

*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 16 ноября 2011 г. в 14 часов 30 мин. 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 « » \_\_\_\_\_ 2011 г.

Ученый секретарь  
диссертационного совета,  
кандидат географических наук

В.С. Хромых

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

**Актуальность темы.** Для прогнозирования развития рельефа и реконструкций его изменений в прошлом требуются знания о динамике текущих геоморфологических процессов, механизмах, интенсивности и направленности современного рельефообразования, выступающего связующим звеном между прошлым и будущим. Ключевая роль в получении таких знаний отводится изучению динамики денудационного рельефа, занимающего на современной поверхности суши более 95 % горных и почти половину равнинно-платформенных областей.

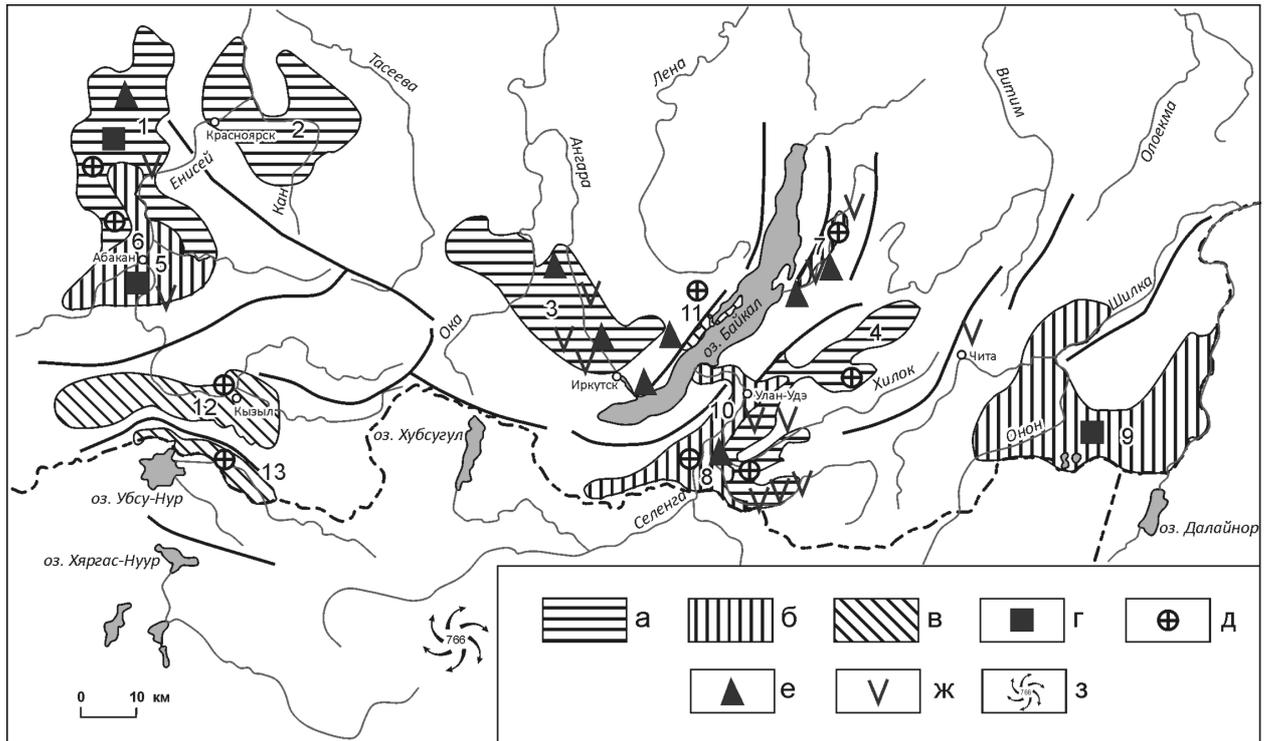
Денудация - совокупность процессов сноса продуктов выветривания горных пород, приводящих к выравниванию рельефа и общему понижению земной поверхности [Davis, 1902; Мушкетов, 1926; Щукин, 1960; Четырехязычный..., 1979]. В ходе денудации передача вещества и энергии от одной формы рельефа к другой происходит в результате цепи последовательных или сопряженных 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 геоморфологических исследований.

Опорной территорией исследования выбраны островные степи денудационных 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 детальных многолетних стационарных исследований (рис. 1).

Изучение экзогенных процессов здесь особенно актуально в условиях отмечающихся изменений климата и природопользования, а также в связи с проблемой опустынивания континентальных районов Внутренней Азии. Поскольку с их развитием на юге Сибири связан ряд серьезных экологических проблем, таких как эрозия почв, деградация земель, миграция загрязнений,

заиливание водоемов и др., не менее актуальной представляется экологическая направленность работы.



**Рис. 1.** Расположение лесостепных (а), степных (б) и опустыненностепных (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 Сибирско-Монгольского антициклона

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

Для ее достижения необходимо было решить следующие задачи:

1. С помощью климатического анализа рассмотреть закономерности пространственной дифференциации современных экзогенных процессов в островных степях юга Сибири.

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 изменения режимов их функционирования в условиях современных изменений климата.

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 [Tricart, Cailleux, 1972; Дедков, Мозжерин, Ступишин, Трофимов, 1977; Дедков, Бутаков, Мозжерин, 1982; Блюме, Дедков, Тимофеев, 1995]. 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 современной динамики рельефа, 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. 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 единой 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 работ, материалы по дендрохронологии, 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 к.г.н. Г.Н. Мартыновой проведен сопряженный анализ климатических и геоморфологических временных рядов Росгидромета для 65 метеостанций за период 60-105 лет с использованием методов математической статистики. Автором выполнялось разномасштабное картографирование динамики рельефа и прогнозная оценка интенсивности процессов с помощью эмпирических моделей.

Систематизация материала проводилась в рамках плановых тем Института географии СО РАН и инициативных проектов РФФИ, руководимых автором: 94-05-16407а «Пространственно-временной анализ динамики эрозионных 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 глобаль-

ных изменениях климата». Исследования выполнялись также 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 результаты, определяющие его новизну.

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

2. Впервые показана пространственная упорядоченность процессов денудации, которая в пределах пояса островных степей 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. Впервые 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. Впервые определена реакция денудационных систем на современные климатические и антропогенные изменения. Выявлены масштабы антропогенной трансформации динамики рельефа. Установлены тенденции изменения поведения систем на ближайшую перспективу. Впервые 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.** Интенсивность экзогенных процессов выступает важным показателем состояния окружающей среды. Полученные в работе данные о скорости денудации могут использоваться при решении многих экологических задач. Установленные закономерности распространения и динамики современных геоморфологических процессов, выявленные тенденции изменения их интенсивности под влиянием климатического и техногенного факторов могут служить основой при ландшафтном планировании территории, в практике землеустройства и землепользования при проектировании противоэрозионных мероприятий, при оценке геоморфоло-

гического риска развития процессов, опасных для жизнедеятельности человека.

Автором с помощью эмпирических моделей выполнена количественная прогнозная оценка потерь почв от ливневого смыва для основных сельскохозяйственных ареалов юга Восточной Сибири. В работе показаны последствия интенсификации эрозионных процессов на обрабатываемых землях и предложены первоочередные мероприятия по снижению их негативного воздействия. Авторские материалы и карты эрозионноопасных 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 с использованием количественной информации нашли применение при крупномасштабном картографировании динамики рельефа (1993), при оценке геоморфологического риска при создании линейных инженерных сооружений (1995), при разработке программы действий по борьбе с опустыниванием островных степей юга Сибири.

**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, 2010г), 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 Всероссийской конференции «Эколо-

гический риск: анализ, оценка, прогноз» (Иркутск, 1998), 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. Работа включает 357 страниц, 82 рисунка, 35 таблиц, 412 использованных источников.

