

О. И. БАЖЕНОВАИнститут географии им. В. Б. Сочавы СО РАН,
664033, Иркутск, ул. Улан-Баторская, 1, Россия, bazhenova@irigs.irk.ru**СИБИРСКАЯ ШКОЛА ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЙ ГЕОМОРФОЛОГИИ**

Рассмотрены итоги полевых геоморфологических экспериментов в Сибири, выполненных на стационарах Института географии им. В. Б. Сочавы СО РАН за 60-летний период. Описаны методы наблюдений за ходом процессов. Представлена уникальная база количественных данных по современной динамике рельефа. Приведены скорости медленного массового движения грунтов на склонах, делювиальных, эоловых и русловых процессах. Обобщены материалы наблюдений по многолетним временным рядам. Большое внимание уделено результатам изучения склоновых процессов. Показан вклад стационарных исследований в решение фундаментальных проблем геоморфологии. Подчеркнута роль полевых экспериментов в познании временной организованности геоморфологических систем. Исследованы динамические фазы внутривековых циклов экзогенного рельефообразования. Получены модели современного функционирования денудационных систем, которые охватывают все возможное разнообразие динамических фаз и морфоклиматических обстановок денудации в семиаридных условиях юга Сибири. Установлено, что пространственная упорядоченность экзогенного рельефообразования на юге Сибири проявляется в виде регионального ряда коррелирующих денудационных систем, структура которых и режим функционирования закономерно изменяются вдоль векторов аридности и континентальности климата. Показана пространственная упорядоченность эоловых литопотоков, которые вовлечены в единый круговорот вещества, закрученный по часовой стрелке и перемещающий эоловый мелкозем вдоль северных субаридных предгорий горного пояса Южной Сибири. Отмечена важная роль результатов наблюдений за динамикой рельефа для решения экологических проблем. Намечены перспективы дальнейшего развития экспериментальных геоморфологических исследований в Сибири с использованием высокоточных приборов, ГИС-технологий и других современных методов.

Ключевые слова: полевые эксперименты, динамика рельефа, элементарные бассейны, баланс вещества, пространственная упорядоченность денудации, временная организованность геоморфологических систем.

O. I. BAZHENOVAV. B. Sochava Institute of Geography, Siberian Branch, Russian Academy of Sciences,
ul. Ulan-Batorskaya, 1, Irkutsk, 664033, Russia, bazhenova@irigs.irk.ru**THE SIBERIAN SCHOOL OF EXPERIMENTAL GEOMORPHOLOGY**

This paper considers the results of geomorphological field experiments in Siberia conducted at the permanent stations operated by the V. B. Sochava Institute of Geography SB RAS for a 60-year period and describes the observation methods. A unique database of quantitative data on the modern relief dynamics is provided. The rates of slow mass motions of soils on slopes, and also of the deluvial, aeolian and channel processes are presented. Observations for long-term time series are summarized. Much attention is paid to the results from investigating the slope processes. The contribution of stationary investigations to the solution of fundamental problems in geomorphology is shown. The role of field experiments in understanding the temporal organization of geomorphological systems is emphasized. Dynamic phases of the intrasecular cycles of exogenous relief formation are investigated. Models of the contemporary functioning of denudation systems that cover all possible variety of dynamic phases and morphological and climatic conditions of denudation in semi-arid conditions of southern Siberia are obtained. We found that the spatial ordering of exogenous relief formation in the south of Siberia is manifested in the form of a regional series of correlative denudational systems whose structure and functioning mode naturally vary along the aridity and continentality vectors of climate. The spatial ordering of aeolian lithostreams is shown, which are involved in a common cycle of matter spinning clockwise and moving aeolian fine material along the northern subarid foothills of the mountain belt of Southern Siberia. An important role of the observation results on the relief dynamics for solving ecological problems is pointed out. Prospects for a further development of experimental geomorphological research in Siberia using high-precision instruments, GIS technologies and other modern methods are outlined.

