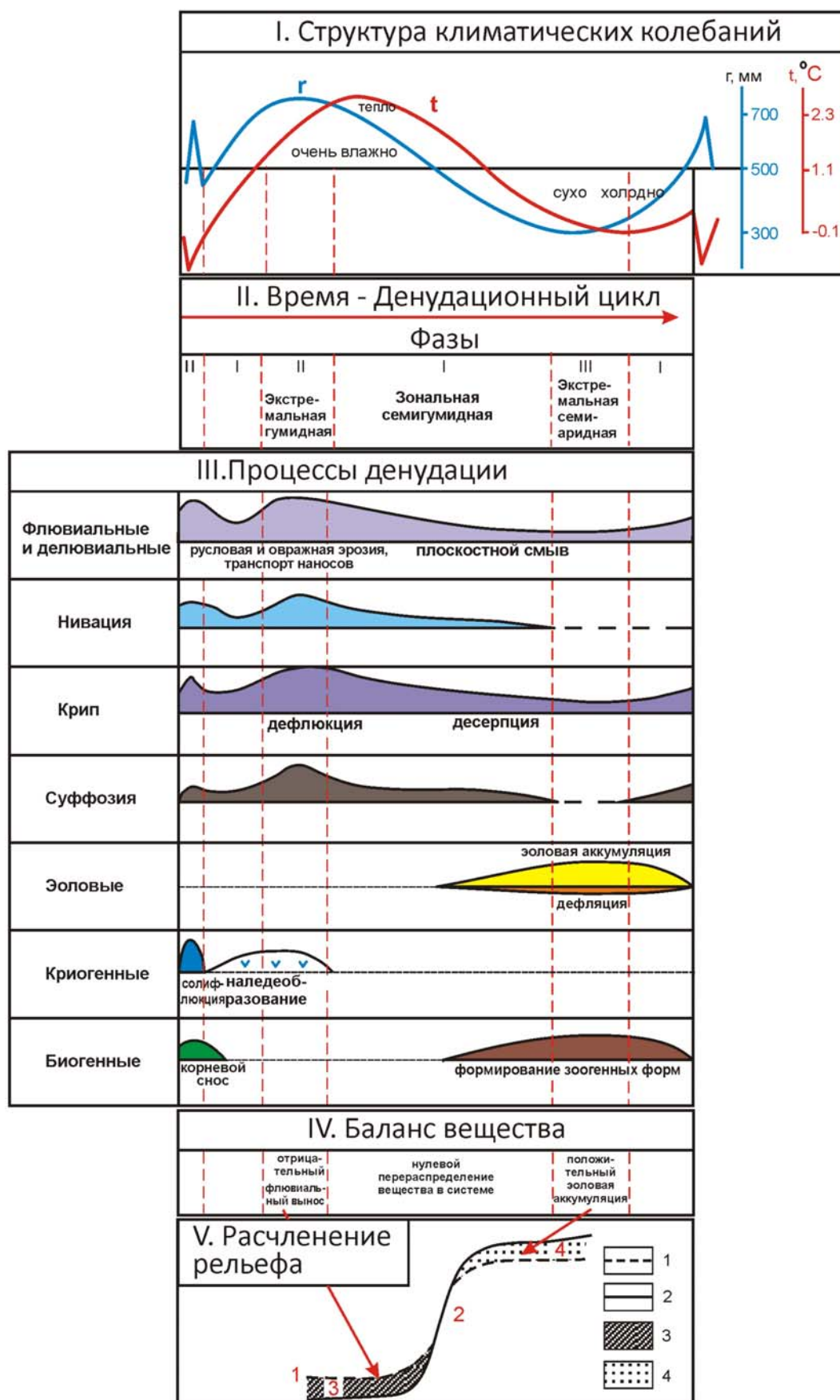


Рис. 4. Принципиальная схема функционирования денудационных систем в Назаровской лесостепи. Циклы: 1 – предыдущий, 2 – последующий. 3 – снос; 4 – аккумуляция.

С повышением ранга системы увеличиваются объемы перемещаемого вещества и длительность денудационного цикла. Для системы склон – делювиальный шлейф характерен 11-летний цикл денудации, а для морфологически однородного участка денудационного склона – 3-5-летний. Установлено, что циклы различного иерархического уровня обладают чертами сходства. Это сходство проявляется в механизме денудации и в последовательности смены фаз внутри циклов.

Минусинский тип денудации характерен для южно-сибирских умеренно континентальных относительно теплых степей Минусинского межгорного понижения ($K_k = 65$, индекс аридности по Кеппену составляет 0,75-1,0). Среднегодовая температура варьирует от 3,0 до -1,0 °С, атмосферное увлажнение от 150 до 450 мм при средних значениях тепла и влаги соответственно 1 °С и 300 мм. Функционирование денудационных систем определяется противофазным ходом тепла и влаги – влажные относительно холодные периоды сменяются очень теплыми и сухими (рис. 5).

Зональная фаза преимущественно ближнего делювиального и эолового транспорта вещества составляет около 70 % продолжительности денудационного цикла, она характеризуется умеренной интенсивностью преобразования поверхности степных склонов. Процессы смыва и дефляции, происходящие соответственно со скоростью 0,2-0,3 и 0,3-0,9 мм/год, постоянно сменяют друг друга во времени и перераспределяют вещество в системе между верхними и нижними элементами склонов, между наветренными и подветренными склонами. Темпы аккумуляции делювиальных шлейфов составляют 0,1-0,7 мм/год, эоловое накопление вещества в среднем происходит со скоростью 0,1-0,2 т/га в год. Для фазы характерна активная роющая деятельность полевок. Наиболее интенсивно полевки перемешивают почву до глубины 30-35 см, в среднем зоогенный вынос рыхлого материала на поверхность степных склонов, по данным О.А. Зайченко [1996], составляет 1-4 т/га в год. В дальнейшем этот материал участвует в ближнем транспорте вещества, так как подхватывается водой и ветром и перераспределяется в системе.

Экстремальная фаза нивально-делювиального и пролювиального выноса вещества со склонов и флювиального транспорта и аккумуляции приурочена к аномально и экстремально влажным холодным периодам. Максимальной денудации подвержены верхние участки склонов северной и северо-восточной экспозиций, на которых морфологически хорошо выражены нивальные ниши. Интенсивность денудации в нишах достигает 2,5 мм/год [Рашба, 1976]. Экстремальный сток взвешенных наносов превышает 140 т/км². В экстремально влажные годы (1966 г.) в результате склонового сноса и флювиального транспорта наносов с гор, в реки поступает огромное количество мелкозема, при этом годовая мутность малых рек достигает 1700 – 9000 г/м³. Реки не могут транспортировать такой объем наносов, начинается их аккумуляция, приводящая к формированию «внутренних дельт», образующих у подножия Западного Саяна наклонные болотистые аллювиальные равнины [Воскресенский, 1968]. Фаза занимает 10-15 % времени цикла.

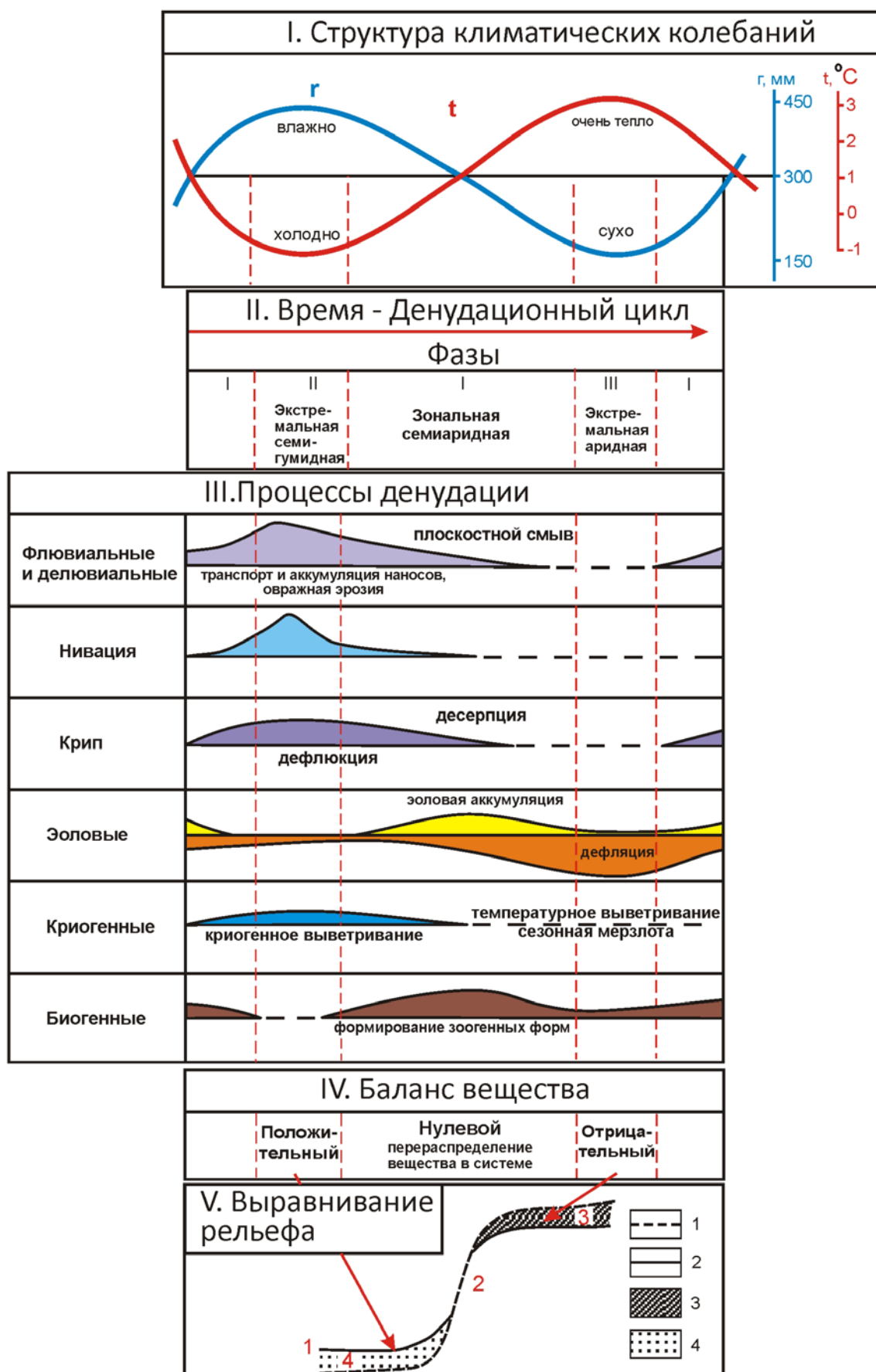


Рис. 5. Принципиальная схема функционирования денудационных систем в степях Минусинской котловины. Циклы: 1 – предыдущий, 2 – последующий. 3 – снос; 4 – аккумуляция.