## **ОСНОВНЫЕ ЗАЩИЩАЕМЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ И РЕЗУЛЬТАТЫ**

**1. В островных степях юга 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.**

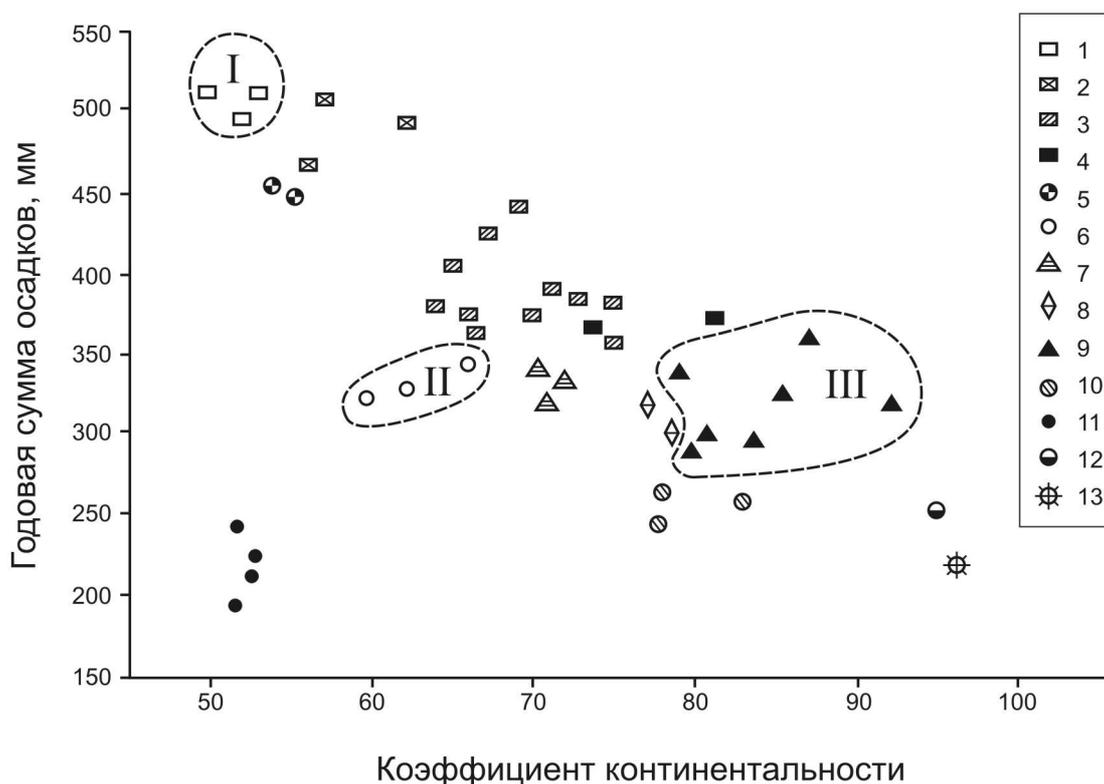
Островные степи юга Сибири характеризуются ярко выраженным своеобразием условий денудации. Это своеобразие складывается из внутриконтинентального положения районов, соседства и функциональной связи с Южно-Сибирским горным поясом, нахождением в зоне активного влияния Сибирского антициклона, расположением 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 [Будыко, Григорьев, 1959] островные степи юга Сибири относятся к одному типу климата, характеризующемуся недостаточным увлажнением, но между отдельными районами отмечаются существенные различия. Отметим, что увлажненность территории меняется более чем в два раза: в Назаровском районе средняя многолетняя сумма осадков достигает почти 500 мм, а в опустыненном Приольхонском 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 Ангара-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 и составила 4° С, а минимальная зафиксирована в 1956 г. на метеостанции Эрзин, когда она опускалась ниже -6° С.

Аридность и континентальность – главные характеристики климата, определяющие ярко выраженную специфику экзогенного рельефообразования в регионе. В условиях недостаточного увлажнения влияние на морфогенез зональных факторов выражается аридностью климата. Степень аридно-

сти современного климата оценивалась нами с помощью индекса аридности по Кеппену [Баженова, Мартыанова, Артеменок, 1999], который варьирует в субаридных ландшафтах юга Сибири 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.

Значительная изменчивость климата между отдельными районами предопределяет большое разнообразие агентов денудации, их сложное взаимодействие в пространстве и во времени. Двумерная ординация точек наблюдений (по данным метеостанций), приуроченных к островным степям, 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 территории (сухость и морозность).



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

Сходство рассматриваемых морфоклиматических районов проявляется в их функциональной связи с горами. Среди таежных районов островные степи выделяются интенсивным криогенным и температурным выветриванием, обусловленным малой снежностью и большой длительностью бесснежного периода, ночным выхолаживанием грунтов и большим числом дней в году с заморозками-оттепелями на поверхности почвы. В условиях недоста-

точного увлажнения поверхность склонов плохо защищена растительностью, а почвы и грунты под влиянием криогенеза слабо устойчивы к эрозии и дефляции, что предопределило широкое развитие процессов открытой плоскостной денудации.

Вместе с тем для каждого района характерны и существенные различия в структуре плоскостной денудации, показывающие индивидуальные особенности морфогенеза. Рассмотрим их более подробно в соответствии с направлением климатических векторов (рис. 3). От лесостепных к опустыненно-степным районам снижается среднегодовая температура воздуха, годовая сумма атмосферных осадков, повышается аридность и континентальность, что отражено на графиках (см. рис. 3, а-г). Исключение составляют аномально теплая и влажная предгорная Койбальская степь (район 5) и аномально холодная Баргузинская степь (район 7). Повышенной аридностью среди степных морфоклиматических районов выделяется Минусинский район (6), а среди опустыненно-степных Приольхонский (11), отличающийся максимальной аридностью и минимальной в пределах пояса континентальностью климата.

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

От лесостепей к степям снижается эрозионная опасность ливней. Исключение составляет Онон-Аргунский степной район, для которого характерны максимальные значения эрозионного индекса ливневых осадков ( $R_{30}$ ), обусловленные муссонным характером дождей (см. рис. 3, е). Анализ материалов полевых экспериментальных наблюдений за динамикой делювиальных процессов на степных склонах показал, что при равной крутизне склонов скорость смыва возрастает с увеличением  $R_{30}$  в направлении от опустыненной Приольхонской степи к степям Баргузинской котловины, далее к Назаровской лесостепи, достигая максимума в Онон-Аргунской степи [Титова, Баженова, 1978; Баженова, 1988; Агафонов, 1990; Выркин, 1994].

Изменение климатических параметров вызывает различия в динамике эоловых процессов. Количественная оценка вероятности развития эоловых процессов высокой интенсивности выявила резкое повышение эолового рельефообразования при переходе от лесостепных районов к степным (см. рис. 3, д). Степной максимум дефляции имеет два пика повышения интенсивности. Первый характерен для умеренно континентальных степей западной части пояса, второй - для опустыненно-степных районов (Приольхонский, Кызылский и Убсунурский). Различные ландшафтно-климатические

типы систем отличаются дальностью эоловой миграции вещества и направленностью воздействия ветровых потоков на рельеф.