Keywords: field experiments, dynamics of relief, elementary basins, balance of matter, spatial ordering of denudation, temporal organization of geomorphological systems.

ВВЕДЕНИЕ

В ноябре 2017 г. Институт географии им. В. Б. Сочавы СО РАН отметил свой 60-летний юбилей. На научной сессии, посвященной этому событию, был проведен смотр научных школ, созданных в институте. Среди них достойное место занимает сибирская школа экспериментальной геоморфологии, возникшая на базе широкомасштабных экспериментальных географических работ, инициированных акад. В. Б. Сочавой [1, 2]. Школа объединяет исследования процессов экзогенного рельефообразования с помощью полевых измерений динамики земной поверхности. Они направлены на получение достаточно точных количественных данных о современных рельефообразующих процессах, необходимых для их прогноза и управления, а также для развития теоретической геоморфологии [3]. Наблюдения были частью комплексных физико-географических работ, выполнявшихся с 1958 г. по единой методике на стационарах Института географии Сибири и Дальнего Востока СО АН СССР (сейчас Институт географии СО РАН) несколькими поколениями исследователей под руководством профессора Л. Н. Ивановского [4, 5]. Институтом была создана целая сеть стационаров, составляющих единую систему в пространстве климатических параметров [6].

У истоков этих работ в Юго-Восточном Забайкалье стояли В. П. Чичагов, Э. В. Фриш и З. А. Титова, в приангарской тайге — В. А. Войлошников, в долине Иртыша — И. Б. Петров, в Южно-Минусинской котловине — И. Н. Рашба и Р. И. Салюкова, в Назаровской котловине — Л. Н. Ивановский и О. И. Баженова. Большой вклад в экспериментальные геоморфологические исследования института внесли Е. М. Тюменцева, Э. П. Кейда, В. Б. Выркин, Ю. В. Рыжов, А. Г. Алешин, В. М. Плюснин, Д. Д. Перевозников, С. А. Макаров, Е. В. Небесная, Н. И. Чернышев. С их участием выросло число пунктов наблюдений. Исследованиями были охвачены таежная, лесостепная и степная зоны равнин Сибири и все высотные пояса гор Южной Сибири — от днищ межгорных котловин до высокогорий. Полевые геоморфологические эксперименты выполнялись и в других учреждениях Сибири. При этом центр этих исследований географически и исторически расположен в Иркутске, где успешно развивается целая плеяда из 11 школ геолого-геоморфологического профиля. В их работе наиболее высокой научной эффективностью выделяется школа экспериментальной геоморфологии [7]. Успех экспериментальных геоморфологических работ в Сибири обеспечен многими составляющими, среди которых следует особо подчеркнуть системный подход к объектам исследования, использование комплекса взаимодополняемых методов, широкий региональный охват и большую продолжительность рядов наблюдений.

Учитывая существенный вклад школы в создание фактологической базы геоморфологии Сибири, представляется полезным вспомнить историю становления этих работ, подвести некоторые итоги и наметить перспективы дальнейших исследований.

МЕТОДИКА НАБЛЮДЕНИЙ

Наблюдения велись за скоростью выветривания горных пород, медленным массовым смещением склонового чехла, ходом криогенных, эоловых, делювиальных и русловых процессов, обвалами, оползнями, селями, овражной эрозией в различных природных условиях Сибири. Современные экзогенные процессы изучались на полигонах — трансектах [5, 8]. Наиболее детально наблюдения выполнялись на степных стационарах, где геоморфологи изучали перемещение продуктов выветривания на склонах путем смыва, ветрового перераспределения в зависимости от рельефа, состояния почвогрунтов, хода метеорологических элементов, характера растительного покрова, наличия сезонной и островной мерзлоты, зоогенной деятельности.