В связи с интенсивным снижением верхнего яруса рельефа в экстремальные фазы денудационного цикла и накоплением материала в нижнем долинном ярусе, функционирование систем данного типа сопровождается выравниванием рельефа. Этот механизм отражает картографическая модель функционирования денудационных систем, составленная на Красноозерский участок, расположенный на междуречье Абакана и Енисея (рис. 6).

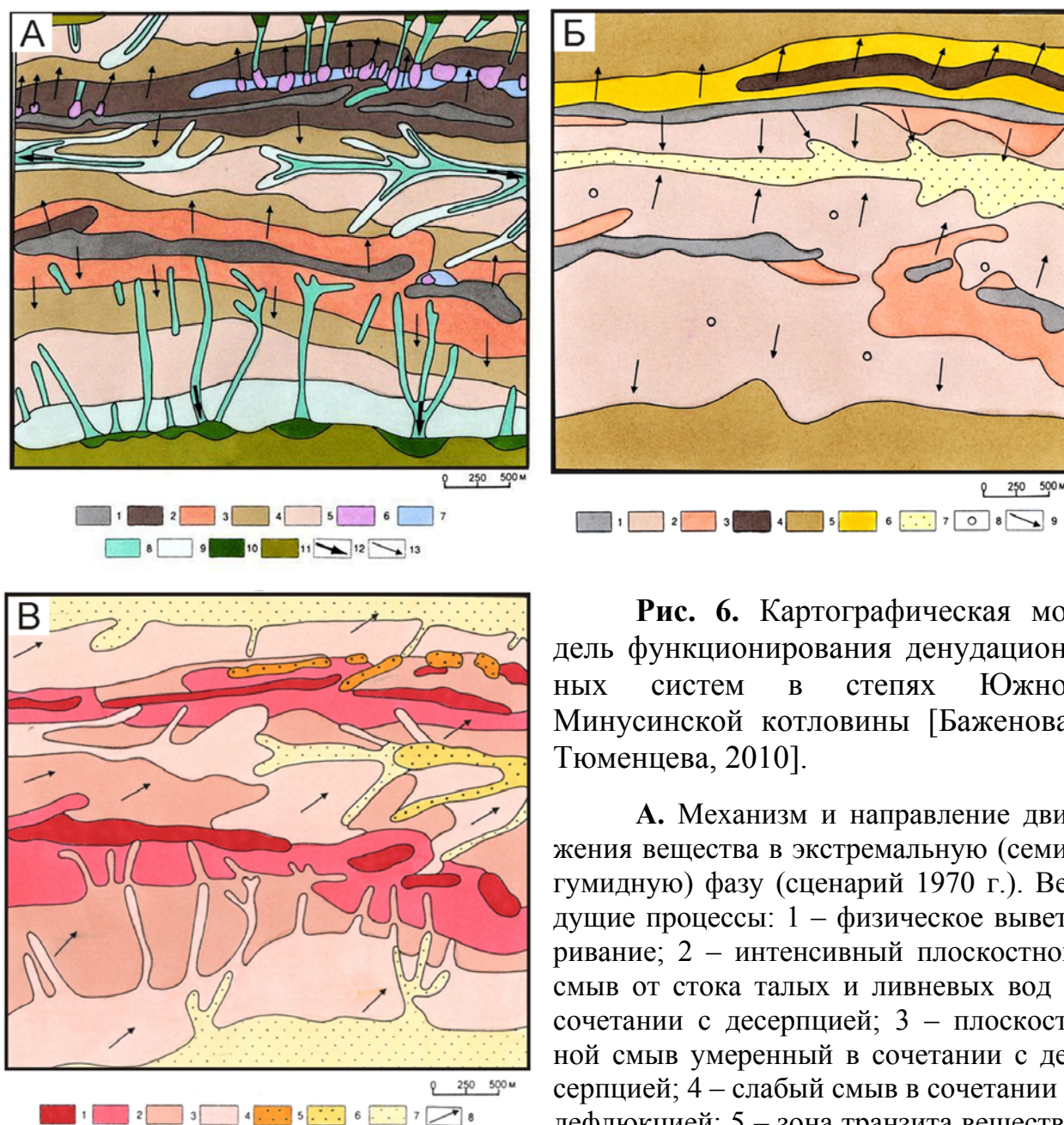


Рис. 6. Картографическая модель функционирования денудационных систем в степях Южно-Минусинской котловины [Баженова, Тюменцева, 2010].

А. Механизм и направление движения вещества в экстремальную (семигумидную) фазу (сценарий 1970 г.). Ведущие процессы: 1 – физическое выветривание; 2 – интенсивный плоскостной смыв от стока талых и ливневых вод в сочетании с десерпцией; 3 – плоскостной смыв умеренный в сочетании с десерпцией; 4 – слабый смыв в сочетании с дефлюкцией; 5 – зона транзита вещества (слабый смыв чередуется с аккумуляцией вещества); 6 – интенсивная нивация в сочетании с дефлюкцией; 7 – дефлюкция в сочетании с нивацией и интенсивным смывом; 8 – интенсивная эрозия временных водотоков в сочетании с дефлюкцией; аккумуляция: 9 – склоновая, 10 – пролювиальная, 11 – пойменная. Направление движения вещества: 12 – основное, 13 – дополнительное.

Б. Механизм преобразования рельефа в зональную фазу цикла (сценарий 1986 г.). Ведущие процессы: 1 – выветривание и умеренная дефляция; 2 – умерен-

ные смыв и дефляция; 3 – слабый смыв и эоловая аккумуляция; 4 – умеренный смыв и линейный размыв в сочетании со слабой дефлюкцией и эоловой аккумуляцией; 5 – слабый смыв в сочетании со слабой дефляцией; 6 – слабая склоновая аккумуляция; 7 – слабая и умеренная эоловая аккумуляция; 8 – участки с интенсивным проявлением роющей деятельности мелких млекопитающих (зоогенный снос); 9 – преобладающее направление движения вещества.

В. Преобразование рельефа в экстремальную (аридную) фазу дефляционного выноса вещества из системы (сценарий 1979 г.). Ведущие процессы: 1 – очень сильная дефляция в сочетании с эоловой коррозией и температурным выветриванием; 2 – сильная дефляция в сочетании с десерпцией и слабым смывом; 3 – умеренная дефляция в сочетании с морозобойным растрескиванием и зоогенным выносом вещества; 4 – слабая дефляция. Эоловая аккумуляция вещества: 5 – сильная; 6 – умеренная; 7 – слабая. 8 – преобладающее направление движения эоловых литопотоков.

Центральноазиатский тип денудации характерен для холодных экстраконтинентальных Онон-Аргунских степей, которые в первом приближении можно считать аналогом перигляциальных степей плейстоцена. Перемещение вещества происходит в условиях повышенной аридности (индекс аридности 0,70-1,0) и крайней континентальности ($K_k = 79-93$), средние годовые температуры отрицательны, они варьируют от $-0,2$ до $-4,2^{\circ}\text{C}$, амплитуды колебания увлажненности близки Минусинским степям (157-457 мм). Для района характерен противофазный ход тепла и влаги – относительно влажные и очень холодные периоды чередуются с сухими и относительно теплыми (рис. 7).

В нормальную (зональную) фазу интеграции вещества происходит обмен веществом и энергией между элементами системы, вынос из системы незначителен (см. рис. 7). Ближний транспорт вещества выражается в максимальном преобразовании склонов. Для фазы характерна четко выраженная корреляция зон смыва, транзита и аккумуляции делювия с морфологическими элементами степных склонов. Снос с привершинных пологих элементов склонов составляет $-0,11...-0,40$ мм/год, на уступах денудационных останцов смыв интенсивный ($-0,70...-1,50$ мм/год), на педиментах, представляющих зону транзита, баланс делювия близок к нулю, и, наконец, в нижней аккумулятивной части формируются делювиальные шлейфы со скоростью $0,3...2,6$ мм/год. С наветренных более крутых склонов северо-западной экспозиции мелкозем переносится в результате эоловой миграции вещества на склоны юго-восточной экспозиции. Для фазы характерно интенсивное морозобойное растрескивание почвогрунтов, способствующее снижению их прочности и повышению податливости к смыву и дефляции.

Резкий рост увлажненности территории дает импульс для перехода системы в новое качественное состояние – *экстремальную перигляциальную фазу дальнего транспорта вещества*. Для фазы характерна резкая активизация солифлюкции и наледообразования. Вынос вещества из системы осуществляется флювиальными потоками, формирующимися в результате таяния родниковых наледей и ливневого стока. В зоне вогнутых перегибов склонов у подножий уступов педиментов «подновляются» мерзлотные забои.