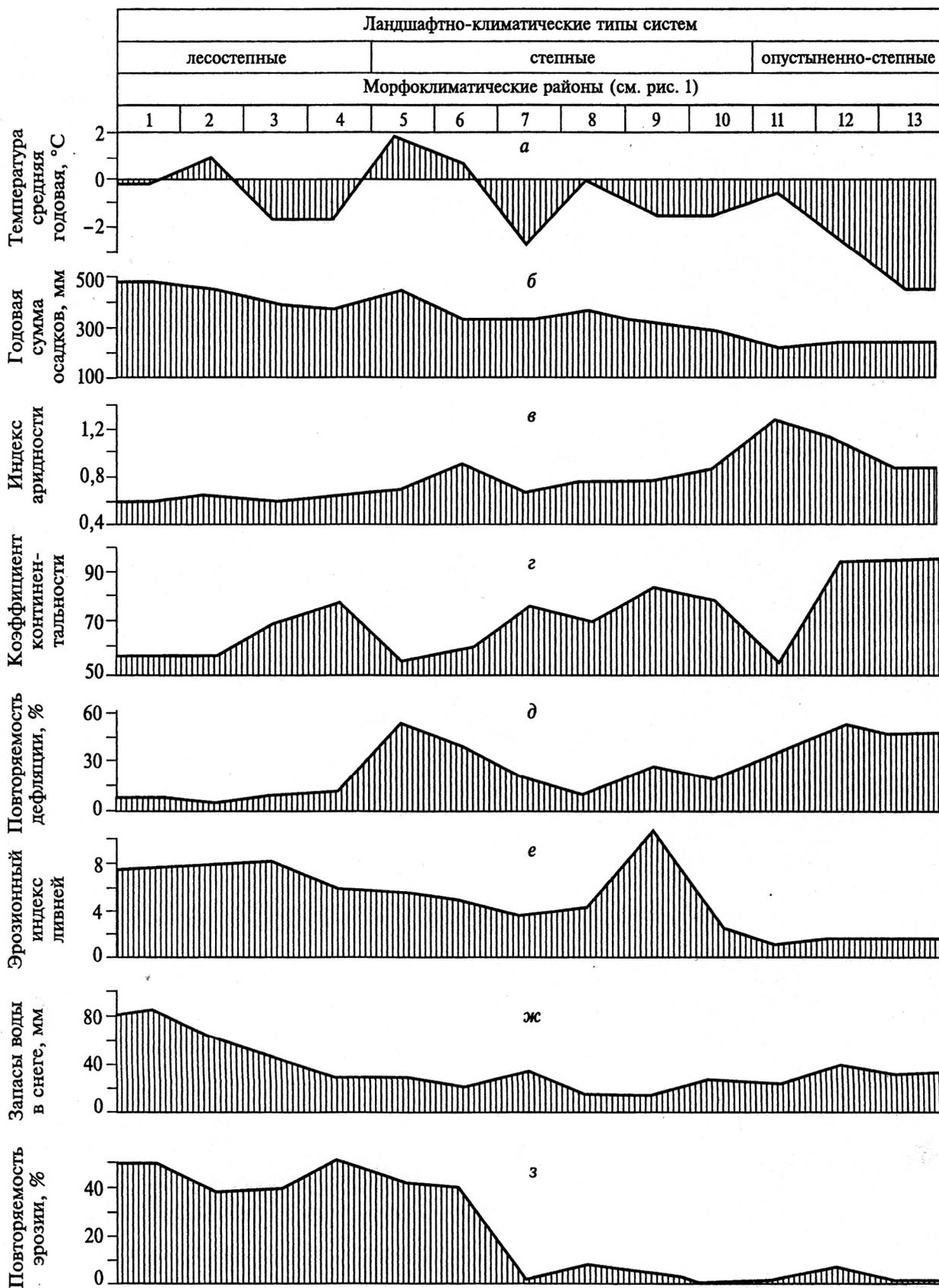


Рис. 3. Влияние климатических факторов (а-г) на структуру плоскостной денудации (д-з) в островных степях юга Сибири.

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 эти показатели сокращаются вдвое – 1,5-2 мес. и 50-60 см соответственно. 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 снижении увлажненности грунтов, их опесчанивании, уменьшении плотности (Приольхонье) скорость массового смещения склонового чехла падает до 0,6-0,8 мм/год, а мощность смещающегося слоя сокращается 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 части рассматриваемого пояса в структуре систем значительно повышается роль криогенных процессов. По геокриологическому районированию рассматриваемая субаридная территория относится в основном к зоне островного и редко островного распространения многолетнемерзлых пород и длительного сезонного промерзания почвогрунтов [Лещиков, 1978; Геокриология СССР, 1989]. Многолетнемерзлые породы характеризуются небольшой мощностью со среднегодовыми температурами  $-0,1 \div -1,5$  С. Здесь, у южной границы распространения высокотемпературных многолетнемерзлых пород, находящихся в неустойчивом термодинамическом состоянии, криогенные процессы отличаются большим разнообразием и повышенной динамичностью. Они включают пучение и морзобойное растрескивание грунта, солифлюкцию, термокарст и термоэрозию, мерзлотную сортировку грунтов, наледообразование.

Таким образом, в пределах островных степей Сибири экзогенные процессы образуют закономерный пространственный ряд корреспондирующих 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 отмечаются между лесостепными, степными и опустыненно-степными районами, а также между их умеренно-, резко- и экстраконтинентальными вариантами. Они проявляются в механизмах ближнего и дальнего транспорта вещества.

*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 при-

роста 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 опасностью ливней (см. рис. 3, е, ж). Для склонов характерна полосчатость, связанная с развитием деллей.

В лесостепях происходит преимущественно эоловая аккумуляция, о чем свидетельствуют толщи лессовидных суглинков, в формировании которых участвовали 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 склонами) 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 экстроконтинентальных 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, что является характерной особенностью рельефа. 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. В Приольхонье, в долине р. Сармы, небольшое проявление селевой деятельности отмечалось в 1948 и 1957 гг. [Макаров, 1998]. 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 выражающихся в особом соотношении динамических, литологических и морфологических параметров экзогенного морфогенеза.**

В проблеме временной организации геосистем одно из ключевых понятий - состояние системы, т.е. ее качество, которое описывается набором признаков или параметров, сохраняющихся некоторое время. 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 спонтанных условиях выступает климат [Баженова, Мартянова, 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 до очень холодных. Диапазон изменений увлажнения включает 8 типов градаций — от экстремально сухих до экстремально влажных. Эта матрица рассматривается нами в качестве климатической основы типизации состояний денудационных систем.

Таблица 1 - Вероятность формирования переменных состояний денудационных систем при различных сочетаниях тепла и влаги (среднегодовые условия), %

Тепловые условия, t, °C	Состояние							
	Аридное		Семиаридное		Семигумидное		Гумидное	
	Условия увлажнения, г, 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	-	-	-	-
Койбальская 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	-	-	-	-
Кызылская 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	-	-	-	-

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, микрокотловины, трещины, ложбины, микрорусла и др.) и ступенеобразными (террасеты и др.) формами размером от нескольких сантиметров до нескольких метров. Сочетание длительно существующих (многолетних) форм микро-рельефа, таких как дюны, бутаны, гидролакколиты, овраги, делли, нивальные ниши, наледные поляны, карстовые воронки, суффозионные степные блюдца и другие, могут служить визитной карточкой экзогенного морфогенеза на той или иной территории. Наноформы образуют морфологические комплексы, сменяющие друг друга во времени и отражающие смену состояний систем денудации. Выделены пять 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. Дефляция усиливается также благодаря активной деятельности землероев, которые выбрасывают на поверхность склонов большой объем сыпучего материала, легко подхватываемого ветровым потоком. Глубокой эоловой переработке подвергаются верхние горизонты отложений вершинных поверхностей, склонов, где увеличивается защебненность, выдуваются соленосные осадки сухих днищ озерных котловин. В структуре микро-морфологических 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. 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 микро-рельефе 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 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 юга Сибири выступает влага.

**3. В функционировании денудационных систем различного ранга проявляется климатически обусловленная цикличность. Циклы включают продолжительную зональную фазу интеграции вещества в системе и экстремальные фазы «залпового» выноса вещества. Для каждого морфоклиматического района характерна своя упорядоченная во времени смена динамических фаз денудации, составляющих внутривековые циклы.**

Установлено, что для каждого степного «острова» юга Сибири характерны не только свои преобладающие сочетания тепла и влаги, 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. 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 представляют собой 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 (ассоциации). При этом происходит кумуляция энергии рельефообразования на привершинном, склоновом или долинном элементе системы. Динамические фазы дают представление о временном инварианте денудационной системы, свойственном тому или иному морфоклиматическому району.

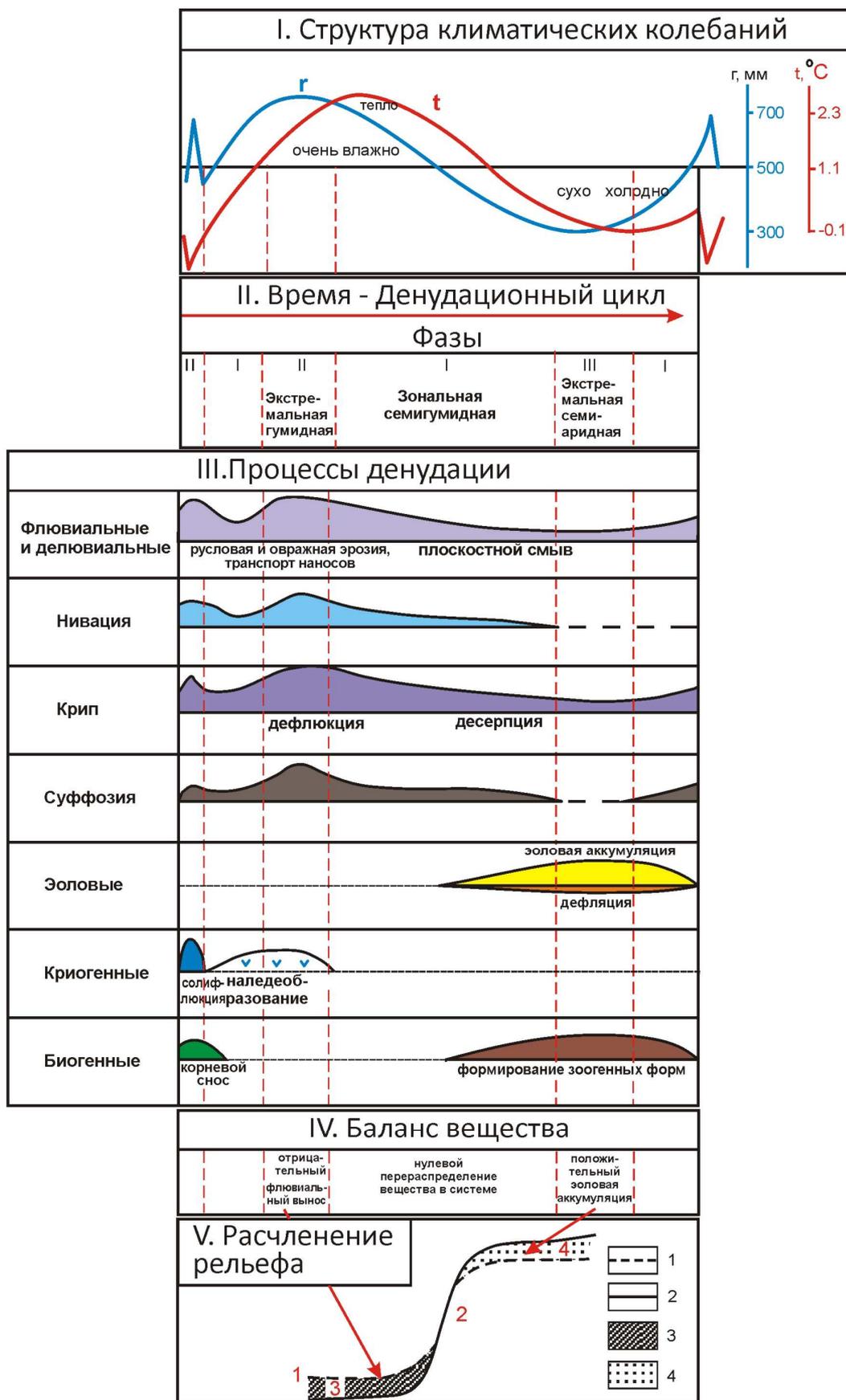
В островных степях юга Сибири региональное развитие получили три типа функционирования денудационных систем, которые иллюстрируют принципиальные схемы (рис. 4, 5, 7), отражающие главные связи в системе и дающие общее представление о механизмах денудации. Схемы включают пять блоков. Первый блок (вход в систему) показывает структуру климатиче-

ских колебаний. Они 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 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 на 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  $2,3^{\circ}\text{C}$ , условия увлажнения варьируют от 300 до 700 мм при средних фоновых зональных семигумидных значениях соответственно  $1,1^{\circ}\text{C}$  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 (рис. 4). Хотя на степных склонах юго-западной экспозиции в перемещение вовлечен «активный» слой мощностью 5-10, реже 15-26 мм, но вынос вещества со склонов незначителен. Средняя скорость делювиального сноса варьирует от 0,03-0,1 до 0,8 мм/год на пологих, до 1,5 – 2,0 мм/год на крутых склонах.



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

Средняя скорость аккумуляции делювия, вычисленная по геологическим, археологическим и радиоизотопным данным древних поселений человека, составляет 0,10-0,41, по данным натуральных наблюдений она колеблется от 0,10 до 2,2 мм/год. На лесных склонах господствуют процессы медленно-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 % времени денудационного цикла. Наибольшее преобразование характерно для днищ долин рек и временных водотоков, в которых наблюдается эрозионный врез. При этом одним оврагом за ливень выносятся от 10 до 100 м<sup>3</sup> рыхлого материала [Любцова, 1989], модуль твердого стока р. Чулым увеличивается до 110 т/км<sup>2</sup> в год, а слой смыва на крутых склонах может достигать 4-7 мм/год.

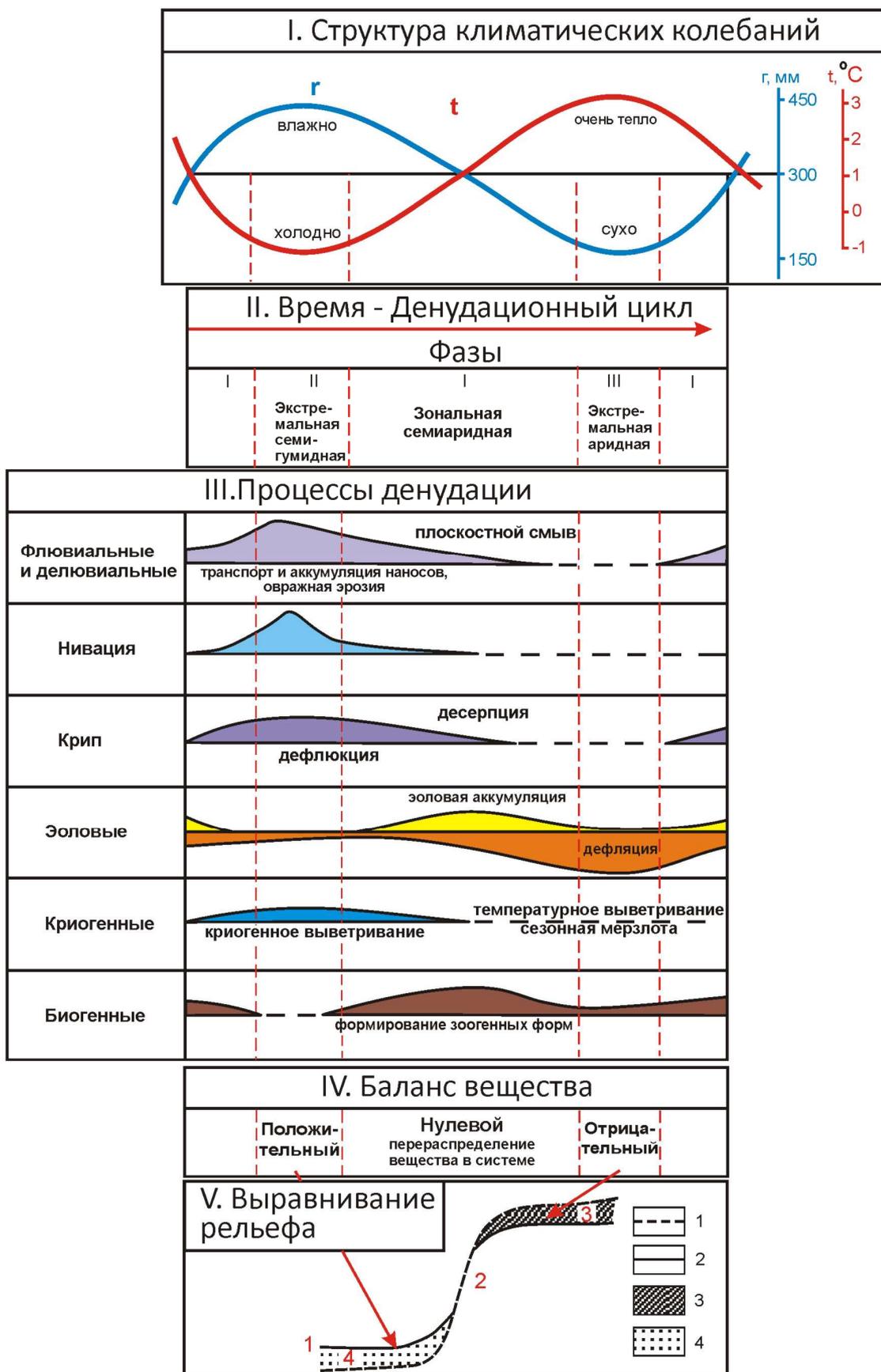
При снижении атмосферного увлажнения до минимума в *экстремальную аридную фазу* вынос из системы прекращается, отмечается интенсивное выпадение эолового материала (положительный баланс вещества), который поступает из соседних степных районов Хакасии и максимально накапливается в верхнем ярусе рельефа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

В заключение 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 при завершении денудационного цикла происходит расчленение рельефа.