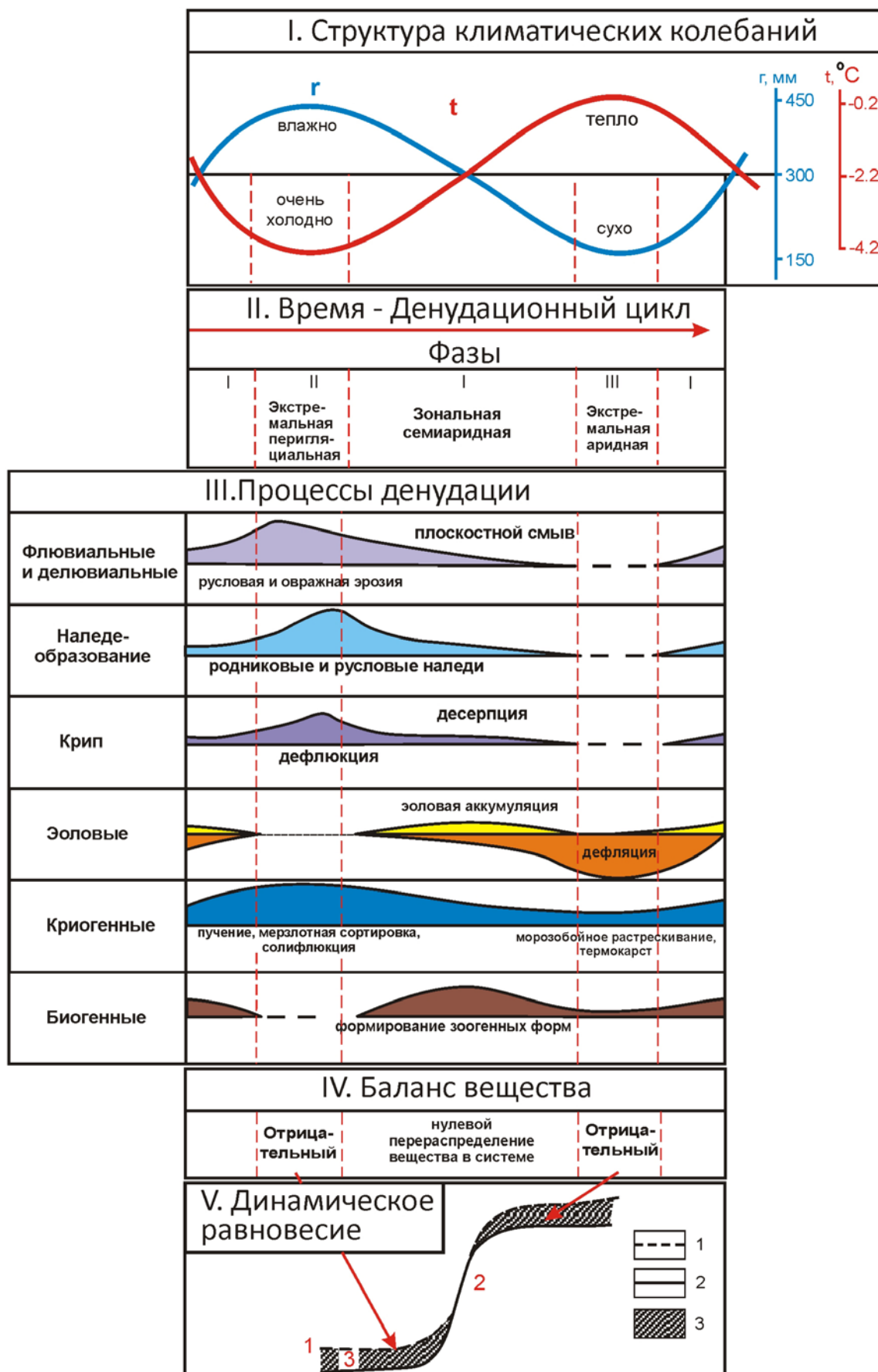


Рис. 7. Принципиальная схема функционирования денудационных систем в Онон-Аргунской степи. Циклы: 1 – предыдущий, 2 – последующий. 3 – снос.

На педиментах активны дефлюкция, плоскостной и струйчатый смыв. Высокий подъем уровня грунтовых вод и массовое развитие наледей практически во всех падях приводят к образованию мерзлотных долинных поясов, при разрушении которых водными потоками выносятся большой объем материала. Объем твердого стока превышает фоновый более чем в 15 раз и достигает 158 т/км². Вынос же из элементарных литосборных бассейнов верхних звеньев гидрографической сети достигает 60-80 т/га.

В период дальнейшего снижения увлажненности региона система вновь возвращается к нормальной зональной фазе интеграции вещества в днище пади и на делювиальных шлейфах. При снижении увлажнения до минимума она вступает в заключительную фазу функционирования – *экстремальную аридную фазу выравнивания рельефа за счет мощной дефляционной денудации*. Механизм выравнивания определяется максимальным эоловым сносом вещества с верхних элементов рельефа, образно говоря, «эоловой шлифовкой» вершин и частичным заполнением эрозионных врезов. При этом структура системы упрощается, так как господствует один процесс – эоловый. Благодаря такому чередованию экстремальных фаз дальнего транспорта вещества с примерно одинаковым объемом удаления вещества с водораздельных и долинных участков в системе сохраняется динамическое равновесие (см. рис. 7).

На примере малого литосборного бассейна создана картографическая модель функционирования денудационных систем в отрогах Нерчинского хребта (рис. 8). Денудационные системы Онон-Аргунской степи функционально связаны с областями внутреннего стока, с флювиальной гиперсистемой р. Амур, куда в перигляциальную фазу денудационного цикла направлен основной поток наносов, а в аридную фазу вещество поступает в область транзита и аккумуляции вещества обширной восточноазиатской эоловой морфодинамической системы.

Таким образом, при прочих равных условиях различные сочетания ландшафтно-климатических параметров могут вызывать в одних случаях расчленение рельефа, в других – выравнивание, а в-третьих, в условиях динамического равновесия денудация сопровождается сохранением морфологического облика рельефа. Кроме этих трех региональных типов денудации, рассмотренных в работе, в семиаридных условиях возможен еще один механизм денудации, выражающийся в дефляционном расчленении рельефа. Данный механизм встречается в Восточной Монголии [Чичагов, 1998] и в Западном Забайкалье на участках сужения долин, пересекающих горные хребты и представляющих ветровые коридоры [Антощенко-Оленев, 1982].

Схемы современного функционирования денудационных систем получены для начала, средней части и конца анализируемого пространственного ряда (см. рис. 2) и охватывают все возможное разнообразие динамических фаз денудации и морфоклиматических обстановок рельефообразования в семиаридных условиях юга Сибири. Поэтому, опираясь на принцип эргодичности, их полезно использовать для реконструкции прошлых природных событий и прогнозных оценок изменения хода денудации в будущем.

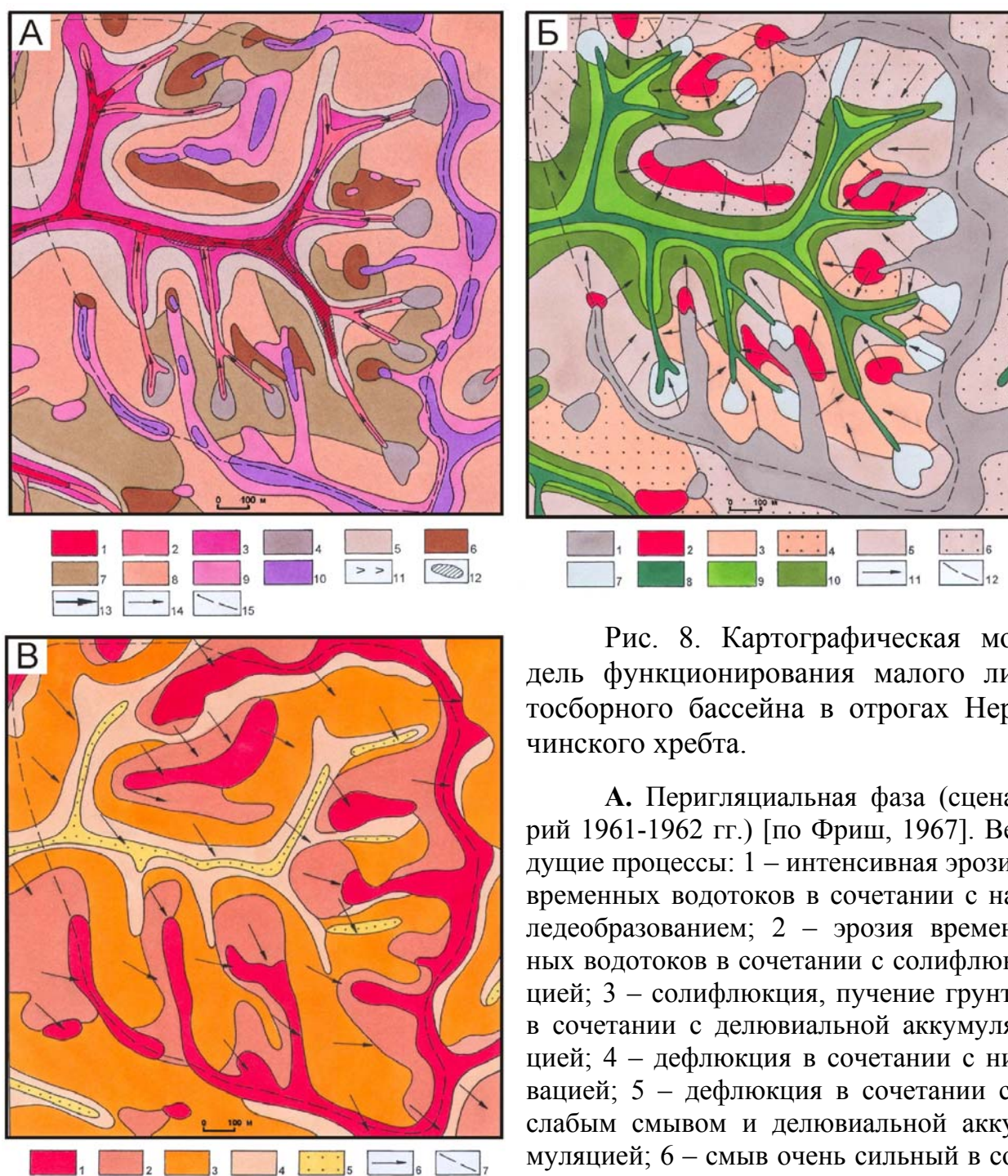


Рис. 8. Картографическая модель функционирования малого литосборного бассейна в отрогах Нерчинского хребта.

А. Перигляциальная фаза (сценарий 1961-1962 гг.) [по Фриш, 1967]. Ведущие процессы: 1 – интенсивная эрозия временных водотоков в сочетании с наледообразованием; 2 – эрозия временных водотоков в сочетании с солифлюкцией; 3 – солифлюкция, пучение грунта в сочетании с делювиальной аккумуляцией; 4 – дефлюкция в сочетании с нивацией; 5 – дефлюкция в сочетании со слабым смывом и делювиальной аккумуляцией; 6 – смыв очень сильный в сочетании с десерпцией; 7 – смыв умеренный в сочетании с десерпцией; 8 – смыв слабый; 9 – криогенное выветривание; 10 – криогенное выветривание в сочетании с морозной сортировкой грунта. 11 – промоины; 12 – наледи; 13 – основное направление движения вещества; 14 – дополнительное направление; 15 – граница литосборного бассейна.

Б. Зональная фаза (сценарий 1976 г.) [по Титовой, Баженовой, 1978]. Ведущие процессы: 1 – физическое выветривание, умеренная дефляция; 2 – интенсивный плоскостной смыв от стока ливневых вод в сочетании с дефляцией; 3 – плоскостной смыв умеренный с дефляцией, десерпцией, морозобойным растрескиванием; 4 – плоскостной смыв умеренный в сочетании с эоловой аккумуляцией; 5 – плоскостной смыв слабый от стока дождевых вод в сочетании со слабой дефляцией и морозобойным растрескиванием; 6 – слабый плоскостной смыв, эоловая аккумуляция.

ляция; 7 – кратковременная дефлюкция в сочетании с нивацией и делювиальным процессом; 8 – эрозия временных водотоков; 9 – аккумуляция делювия; 10 – дефлюкция в сочетании с делювиальной аккумуляцией и зоогенным сносом. 11 – основное направление движения вещества; 12 – граница литосборного бассейна.

В. Аридная фаза (сценарий 1971 г.) [по Титовой, 1976, 1979]. Ведущие процессы: 1 – дефляция очень сильная в сочетании с температурным выветриванием; 2 – дефляция сильная в сочетании с десерпцией и слабым смывом; 3 – дефляция умеренная в сочетании с морозобойным растрескиванием и зоогенным сносом; 4 – дефляция слабая в сочетании с зоогенным сносом; 5 – эоловая аккумуляция. 6 – основное направление движения вещества; 7 – граница литосборного бассейна.

Обобщение разрозненных данных по морфологии и динамике рельефа, а также строению опорных разрезов четвертичных отложений исследуемых районов, подтверждает наши представления, полученные экспериментальным путем, об особом региональном механизме денудации и транзита вещества, характерном в целом для субаридных предгорий северной периферии Южносибирского горного пояса. Суть его заключается в интенсивном выносе продуктов выветривания из горной страны в результате сложного пространственно-временного чередования флювиальных и эоловых процессов. Аллювиальные и озерные отложения, а также отложения делювиальных и пролювиальных конусов выноса в последующем подвергаются дефляционному выносу на значительные расстояния, согласно направлению господствующих ветров. Эоловый материал откладывается в депрессиях рельефа, на наветренных склонах, включая иногда верхние части склонов горных хребтов, и даже на вершинных поверхностях. В свою очередь, эоловые отложения вновь подвергаются смыву со склонов и размыву водными потоками.

Такой комбинированный транспорт продуктов выветривания из горной страны зафиксирован в опорных разрезах четвертичных отложений практически всех субаридных морфоклиматических районов. В Южно-Минусинской котловине большая часть эолового материала уносится за пределы левобережья Енисея и откладывается на водоразделах и пологих склонах юго-западного макросклона Восточного Саяна. По данным О.П. Добродеева [1965], эоловый материал на склонах Восточного Саяна улавливается лесом в интервале высот 400-700 м, где он залегает в виде покровных глин, которые отличаются однородностью. Они не слоисты, от остальных пород отличаются низким содержанием минералов тяжелой фракции.

Значительная часть эолового материала переносится еще дальше – в полосу северных предгорий В. Саяна (600-700 м), где эоловые отложения, по мнению Л.С. Миляевой [1988], накапливаются в приразломной зоне в узких депрессиях рельефа. В лесостепных районах Назаровской и Северо-Минусинской котловин они подвергаются смыву и размыву. Здесь, по данным опорных разрезов лессовой формации Куртакского геoarхеологического района, в их строении преобладают делювиальные и эоловые фации [Дроздов, Чеха, Хазартс, 2005]. Совместное делювиально-эоловое происхождение имеют также лессовидные суглинки в лесостепных районах Иркутско-Черемховской и Канско-Рыбинской предгорных равнин [Рященко, 1984].

В Байкальской котловине, согласно исследованиям Б.П. Агафонова [2002], в этом механизме принимает участие волновая деятельность. Эоловый материал из области дефляции (Приольхонье и о. Ольхон) поступает в Байкал. Затем выбрасываемый волнами песок вновь подхватывается ветром и переносится в восточном направлении. Этот же универсальный механизм выявлен в строении песчаных толщ в Ингодино-Читинской депрессии [Рыжов, 1966]. Особенно детально он изучен в котловинах Западного Забайкалья. Механизм включает «извлечение частиц из водных осадков ветром, затем выпадение материала из ветрового потока на склонах и смыв его со склонов с формированием шлейфов» [Антощенко-Оленев, 1982, с. 76]. Мощные эоловые пески широко распространены на наветренных склонах Худунского, Заганского, Бугутуйского, Калинового хребтов, Цаган-Дабана, отрогов Боргойского, Джидинского, Малханского и др. хребтов.

Флювиальные литопотоки дальнего транспорта вещества из гор юга Сибири носят центробежный рассеивающий характер, а эоловые опоясывают в виде выпуклой на север дуги субаридные предгорные районы, объединяя их в региональную подсистему единого эолового кругооборота вещества Центральной Азии. В свою очередь данная подсистема подразделяется на 4 звена: Енисейское, Байкальское, Селенгинское и Онон-Аргунское. Отмечающаяся в каждом звене упорядоченность эоловых потоков вещества, закрученных по часовой стрелке, заключается в последовательной смене областей дефляции, транзита вещества и областей выпадения эоловой пыли.

Следует подчеркнуть соразмерность объемов дальнего транспорта вещества водными и ветровыми потоками – модуль твердого стока рек и модуль эоловой миграции вещества в среднем имеют один порядок величин.

4. Процессы денудации в островных степях Сибири отличаются высокой чувствительностью и быстрой реакцией на изменения климата и хозяйственной деятельности, что выражается в повышении разнообразия и контрастности режимов экзогенного рельефообразования в конце XX столетия.

В последние десятилетия во всем мире отмечается повышение интереса к изучению влияния глобального потепления климата на ход геоморфологических процессов и оценку их вклада в изменение окружающей среды [Тимофеев, 2001]. В связи с этим становится актуальной прогнозная направленность геоморфологических исследований. К числу основных методов геоморфологического прогнозирования относится экстраполяция тенденций рельефообразования [Симонов, 2005]. Основное внимание в работе уделялось исследованию отклика на климатический сигнал эрозионных, эоловых и криогенных процессов, играющих ведущую роль в экзогенном рельефообразовании в островных степях Сибири.

При прогнозной оценке из большого количества теоретических и эмпирических моделей выбирались зависимости, в которых климатические параметры, характеризующие поведение процессов, обеспечены временными рядами. Правомерность их применения в данном регионе подтверждают экспе-

риментальные материалы стационарных наблюдений [Баженова, 1993]. Коэффициенты корреляции измеренных и расчетных скоростей процессов достаточно высоки. В большинстве случаев при определении тенденций изменения того или иного процесса использовались временные ряды нескольких станций и, как правило, не по одному, а по нескольким параметрам, что повышает достоверность полученных научных заключений.

Начавшаяся **деградация криолитозоны**, обусловленная потеплением климата в конце XX столетия, находит отражение в ходе экзогенных процессов мерзлотного экотона островных степей, обладающего высокой чувствительностью и уязвимостью к потеплению климата. Процессы потепления отличаются здесь значительными темпами. Индикаторами деградации многолетней мерзлоты являются повышение температуры поверхности почвы и температуры верхних горизонтов грунта, сокращение числа дней с морозом на разных глубинах деятельного слоя, уменьшение глубины и скорости сезонного промерзания.

Отмечаются различные темпы деградации криолитозоны в западных и восточных районах Южной Сибири. С начала 80-х гг. XX в. в Приангарье фиксируется устойчивое снижение глубины и скорости сезонного промерзания почв (рис. 9, I). Ускоренный характер процессов деградации ММП здесь сопровождается активизацией термокарста и сокращением площади подземного оледенения пещер.