С повышением ранга системы увеличиваются объемы перемещаемого вещества и время совершения одного 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 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 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



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

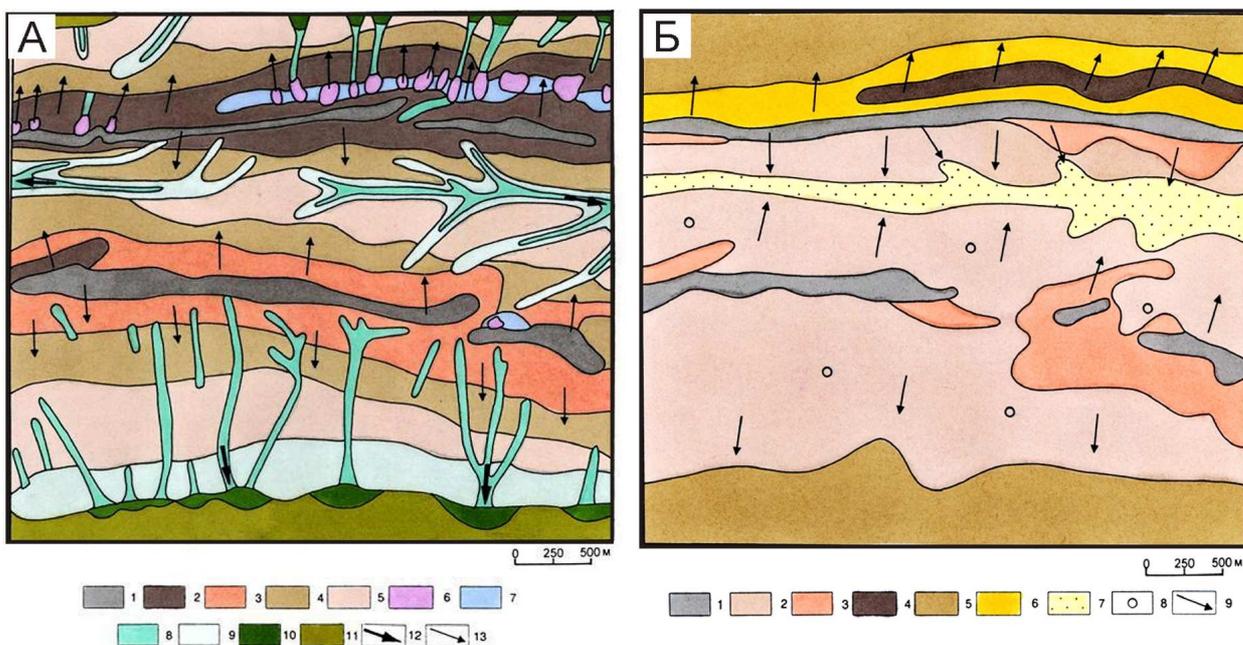
верхними и нижними элементами склонов, между наветренными и подветренными склонами. Темпы аккумуляции делювиальных шлейфов составляют 0,1-0,7 мм/год, эоловое накопление вещества в среднем происходит со скоростью 0,1-0,2 т/га в год.

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 тонны на 1 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/км<sup>2</sup>. В результате склонового сноса в реки поступает огромное количество мелкозема. При этом в экстремально влажные годы (1966 г.) годовая мутность малых рек достигает 1700 - 9000 г/м<sup>3</sup> [Черкасов и др., 1973]. 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.

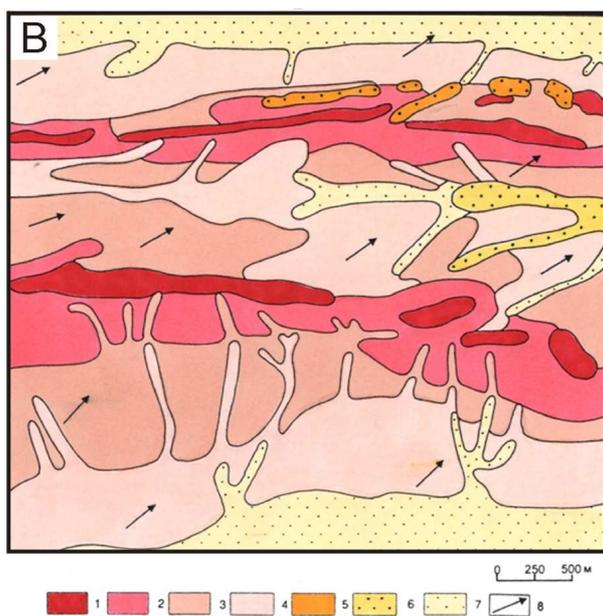
Во время *экстремальной аридной фазы выравнивания рельефа* (рис. 5) происходит эоловый вынос вещества из системы. Интенсивность дефляции на верхних денудационных участках наветренных склонов достигает 2,2 мм/год. Наиболее крупная часть эолового материала переносится на соседние участки. Остальной мелкозем господствующими юго-западными ветрами откладывается в лесостепных и таежных районах, расположенных севернее предгорных равнин, в узких глубоких депрессиях рельефа, а также на склонах и вершинных поверхностях Восточного Саяна. Фаза составляет 10-20 % продолжительности денудационного цикла.

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 – умеренные 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.

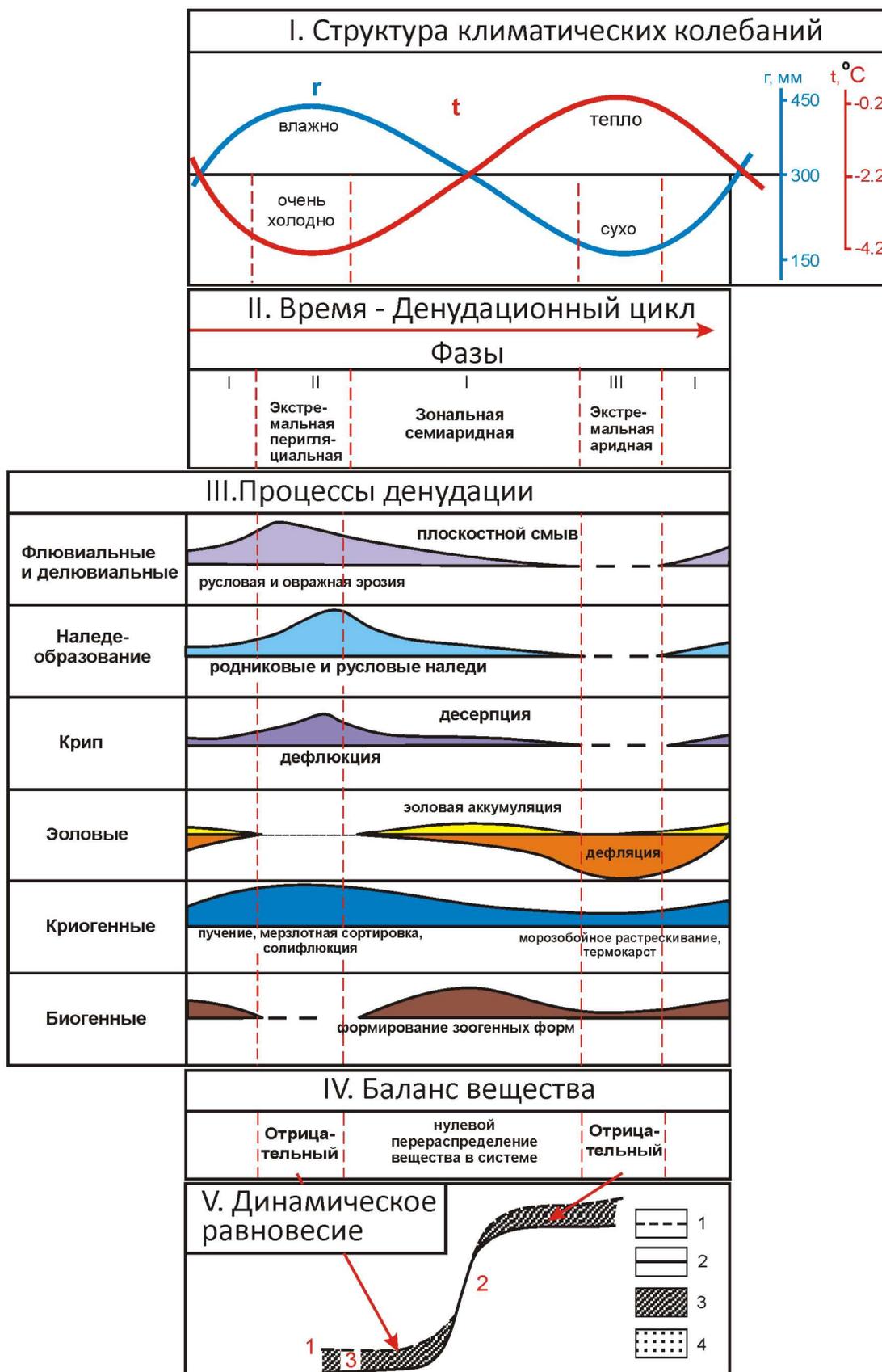
**В.** Преобразование рельефа в экстремальную (аридную) фазу дефляционного выноса вещества из системы (сценарий 1979 г.). Ведущие процессы: 1 – очень сильная дефляция в сочетании с эоловой коррозией и температурным выветриванием; 2 – сильная дефляция в сочетании с десерпцией и слабым смывом; 3 – умеренная 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 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 сухими и относительно теплыми (рис. 7).

В нормальную (зональную) фазу интеграции вещества происходит обмен веществом и энергией между элементами системы, вынос из системы незначителен (рис. 7). Ближний транспорт вещества сопровождается максимальным преобразованием 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*. Вынос вещества из системы осуществляется флювиальными потоками, формирующимися в результате таяния родниковых наледей и ливневого стока при резкой активизации солифлюкционно-наледных процессов. В зоне вогнутых перегибов склонов у подножий уступов педиментов «подновляются» мерзлотные забои. На педиментах активны дефлюкция, плоскостной и струйчатый смыв. Высокий подъем уровня грунтовых вод и массовое развитие наледей практически во всех падях [Фриш, 1966] приводят к образованию мерзлотных долинных поясов, при разрушении которых водными потоками выносятся большой объем материала. Объем твердого стока в целом по бассейну Шилки превышает фоновый более чем в 15 раз и достигает  $158 \text{ т/км}^2$ . Вынос же из элементарных литосборных бассейнов верхних звеньев гидрографической сети достигает 60-80 т/га [Баженова, 2007].

В период дальнейшего снижения увлажненности региона система вновь возвращается к нормальной зональной фазе интеграции вещества в днище пади и делювиальных шлейфах. При снижении увлажнения до минимума она вступает в заключительную фазу функционирования - *экстремальную аридную фазу выравнивания рельефа за счет мощной дефляцион-*



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

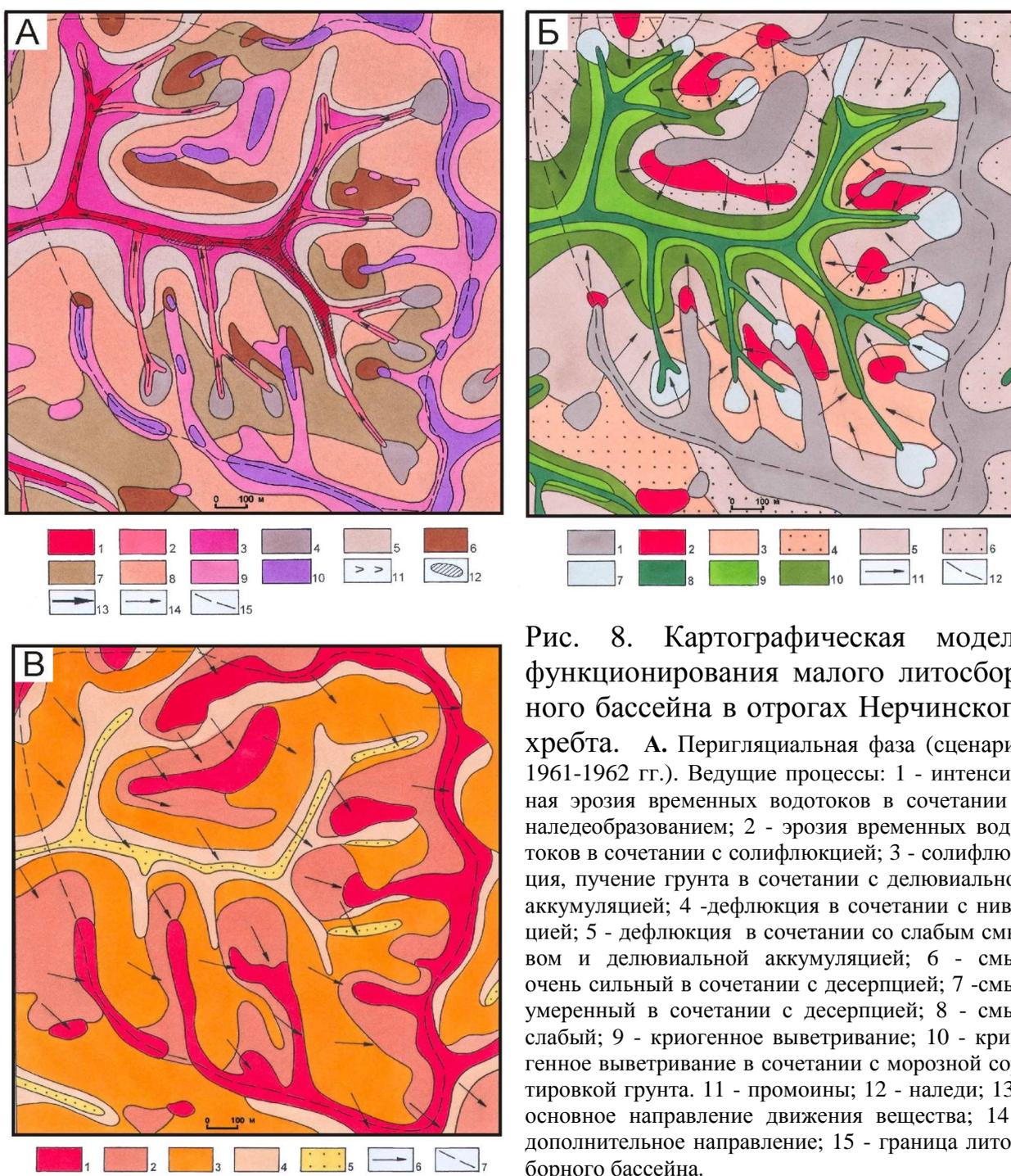


Рис. 8. Картографическая модель функционирования малого литосборного бассейна в отрогах Нерчинского хребта. А. Перигляциальная фаза (сценарий 1961-1962 гг.). Ведущие процессы: 1 - интенсивная эрозия временных водотоков в сочетании с наледеобразованием; 2 - эрозия временных водотоков в сочетании с солифлюкцией; 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 - смыл очень сильный в сочетании с десерпцией; 7 - смыл умеренный в сочетании с десерпцией; 8 - смыл 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 1976г.) Ведущие процессы: 1 - физическое выветривание, умеренная дефляция; 2 - интенсивный плоскостной смыл от стока ливневых вод в сочетании с дефляцией; 3 - плоскостной смыл умеренный с дефляцией, десерпцией, морозобойным растрескиванием; 4 - плоскостной смыл умеренный в сочетании с эоловой аккумуляцией; 5 - плоскостной смыл слабый от стока дождевых вод в сочетании со слабой дефляцией и морозобойным растрескиванием; 6 - слабый плоскостной смыл, эоловая аккумуляция; 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.) 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.