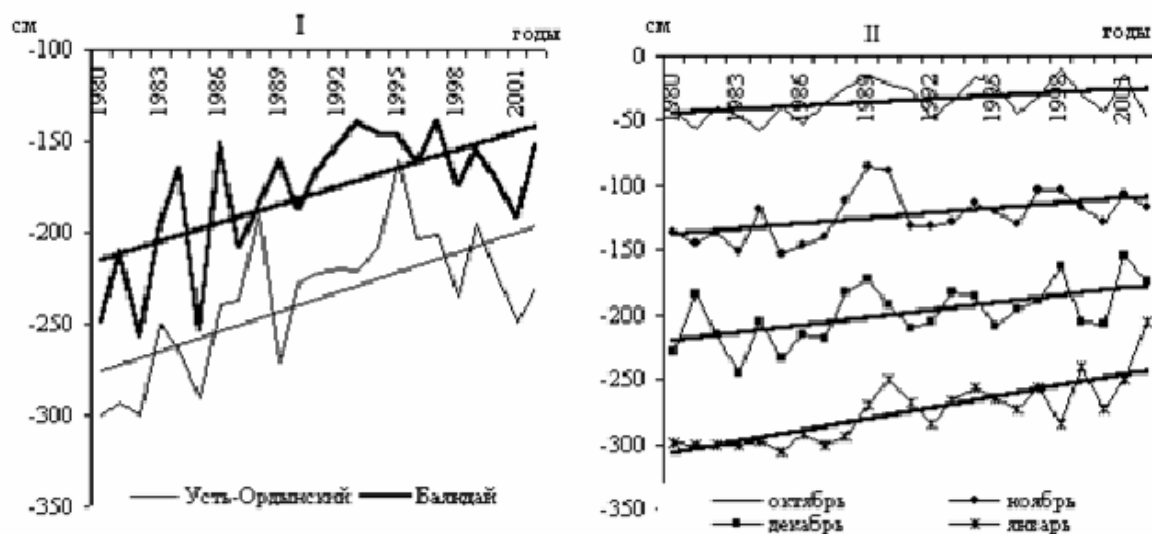


Рис. 9. Многолетняя динамика глубины сезонного промерзания грунта в Приангарье (I) на 31 марта и Забайкалье (Борзя, II) на конец октября–января.

В восточных наиболее холодных степных районах почвы и грунты обладают большой инерционностью к климатическим колебаниям, отмечается их медленная реакция на потепление климата. Региональные особенности деградации многолетней мерзлоты в степном Забайкалье определяются интенсивным ростом атмосферных осадков в сочетании с умеренным потеплением в зимний период и некоторым похолоданием в весенне-летний. Эти тенденции обуславливают невысокую скорость уменьшения глубины сезонного

промерзания (рис. 9, II) при слабом изменении интенсивности сезонного оттаивания или даже снижении их темпов (ст. Нерчинский Завод). Изменение мерзлотных условий сопровождается ослаблением процессов физического выветривания и морозобойного растрескивания грунтов. В структуре экзогенных процессов повышается роль солифлюкции, нивации и наледообразования. На участках развития ММП особенно большой активностью отличаются термокарстовые и термоэрозионные процессы. При сохранении отмечающейся климатической тенденции следует ожидать их дальнейшего усиления. Индикатором процессов деградации ММП служат многочисленные свежие термокарстовые воронки в долинах Унги, Залари, Оки, Китоа, Иркутта, Тыпты, Баяндайки и других рек (Приангарье) и в падях Забайкалья. Следы деградации мерзлотных форм рельефа четко прослеживаются и в Убсунурской котловине [Чистяков, 1997].

На основе статистического анализа многолетних рядов наблюдений за стоком взвешенных наносов выделены бассейны, объединенные в четыре района с различными тенденциями поведения *эрозионных процессов*.

Преобладающая тенденция в первом Обь-Енисейском районе с положительным трендом атмосферного увлажнения – повышение интенсивности эрозионных процессов. Она свойственна 80 % бассейнов района. В структуре эрозионных процессов увеличивается роль ливневого смыва, усиливается активность овражной эрозии. Особенно быстрыми темпами (до 7 м в год) овраги растут в правобережных лесостепных районах Назаровской, Южно-Минусинской и Сыдо-Ербинской котловин [Баженова и др., 1997; Кожуховский, 2004].

Второй Ангарский район отличается сложным разнонаправленным характером изменения интенсивности процессов. На фоне в целом нисходящей тенденции эрозионных процессов, обусловленной отрицательным трендом атмосферного увлажнения, в отдельных речных бассейнах наблюдается заметная активизация эрозионной деятельности, связанная с массовыми рубками лесов и с увеличением количества пожаров. Наиболее сильное повышение интенсивности эрозионных процессов отмечается в зоне влияния Братского водохранилища.

В третьем, Селенгинском районе, охватывающем бассейны Баргузина и Селенги, преобладает нисходящий тренд стока взвешенных наносов. Основная причина его – резкое снижение сельскохозяйственной деятельности на этой территории в последние 20-25 лет XX века. В отдельных районах Бурятии, где отмечается практически полное «свертывание» земледелия, обусловленное социально-экономическими причинами, снижаются скорость роста оврагов [Рыжов, 1997] и темпы плоскостной эрозии на склонах и, соответственно, отмечается нисходящий тренд стока наносов (рис. 10). При этом ослабляется связь между стоком воды и стоком взвешенных наносов. В бассейнах, где уровень хозяйственной деятельности существенно не меняется, эта связь сохраняется.

Для четвертого района (бассейн верхнего Амура) характерна противоположная тенденция – повышение интенсивности эрозионных процессов на

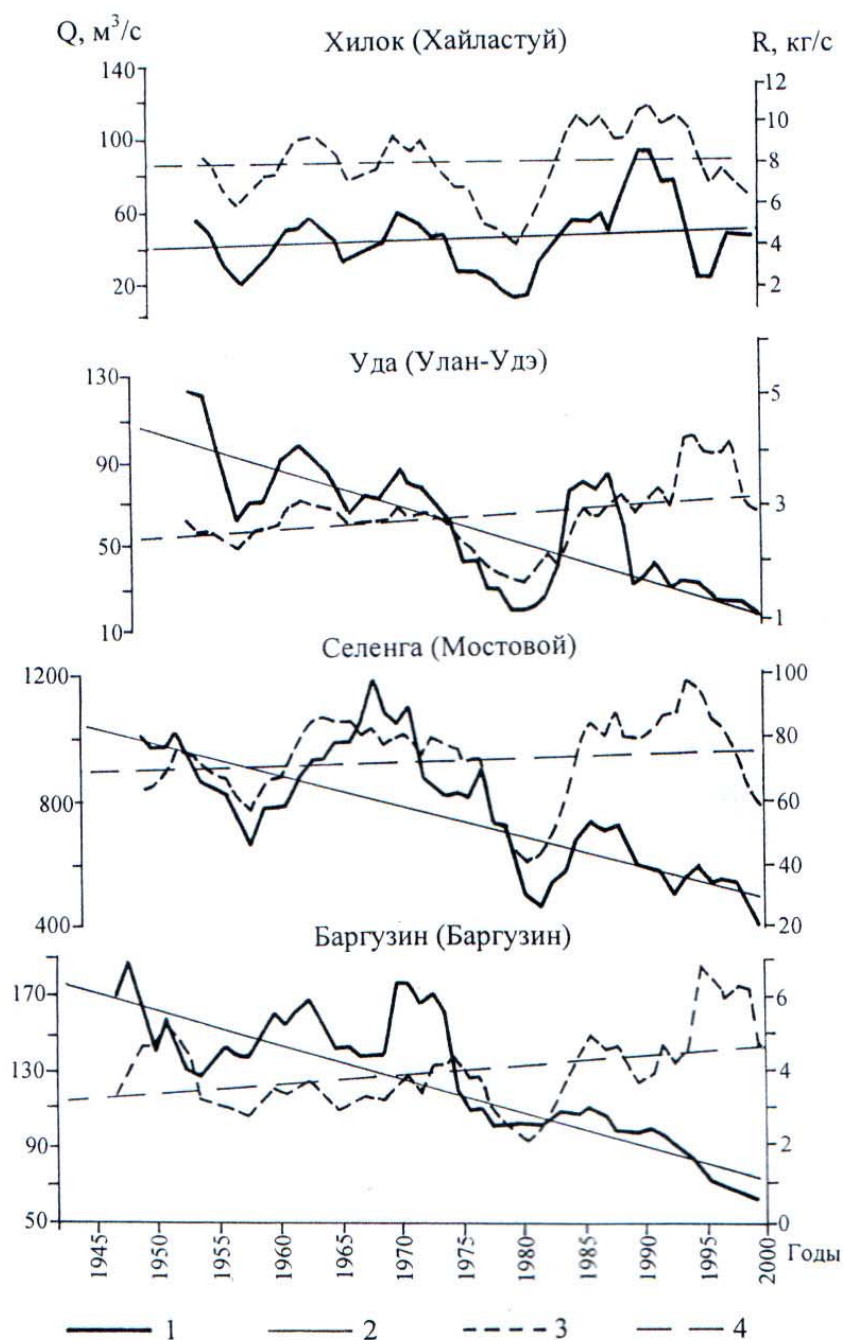


Рис. 10. Многолетняя динамика расходов воды (Q) и взвешенных наносов (R) в бассейне озера Байкал.

Расходы наносов: 1 – сглаженные по пятилетиям, 2 – линейный тренд. Расходы воды: 3 – сглаженные по пятилетиям, 4 – линейный тренд.

фоне прогрессирующего роста атмосферного увлажнения второй половины XX в. Направленное увеличение стока наносов в Забайкалье в 1970-1980-е гг. отмечено Н.Н. Бобровицкой [1995]. Резкое повышение интенсивности овражной эрозии на юге Забайкалья в конце XX века было вызвано, по мнению В.Н. Голосова [2006], усилением муссонных дождей. Активизация эрозионных процессов характерна и для соседних районов Приамурья [Махинов, Махинова, 2005]. Рост эрозионной деятельности в Онон-Аргунской степи проявляется в повышении частоты экстремальных событий стока взве-

шенных наносов, активном переформировании малых эрозионных форм рельефа (промоины, струйчатые размывы, овраги). Катастрофическое развитие эрозионных процессов в 1998-1999 гг. привело к омоложению вершин оврагов и образованию новых форм на степных склонах и в днищах падей. Выявленные положительные тренды эрозии свойственны районам с высокой интенсивностью процессов (бассейны Енисея и Амура). В условиях происходящих изменений климата эти тенденции еще более усилятся. Наиболее существенного повышения стока наносов следует ожидать также в районах нового хозяйственного освоения (разработка месторождений золота, нефти, газа, вырубка лесов и др.).