*ной 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. Объем выносимого эолового вещества с поверхности степных склонов варьирует от 10-16 до 25-50 т/га, а с вершинных поверхностей достигает 100т/га и более в год [Любцова, 1997]. 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 Амура, куда в перигляциальную фазу денудационного цикла направлен основной поток наносов, а также поставляют вещество в область транзита и аккумуляции вещества обширной восточноазиатской эоловой морфодинамической системы (аридная фаза).

Таким образом, при прочих равных условиях различные сочетания ландшафтно-климатических параметров могут вызывать в одних случаях расчленение рельефа, в других выравнивание, а в третьих денудация сопровождается сохранением морфологического облика рельефа в условиях динамического равновесия. 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], в Западном Забайкалье на участках сужения долин, пересекающих горные хребты (Хамар-Дабанский, Калиновский, Боргойский, Заганский и др. ветровые коридоры) и в Баргузинской котловине [Антощенко-Оленев, 1982].

Схемы современного функционирования денудационных систем получены для начала, средней части и конца анализируемого пространственного ряда 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 ближайшем будущем.

Обобщение разрозненных данных по морфологии и динамике рельефа, а также строению опорных разрезов четвертичных отложений, полученных для отдельных 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 делюви-

альных 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, иногда включая 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 практически во всех субаридных морфоклиматических районах. 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 залегают в виде покровных глин, которые отличаются однородностью – постоянством окраски, структуры, сложения. Они не слоисты, от всех остальных пород отличаются очень 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 геологического 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]. Помимо пролювиальных шлейфов и речных террас, раздуванию здесь подвергаются отложения внутренних дельт, образуемых реками при выходе из гор Восточного Саяна.

В Байкальской котловине, согласно последним 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 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.

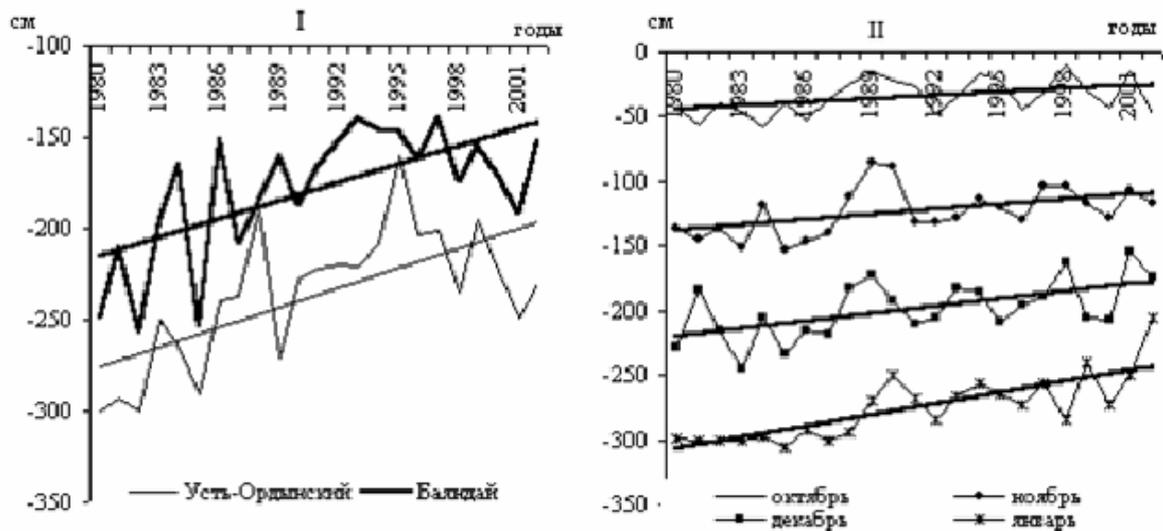
**4. Процессы денудации в островных степях юга Сибири отличаются высокой чувствительностью и быстрой реакцией на отмечающееся потепление климата и изменение хозяйственной деятельности, что выражается в повышении разнообразия и контрастности режимов экзогенного рельефообразования в конце XX столетия.**

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. Основное внимание в работе уделялось исследованию отклика на климатический сигнал эрозионных, эоловых и криогенных процессов, играющих ведущую роль в экзогенном рельефообразовании в степях.

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 экспериментальные материалы стационарных наблюдений. Коэффициенты корреляции измеренных и расчетных скоростей процессов достаточно высоки. В большинстве случаев при определении тенденций изменения того или иного экзогенного 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 юга Сибири, обладающего высокой чувствительностью и уязвимостью к потеплению климата, а процессы потепления отличаются значительными темпами. Процессы деградации многолетней мерзлоты проявляются здесь в повышении температуры поверхности почвы и температуры верхних горизонтов грунта, сокращении числа дней с морозом на разных глубинах деятельного слоя, уменьшении глубины и скорости сезонного промерзания [Баженова, Мартыанова, 2003].

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).



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

Помимо роста температур воздуха, в этом районе следует отметить отопляющую роль снежного покрова, высота которого в исследуемый период заметно увеличивается с коэффициентом линейного тренда 0,02-0,33 см/год. Ускоренный характер процессов деградации ММП в Приангарье и Прибайкалье сопровождается активизацией термокарста и сокращением площади подземного оледенения пещер [Трофимова, 2000].

В восточных наиболее холодных степных районах почвы и грунты обладают большой инерционностью к климатическим колебаниям, т.е. отмечается их медленная (запоздалая) 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, Китоя, Иркуты, Тыпты, Баяндайки и других рек (Приангарье) и в падах Забайкалья. Следы деградации мерзлотных форм рельефа четко прослеживаются и в Убсунурской котловине [Чистяков, 1997].