Интенсивность **эоловых процессов** в западной части островных степей (степи Минусинской и Убсунурской котловин, Красноярско-Канская и Назаровская лесостепи) снижается. На это указывают отрицательные тренды пыльных бурь, ветровой деятельности и комплексного климатического показателя дефляции по данным 9 метеостанций. Исключение составляют степи Кызылской котловины, в которых отмечается повышение интенсивности дефляции, расширение площади и скорости движения эоловых песков [Кужугет, 2005]. Установленные тенденции ослабления эоловой деятельности находят морфологическое подтверждение. Так, в Южно-Минусинской и Убсунурской котловинах площади подвижных песков сокращаются, эоловые формы рельефа зарастают. Ослабление эоловых процессов в Минусинских котловинах связано, на наш взгляд, не только с современными климатическими трендами, определенную положительную роль здесь сыграло массовое внедрение противодефляционной почвозащитной системы земледелия.

В Селенгинско-Хилокской и сухой Удинской степях сложившийся уровень динамики эоловых процессов сохраняется. Рост активности эоловой деятельности и повышение частоты экстремальных эоловых событий характерны для экстраконтинентальных степей Центральной Азии (Онон-Аргунская и Кызылская) и Ангара-Ленской лесостепи. В Приангарье тенденция усиления эоловых процессов отмечается на фоне повышения аридности климата на протяжении XIX и XX вв., выявленного дендроиндикационными исследованиями. В целом на юге Сибири отмечается расширение ареала эолового рельефообразования за счет лесостепных районов.

Результаты вычислений трендов объединены в сводной таблице 2, характеризующей чувствительность различных типов денудационных систем к климатическим колебаниям. Наиболее высокой чувствительностью отличаются предгорно-степные системы Койбальского района, степные центрально-азиатские (Онон-Аргунский район), лесостепные (Назаровский и Ангара-Ленский районы) и опустыненно-степные системы (Кызылский и Убсунурский районы), где изменяется более 75 % анализируемых параметров. Слабая чувствительность к происходящим климатическим изменениям свойственна сухостепным системам Удинского района, сформированным на мощной песчаной литогенной основе (изменяется менее 25 % анализируемых параметров). Для остальных типов систем характерна средняя чувствительность.

Таблица 2

Тенденции изменения экзогенных процессов, обусловленные климатическими трендами

Морфоклиматический район	Климатические тренды		Направленность процессов							Дегра- дация много- летне- мерзлых пород
	Среднегодо- вая темпера- тура воздуха, °C/год	Годовая сумма осад- ков, мм	Бас- сейно- вая эрозия	Склоно- вый лив- невой смыв	Талый сток и смыв	Нива- ция	Де- флок- ция	Эоловые		
								Пыль- ные бури	Климати- ческий показа- тель де- фляции	
Красноярско-Канский	0,08	0,13	+	+	0	0	-	-	+	
Назаровский	0,08	1,06	+	+	0	0	+	-	-	
Минусинский	0,07	1,14	+	-	-	0	0	-	-	
Койбальский	0,05	2,50	+	+	+	+	+	+	-	
Ангаро-Ленский	0,03	-0,95	-	0	-	-	-	+	+	+
Баргузинский	0,08	0,09	-	-	0	0	0	-	-	+
Удинский	0,06	0,53	-	0	0	0	0	0	0	+
Селенгинско-Хилокский	0,05	-0,55	-	-	0	0	-	0	0	+
Онон-Аргунский	0,04	2,13	+	+	0	+	+	+	+	+
Кызылский	0,09	-0,99	-	+	+	0	-	+	+	+
Убсунурский	0,05	0,49		+	+	+	-	-	-	+

Знак «+» – повышение интенсивности процессов; «0» – без изменения; «-» – понижение интенсивности.

При анализе трендов учитывалось, что каждый тип денудационных систем отличается своими «стартовыми» (базовыми) режимами функционирования [Баженова, Мартянова, 2002]. Дальнейшая трансформация режимов происходит в зависимости от этого базового уровня, от чувствительности систем к климатическим колебаниям и характера климатического сигнала (соотношения трендов тепла и влаги).

В районах с высокими темпами роста атмосферного увлажнения повышается энергетическая база рельефообразования, здесь отмечаются положительные тренды экзогенных процессов. Такой гумидный тип трансформации режимов функционирования систем характерен для Койбальского, Онон-Аргунского и Назаровского районов. При сохранении климатической тенденции (повышение атмосферного увлажнения) в Койбальской степи с учетом ее базовых режимов следует ожидать развития процессов, свойственных лесостепям. В Назаровской лесостепи будет повышаться роль медленных массовых движений грунта (дефлюкция), оползневых и обвально-осыпных процессов, а также флювиальной деятельности, т.е. получают развитие процессы, свойственные подтаежным территориям.

Тенденция снижения увлажненности в настоящее время хорошо выражена в Ангара-Ленском лесостепном районе, в котором возрастает роль эоловой миграции вещества. Высокие темпы потепления в сочетании с постепенным сокращением атмосферных осадков, а также с антропогенной деградацией почвенно-растительного покрова будут способствовать расширению ареалов с сухостепным морфогенезом (Баргузинский, Удинский, Селенгинско-Хилокский районы). В Кызылском и Приольхонском районах современные климатические тренды создают вероятность появления полупустынного типа морфогенеза.

5. Согласованность экстремальных фаз денудации с климатическими аномалиями и экстремалиями увлажнения позволяет прогнозировать вероятность формирования чрезвычайных эколого-геоморфологических ситуаций в островных степях Сибири.

Исследование временной структуры климатических колебаний позволило выделить и статистически оценить соотношение нормальных, аномальных и экстремальных проявлений климата, определяющих ход экзогенных процессов [Баженова, Мартянова, 2004]. В экстремальные по условиям увлажнения годы эрозионные и эоловые процессы в островных степях приобретают катастрофический, разрушительный характер. Резкая активизация процессов приводит к ускоренной эрозии или дефляции почв, гибели сельскохозяйственных культур, загрязнению поверхностных вод продуктами смыва или дефляции и другим негативным экологическим последствиям, ухудшающим условия жизни и ведения хозяйства.

На основе изучения интегральных разностных кривых стока воды и взвешенных наносов в исследуемых бассейнах выявлена приуроченность экстремалий эрозии к вековым циклам повышенной водности. В бассейнах Ангары и Енисея фазы повышенной водности отмечались в 1906-1921, 1930-

1952, 1959-1975 и 1983-1995 [Бережных, Абасов, 2004]. В бассейне Селенги повышенная водность рек и интенсивная бассейновая эрозия наблюдались в 1959-1973 гг., а в бассейне верхнего Амура многоводные фазы внутривековых циклов колебаний стока рек отмечались в 1906-1910, 1932-1937, 1959-1964 и 1983-1998 гг. [Обязов, 1998].

Синфазность стока воды в соседних бассейнах рек юга Сибири предопределяет формирование регионально значимых экстремалий стока взвешенных наносов. В западной части островных степей такая ситуация наблюдалась в 1966 г. на реках Урюп, Чулым, Енисей, Абакан, Кан, Бирюса, Ия, Иркут, а также в 1969 и 1971-1973 г. Для Забайкалья регионально значимая активизация эрозионных процессов, охватившая бассейны Баргузина, Уды, Чикоя, Хилка, Онона, Ингоды и Шилки, зафиксирована в 1962 г. Она была вызвана положительными аномалиями атмосферных осадков и почти на всех реках совпала с высокими паводками. Региональное значение для Забайкалья имеют также экстремалии стока взвешенных наносов, приуроченные к последней фазе повышенной водности XX в., наблюдавшиеся в 1985 (Уда, Онон), 1988, 1990 и 1998 гг. (Хилок, Чикой, Борзя, Шилка, Онон).

Для выявления степени опасности эрозионных процессов оценена вероятность формирования стока взвешенных наносов различной интенсивности, позволившая подразделить природные риски по проявлению эрозии на приемлемый, значительный, чрезвычайный и катастрофический. Особенно высокой вероятностью катастрофического развития эрозии отличаются бассейны Енисея и Ангары. В бассейне Байкала оно возможно в малых речных бассейнах, сложенных легко размываемыми рыхлыми породами, а также на реках бассейна верхнего Амура с обеспеченностью 4 %.

В соответствии с фоновым прогнозом колебаний стока рек Сибири [Бережных, Абасов, 2004], очередная фаза повышения водности рек и интенсивности эрозионных процессов в бассейне Оби началась в 2010 г., Енисея и Ангары начнется с 2015 г, в бассейне Байкала – с 2024-2026 гг.

Экстремалии эоловых процессов связаны с отрицательными аномалиями и экстремалиями атмосферных осадков. В Минусинских котловинах резкое усиление эоловой деятельности отмечалось в начале 1920-х, 1960-х и в конце 1970-х гг., в Забайкалье – в 1902-1903, 1921-1922, 1929 гг., в начале 1940-х, конце 1960-х и начале 1980-х гг. На фоне этих колебаний, свойственных отдельным районам, выделяются общие периоды их усиления (начало 1920-х и 1980-х гг.), обусловленные сильными засухами, распространяющимися на весь юг Сибири.

В качестве ориентира при выделении экстремалий дефляции принята динамика солнечной активности. Для выявления экстремумов проведен анализ многолетних рядов количества пыльных бурь и годовых значений комплексного климатического показателя дефляции (рис. 11).

В Хакасии во вторую половину XX столетия восходящая ветвь цикла динамики эоловых процессов совпала с периодом освоения целинных земель, что привело к катастрофическому развитию эоловых процессов в 1956-1958 гг. (пик XIX цикла солнечной активности). При этом в сухих степях более

трети освоенных площадей были разрушены и исключены из пашни, полностью погибли посевы на площади 16 тыс. га, а на 114 тыс. га они сильно пострадали. Мелкозем, вынесенный с полей, засыпал 146 км оросительной сети, слой золовых отложений накопился на сенокосах и пастбищах [Савостьянов, 1969]. Экстремальное развитие золовых процессов отмечалось также в 1970 г. (вершина XX цикла), 1971 и 1972 гг. По масштабам развития ветровой эрозии выделяется 1979 г., совпавший с максимумом XXI цикла солнечной активности. В этот год мощная дефляция почвы охватила центральные и южные степные и лесостепные районы Красноярского края и Тувы. Следует также отметить продолжительную экстремальную эколого-геоморфологическую ситуацию 1988-1990 гг. (Эрзин, Кызыл, Бея, Шарыпово, Красноярск), приуроченную к максимуму XXII цикла, во время которой с полей был снесен слой почвы мощностью 5-7 см, а местами более 10 см. Дефляции также подверглись нарушенные земли – отвалы угольных разрезов, промплощадки, карьеры и др.

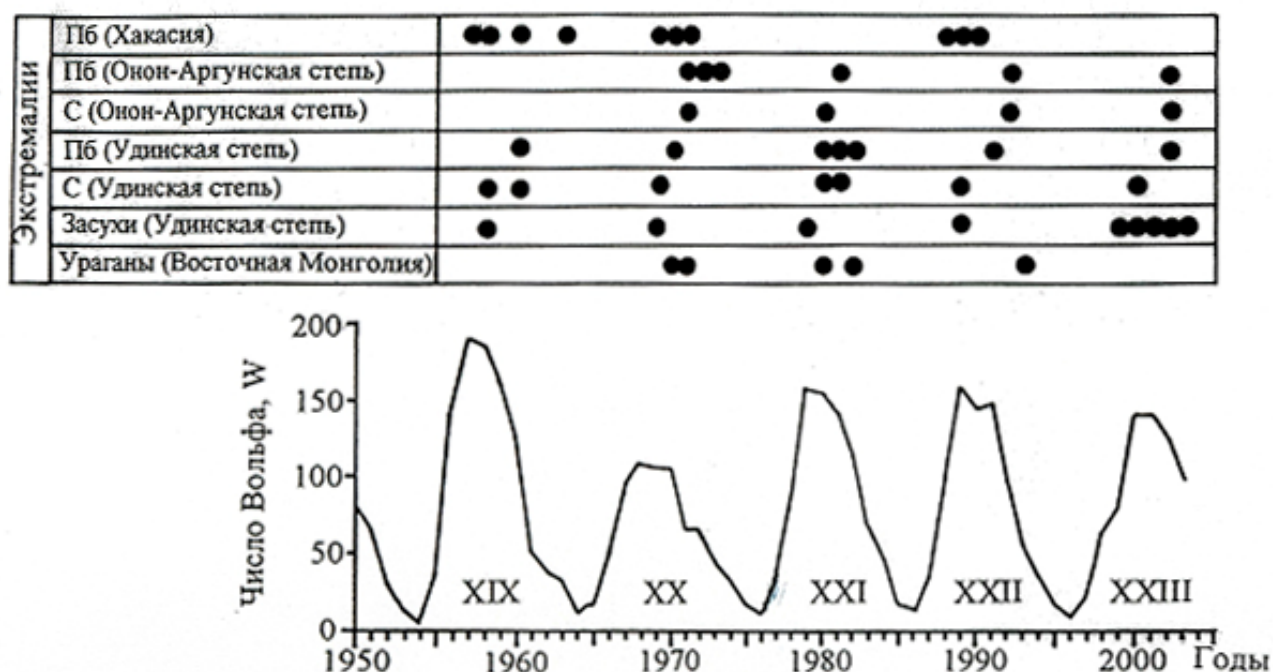


Рис. 11. Расположение экстремальных событий золовых процессов относительно циклов солнечной активности (XIX – XXIII).

С – климатический показатель дефляции; Пб – пыльные бури. Ураганы (Восточная Монголия) даны по В.П. Чичагову [1998].

В лесостепных районах Иркутско-Черемховской равнины резко выделяются чрезвычайные морфоклиматические ситуации, вызванные пыльными бурями редкой повторяемости с высокой разрушительной способностью. Это пыльные бури 1897 и 1990 гг., нанесшие огромный материальный ущерб, а также ураган 16 июля 2004 г.

В Забайкалье (Удинская степь) также установлена приуроченность экстремальных золовых событий к максимумам циклов солнечной активности (см. рис. 11). Причем экстремалии пыльных бурь запаздывают по отношению к крупным региональным засухам и максимумам климатического показателя

дефляции на один-два года. По данным ст. Улан-Удэ, крупная вспышка эоловых процессов отмечалась в 1960 г. [см. рис. 11]. В 1970, 1979-1981, 1992 и 2002 гг. песком заносились большие площади сельскохозяйственных земель и некоторые населенные пункты. Такой же механизм формирования экстремальных эоловых событий характерен и для Онон-Аргунской степи, где серия засушливых лет приводит к резкому повышению климатического показателя дефляции, а затем к катастрофическому проявлению эоловых процессов. В соседних районах Восточной Монголии также выделяется 11-летний цикл повторения наиболее сильных ураганов [Чичагов, 1998].

Чередование экстремальных проявлений эрозионных и эоловых процессов в островных степях повышает частоту формирования чрезвычайных природных и природно-антропогенных ситуаций. Это позволяет отнести рассматриваемую территорию к районам с неблагоприятной эколого-геоморфологической обстановкой. Для ее улучшения необходимы меры эколого-геоморфологической безопасности.

Степень техногенной трансформации динамики рельефа в островных степях определяется уровнем и темпами антропогенного воздействия. Быстрое и интенсивное хозяйственное освоение земель или, напротив, их консервация вызывают соответственно резкое повышение или снижение объемов перемещаемого вещества в денудационных системах, что приводит к нарушению сложившегося режима их функционирования.

Основные выводы

1. Современное экзогенное рельефообразование в островных степях Сибири отличается ярко выраженным своеобразием. Оно не укладывается в рамки ни одного из выделенных в умеренном поясе основных климатических типов морфогенеза, так как сочетает в себе черты гумидного, аридного и перигляциального рельефообразования в условиях непосредственного соседства криогенной и аридной морфоклиматических зон.

2. Пространственная упорядоченность денудации в островных степях Сибири проявляется в виде регионального ряда коррелирующих денудационных систем, структура которых и режим функционирования закономерно изменяются вдоль векторов аридности и континентальности климата.

3. Ход денудационных процессов четко упорядочен во времени. Для них характерны трехфазные денудационные циклы. Денудационный цикл состоит из продолжительной зональной фазы интеграции вещества в системе, во время которой вещество перераспределяется в системе, и экстремальных фаз выноса вещества из системы и дальнего транспорта продуктов выветривания горных пород. В результате смены этих фаз система проходит законченный круг (цикл) своей временной организации. Продолжительность цикла увеличивается с повышением ранга системы. Самые малые системы (элементы склонов) реагируют на смену климатических фаз в годовом цикле, а литосборные бассейны верхних звеньев гидрографической сети наиболее чувствительны к внутривековым и многовековым колебаниям климата.

4. Функционирование денудационных систем проходит в условиях устойчивых соотношений тепла и влаги, свойственных отдельным морфоклиматическим районам, которые контролируют особенности перераспределения вещества и энергии между главными морфологическими элементами систем. При этом в одних случаях происходит расчленение рельефа (среднесибирский тип денудации), в других – выравнивание (минусинский тип), а в третьих – денудация сопровождается сохранением морфологического облика рельефа (центрально-азиатский тип денудации).

5. Для субаридных предгорий северной периферии Южно-Сибирского горного пояса характерен особый региональный триггерный механизм денудации, осуществляющий интенсивный транспорт вещества. Суть его заключается в поступательном выносе продуктов выветривания из горной страны поочередно водными и ветровыми потоками. При этом переключателем перестроек процессов выступают климатические колебания. Механизм отличается устойчивостью, так как он установлен не только современными многолетними наблюдениями, но обнаруживается в строении опорных разрезов четвертичных отложений.

6. Следует подчеркнуть соразмерность объемов дальнего транспорта вещества, осуществляемого водными и ветровыми потоками – модуль твердого стока рек и модуль эоловой миграции вещества в среднем имеют один порядок величин. Поэтому степи следует отнести к географическим зонам с высокими темпами денудации.

7. Ведущая роль в перестройке рельефа принадлежит не длительным зональным фазам денудации с медленными и умеренными скоростями процессов, а эпизодическим экстремальным фазам с быстрым (импульсивным) сносом большого объема вещества. Суммируясь в геологическом масштабе времени, такой «залповый» снос вещества создает соответствующий геоморфологический эффект.

8. В островных степях Сибири экзогенные процессы отличаются высокой чувствительностью и быстрой реакцией на современные изменения климата и хозяйственной деятельности. Выявленная исследованием согласованность хода экстремальных проявлений процессов с климатическими аномалиями и экстремалиями увлажнения позволяет прогнозировать вероятность формирования чрезвычайных эколого-геоморфологических ситуаций.

9. Принципиальные схемы функционирования денудационных систем получены для разных частей пояса островных степей. Вместе они составляют единую эргодическую систему внутриконтинентального экзогенного рельефообразования юга Сибири, представляющую инструмент для палеореконструкций динамики рельефа и прогнозных оценок геоморфологических процессов.