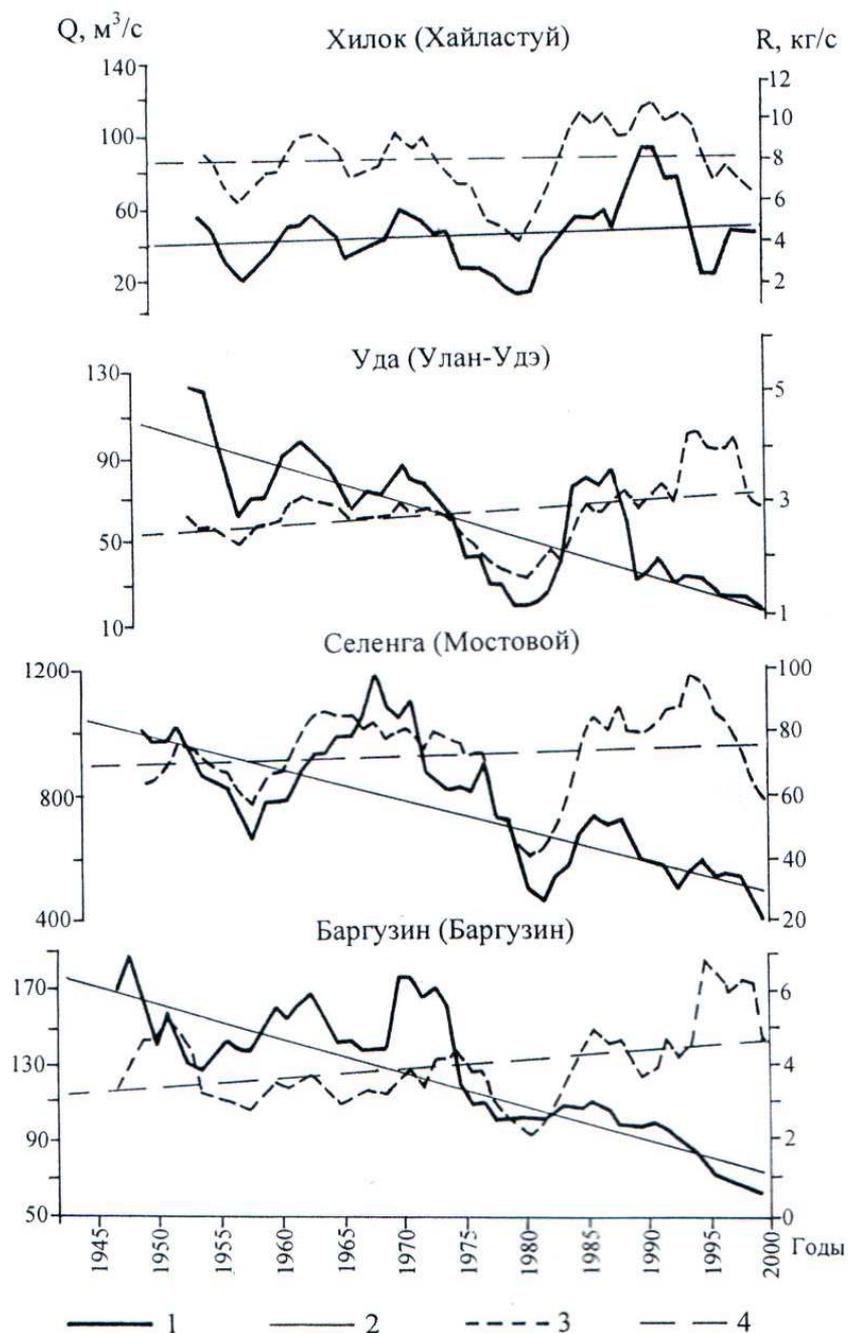
На основе статистического анализа многолетних рядов наблюдений за стоком взвешенных наносов выделены бассейны, объединенные в четыре района с различными тенденциями поведения *эрозионных процессов*.

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 и снижением запасов воды в снеге, 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 бассейнах Унги, Осы, Залари, Оки, Белой и других притоков Ангары.

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 за последние 20-25 лет. 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).

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



**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.

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 взвешенных 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 для бассейнов 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 Баргузинской, 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 Ангаро-Ленской лесостепи. В Прибайкалье тенденция усиления эоловых процессов отмечается на фоне повышения аридности климата на протяжении XIX и XX вв., выявленной дендроиндикационными исследованиями [Воронин и др. 2000]. 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, степные центрально-азиатские, лесостепные и опустыненно-степные системы, 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.

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

Таблица 2 - Тенденции изменения экзогенных процессов, обусловленные климатическими трендами

Морфоклиматический район	Климатические тренды		Направленность процессов							
	средне-годовая температура воздуха, °С/год	годовая сумма осадков, мм	бассейно-вая эрозия	склоновый ливневой смыв	талый сток и смыв	нивазия	дефлюкция	эоловые		деградация многолетне-мерзлых пород
								пыльные бури	климатический показатель дефляции	
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	+	+	+	+	+
Кзылский	0,09	-0,99	-	+	+	0	-	+	+	+
Убусунурский	0,05	0,49		+	+	+	-	-	-	+

систем к климатическим колебаниям и характера климатического сигнала (соотношения трендов тепла и влаги).

Лимитирующим фактором изменения режимов функционирования систем выступает влага. 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. получат развитие процессы, свойственные подтаежным территориям.

Тенденция снижения увлажненности в настоящее время хорошо выражена в Ангаро-Ленском лесостепном районе, в котором возрастает роль эоловой миграции вещества, в Селенгинско-Хилокской степи, а также в опустыненных степях Тувы и Приольхонья, где трансформация экзогенных режимов идет по ариднему типу. 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 на ближайшую перспективу.**

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 и 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 (модуль стока взвешенных наносов  $< 15 \text{ т / км}^2 \text{ в год}$ ), значительный ( $15-30 \text{ т / км}^2 \text{ год}$ ), чрезвычайный ( $30-50 \text{ т / км}^2 \text{ год}$ ) и катастрофический ( $> 50 \text{ т / км}^2 \text{ год}$ ). 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 начинается с 2010 г., Енисея и Ангары – 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).



ляют 93 года, то между вторым и третьим прошло всего 14 лет, т.е. можно говорить о росте частоты их повторяемости.

В Забайкалье (Удинская степь) также установлена приуроченность экстремальных эоловых событий к максимумам циклов солнечной активности (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., когда скорость движения эоловых форм рельефа достигала 13,5 м/год. В 1970, 1979-1981, 1992 и 2002 гг. песком заносились большие площади сельскохозяйственных земель и некоторые населенные пункты. Такой же механизм формирования экстремальных эоловых ситуаций 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]. Оценка вероятности развития эоловых процессов различной интенсивности позволила ранжировать риски по степени опасности их проявления на приемлемый, значительный, чрезвычайный и катастрофический.

Чередование экстремальных проявлений эрозионных и эоловых процессов в островных степях юга Сибири 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 в островных степях юга Сибири 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 проявляется в виде последовательных рядов морфоклиматических районов, в которых структура процессов и режим функционирования денудационных систем закономерно изменяются вдоль векторов аридности и континентальности климата. С севе-

ро-запада на юго-восток в островных степях понижается интенсивность дефлюкции, флювиальной эрозии, талого смыва и нивации, но повышается роль криогенных процессов, дефляции, увеличивается неравномерность хода процессов во времени и количество экстремальных проявлений процессов.

3. Ход денудационных процессов четко упорядочен во времени. Для них характерны трехфазные денудационные циклы различной продолжительности. Денудационный цикл включает продолжительную зональную фазу интеграции вещества в системе, во время которой вещество перераспределяется в системе, и экстремальные фазы 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. В результате такого перераспределения, в одних случаях происходит расчленение рельефа (среднесибирский тип денудации), в других - выравнивание (минусинский тип денудации), 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. Механизм отличается устойчивостью, так как он установлен не только современными многолетними наблюдениями, но обнаруживается в строении опорных разрезов четвертичных отложений. При этом переключателем перестроек процессов выступают климатические колебания.

6. 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. Поэтому степи следует отнести к географическим зонам с высокими темпами денудации, что, вероятно, и обеспечивает за длительную историю развития равнинность степей.

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 (модели) 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 для публикации ВАК:**

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

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

**3. Баженова О.И.** Крупномасштабное картографирование динамики современных экзогенных процессов // География и природные 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 природные ресурсы. – 1993. - № 4. – С.17-22.

**5. Баженова О.И.** Эрозионноопасные земли Канской котловины // География и природные 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 природные ресурсы. – 1995. - № 3. – С.38-51.

**7. Баженова О.И.** Эрозионная опасность дождей в южных районах Восточной Сибири // География и природные 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. - Том 357. - № 1 – С. 108-111.

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

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

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

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

16. Korytny L.M., **Bazhenova O.I.**, Martianova G.N., Plyicheva 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.

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

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

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

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

21. **Баженова О.И.** Структура денудационных циклов в лесостепях Средней Сибири // География и природ. ресурсы. – 2008. - № 4. – С. 7-17.

22. **Баженова О.И.** Эколого-геоморфологические последствия консервации сельскохозяйственных земель в бассейне оз. Байкал // География и природные ресурсы. – 2009. - № 3. – С. 55-61.

23. **Баженова О.И.**, Тюменцева Е.М. Структура современной денудации в степях Минусинской котловины // География и природные ресурсы. – 2010. - № 4. – С. 86-94.

24. **Баженова О.И.** Динамические типы денудации в островных степях юга Сибири // География и природные ресурсы. – 2011. - № 2. – С. 23-32.

#### **Статьи в рецензируемых журналах:**

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

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

#### **Статьи в сборниках и материалах конференций:**

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

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

29. **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.

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

31. 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.

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

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

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

35. **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.

36. 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.

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

#### **Коллективные монографии:**

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

39. **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.

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

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

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