Основные публикации по теме диссертации

Статьи, опубликованные в журналах, рекомендуемых ВАК:

1. Баженова О.И. Морозобойное растрескивание почвогрунтов в степном Забайкалье // География и природ. ресурсы, 1980. – № 4. – С. 107-115.

2. **Баженова О.И.** Закономерности движения рыхлого материала на лесостепных склонах в Назаровской впадине // География и природ. ресурсы, 1982. – № 2. – С. 98-103.

3. **Баженова О.И.** Крупномасштабное картографирование динамики современных экзогенных процессов // География и природ. ресурсы. – 1993 – № 1. – С. 132-138.

4. Семенов Ю.М., **Баженова О.И.**, Воробьева И.Б., Дубынина С.С., Напрасникова Е.В., Семенова Л.Н. Ландшафтно-экологический подход к решению проблем оптимизации природопользования в районах открытой угледобычи // География и природ. ресурсы. – 1993. – № 4. – С. 17-22.

5. **Баженова О.И.** Эрозионноопасные земли Канской котловины // География и природ. ресурсы. – 1994. – № 4. – С. 51-59.

6. **Баженова О.И.**, Лещиков Ф.Н., Любцова Е.М. и др. Экзогенные процессы и геоморфологический риск на Иркутско-Черемховской равнине // География и природ. ресурсы. – 1995. – № 3. – С. 38-51.

7. **Баженова О.И.** Эрозионная опасность дождей в южных районах Восточной Сибири // География и природ. ресурсы. – 1996. – № 2. – С. 43-51.

8. **Баженова О.И.**, Любцова Е.М., Рыжов Ю.В. Эрозионное районирование юга Восточной Сибири // География и природ. ресурсы. – 1997. – № 2. – С. 68-73.

9. Снытко В.А., **Баженова О.И.**, Любцова О.И. Эоловая миграция вещества в степных и лесостепных ландшафтах Сибири // Доклады Академии Наук, 1997. – Т. 357. – № 1. – С. 108-111.

10. **Баженова О.И.**, Мартянова Г.Н. Современная многолетняя изменчивость морфоклиматических ситуаций в переходных криоаридных зонах Центральной Азии // География и природ. ресурсы. – 1998. – № 2. – С. 22-31.

11. **Баженова О.И.**, Мартянова Г.Н., Артеменок В.Н. Климатический анализ структуры современной денудации в степях Хакасии // География и природ. ресурсы. – 1999. – № 3. – С. 76-84.

12. **Баженова О.И.**, Мартянова Г.Н. Реакция степных и лесостепных морфодинамических систем на современное изменение климата // География и природ. ресурсы. – 2000. – № 4. – С. 23-32.

13. **Баженова О.И.**, Мартянова Г.Н. Оценка многолетней изменчивости современных эоловых процессов на юге Сибири // География и природ. ресурсы. – 2001. – № 4. – С. 79-85.

14. **Баженова О.И.**, Мартянова Г.Н. Современные морфоклиматические режимы степей и лесостепей Сибири // География и природ. ресурсы. – 2002. – № 3. – С. 57-64.

15. **Баженова О.И.**, Мартянова Г.Н. Оценка изменений геоэкологических условий субаридных районов Сибири при современном потеплении климата // География и природ. ресурсы. – 2003. – № 4. – С. 51-58.

16. **Баженова О.И.**, Мартянова Г.Н. Формирование экстремальных морфоклиматических ситуаций на юге Сибири // География и природ. ресурсы. – 2004. – № 4. – С. 87-94.

17. **Баженова О.И.** Изменение режимов экзогенного рельефообразования на юге Сибири во второй половине XX столетия // География и природ. ресурсы. – 2005. – № 4. – С. 80-86.

18. **Баженова О.И.** Ландшафтно-климатические типы систем экзогенного рельефообразования субаридных районов Восточной Сибири // География и природ. ресурсы. – 2006. – № 4. – С. 57-65.

19. **Баженова О.И.** Внутривековая организация систем экзогенного рельефообразования в степях Центральной Азии // География и природ. ресурсы. – 2007. – № 3. – С. 116-125.

Статьи в зарубежных рецензируемых журналах:

20. Korytny L.M., **Bazhenova O.I.**, Martianova G.N., Ilyicheva E.A. The influence of climatic change and human activity on erosion processes in sub-arid watersheds in southern East Siberia // Hydrological processes. – 2003. – No 17. – P. 3181-3193.

21. **Bazhenova O.I.**, Martjanova Galina N. Wspolczesne warunki morfoklimatyczne na obszarach stepowych Azji Centralnej // Geographia. Studia et dissertations. – Katowice, 2001. – T. 24. – С. 7-20.

22. **Bazhenova O.I.**, Martjanova Galina N. Cechy funkcjonowania systemow denudacyjnych na obszarze stepow syberyjskich // Geographia. Studia et dissertations. – Katowice, 2002. – T. 25. – С. 7-16.

23. **Bazhenova O.I.** The structure of denudation cycles in the forest-steppes of Middle Siberia // Geography and natural resources. – 2008. – Vol. 29. – No 4. – P. 307-316.

24. **Bazhenova O.I.** The ecologo-geomorphological consequences of conservation of agricultural lands within the Lake Baikal watershed basin // Geography and natural resources. – 2009. – Vol. 30. – No. 3. – P. 253-257.

25. **Bazhenova O.I.**, Tyumentseva E.M. The structure of contemporary denudation in the steppes of the Minusinskaya depression // Geography and natural resources. – 2010. – Vol. 31. – No 4. – P. 362-369.

26. **Bazhenova O.I.** Dynamic types denudation in island steppes of southern Siberia // Geography and natural resources. – 2011. – Vol. 32. – No 2. – P. 119-125.

Коллективные монографии:

27. **Баженова О.И.**, Гумбина И.А., Калеп Л.Л. и др. Картографическое обеспечение земельного кадастра // Экологическое картографирование Сибири. – Новосибирск: Наука, 1996. – С.197-232.

28. **Баженова О.И.**, Любцова Е.М., Рыжов Ю.В., Макаров С.А. Пространственно-временной анализ динамики эрозионных процессов на юге Восточной Сибири. Новосибирск: Наука, 1997. – 208 с.

29. **Баженова О.И.** Делювиальный морфогенез в южных районах Сибири // Генезис рельефа. – Новосибирск: Наука, 1998. – С. 117-127.

30. Антипов А.Н., Плюснин В.М., **Баженова О.И.**, Бардаш А.В. и др. Экологически ориентированное планирование землепользования в Байкальском регионе. – Иркутск, 2002. – 104 с.

31. **Баженова О.И.** Пространственно-временная организация систем экзогенного рельефообразования в субаридных ландшафтах юга Сибири // Географические исследования Сибири. Т. 1. Структурно-динамический анализ организации биоты и геосистем Сибири. – Новосибирск: Изд-во «Гео», 2007. – С. 143-173.

Статьи в сборниках и материалах конференций:

32. **Баженова О.И.** Пучение грунта в степном Забайкалье // Процессы современного рельефообразования в Сибири. – Иркутск, 1978. – С. 109-126.

33. Титова З.А., **Баженова О.И.** Изучение современных экзогенных процессов рельефообразования в степном Забайкалье // Процессы современного рельефообразования в Сибири. – Иркутск, 1978. – С. 3-21.

34. **Баженова О.И.** Антропогенные изменения интенсивности эрозии почв на склонах Назаровской впадины // Экспериментальные основы географического прогнозирования воздействия КАТЭКа на окружающую среду. – Иркутск, 1984. – С. 81-92.

35. **Баженова О.И.** Интенсивность склонового смыва в Назаровской котловине (полевые исследования и расчет) // Рельеф и склоновые процессы юга Сибири. – Иркутск, 1988. – С. 53-73.

36. Снытко В.А., **Баженова О.И.**, Бессолицына Е.П., Дубынина С.С., Напрасникова Е.В., Нефедьева Л.Г. Комплексный анализ техногенно измененных геосистем КАТЭКа // География почв и геохимия ландшафтов Сибири. – Иркутск, 1988. – С.114-134.

37. **Bazhenova O.I.** Trends of exogenous relief-formation regimes in southern Siberia in the second half of the 20th century // Geography of Siberia. – Research India Publications. – 2006. – P. 43-51.

38. **Баженова О.И.**, Любцова Е.М. Экзогенное рельефообразование в криоаридных степях Центральной Азии // Байкал и естествознание за 100 лет. – Иркутск, 1993. – С. 14-22.

39. Walerian A. Snytko, **O.I. Bazhenova**, Jelizawieta M. Lubcowa, Galina N. Martjanova. Climatic conditions and Aeolian migration of matter in the steppe Landscapes of Sibiria // Wspolczesne oraz kopalne zjawiska i formy eoliczne wybrane zagadnienia. – Sosnowiec, 1996. – P. 119-126.

40. **Bazhenova O.I.**, Lyubtsova E.M. Erosion processes in the southern part of Siberia and the environment: Quantitative analysis of interaction// Engineering Geology and the Environment: proceedings international symposium. – 1997. – Balkema. – P. 49-54.

41. Semenov Yu.M., **Bazhenova O.I.**, Semenova L.N. Landscape changes in area of KAFEC strip mines influence, Russia // Engineering Geology and the Environment: proceedings international symposium. – 1997. – Balkema. – P. 2495-2498.

42. **Баженова О.И.**, Мартьянова Г.Н. Современные изменения морфоклиматических параметров субаридных ландшафтов на юге Сибири // Природные и антропогенные ландшафты. – Иркутск – Минск, 2002. – С. 17-24.

Подписано к печати 10.10.2011 г.
Формат 60*84/16. Объем 2,6 п.л. Тираж 150 экз. Заказ № 530.
Издательство Института географии им. В.Б. Сочавы СО РАН.
664033 г. Иркутск, ул. Улан-Баторская, 1.