Разнообразие и сложность смены процессов перемещения рыхлого материала на поверхности склонов по сезонам и по годам потребовали применения ряда взаимодополняемых методик, что позволило перепроверить полученные данные (рис. 1). В этих работах были использованы металлические реперы — шпильки (см. рис. 1, *а*) [9], стоковые площадки и полустационарные лотки-ловушки, изготовленные по методике В. Л. Суходровского [10]. С 1971 г. наблюдения по шпилькам контролировались и дополнялись измерениями с помощью рам, предложенных Я. А. Кемпбеллом [11] и использованных на Харанорском стационаре (см. рис. 1, *б*) и в Назаровской котловине.

Шпильки устанавливались группами таким образом, чтобы охватить все главнейшие элементы склонов при различных экспозициях и уклонах. На каждом полигоне размещалось несколько сотен шпилек. Так, на полигоне у станции Харанор в степном Забайкалье шпильки установили на девяти площадках размером от 15 × 40 до 15 × 160 м. На этих площадках с 1964 по 1975 г. было задейство-

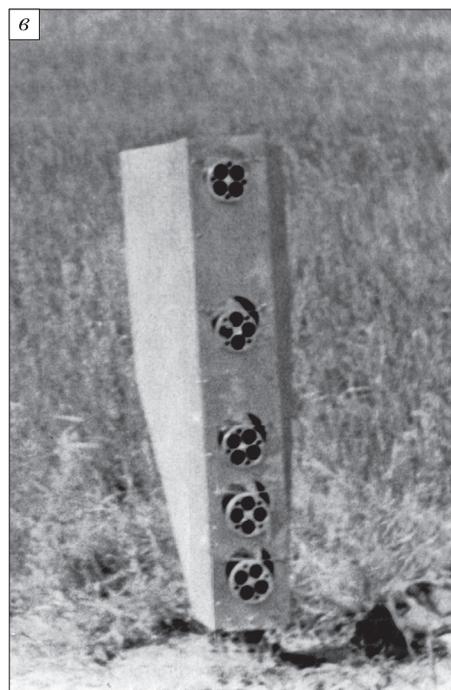


Рис. 1. Приборы для изучения перемещения вещества на степных склонах юга Сибири.

а — металлические реперы — шпильки (квадратики из белой бумаги надеты для фотографирования); *б* — рама Кэмпбелла; *в* — дефляметр.

вано 1500 шпилек. В 1976 г. к ним добавили еще 600 [5]. Рядом были оборудованы стоковые площадки и площадки рам. При этом ошибки измерений на шпильках или отдельные замеры рам компенсировались усреднением множества замеров. Таким способом определялись общее направление процесса перераспределения мелкозема и порядок величин сноса или аккумуляции.

Для наблюдений за эоловой миграцией вещества использовались пылеуловители в виде металлических ящиков (56 × 56 см) высотой 10 см. Изучение эоловых процессов велось круглогодично, принесенный ветром мелкозем из ящиков извлекался ежемесячно. Для наблюдений применялись также дефляметры нашей конструкции, оборудованные флюгером и позволяющие замерять ветровой перенос на высоте до 1 м от поверхности земли (см. рис. 1, *в*).

Массовые движения склонового чехла изучались на двух стационарах на севере и юге Минусинского межгорного понижения с помощью дифференциальных измерителей смещения грунтов (ДИСГ), сконструированных автором совместно с И. Н. Рашбой и изготовленных на опытном заводе Иркутского научного центра. В таежном Приангарье В. А. Войлошников [13] выполнял наблюдения за криогенным сползанием с помощью цилиндрических реперов, заложенных на шести опытных площадках в 1963–1964 гг. Одновременно на этих же площадках фиксировались сезонные изменения температур и влажности грунтов, а также динамика гидротермических движений земной поверхности.

На каждом стационаре геоморфологические исследования выполнялись на основных площадках полигонов-трансектов и на нескольких ключевых участках, имеющих более узкую специализацию наблюдений за одним или двумя процессами — динамикой криогенных процессов, нивацией, овражной эрозией и др. Особые подходы использовались при организации и проведении исследований геоморфологических процессов на антропогенно нарушенных землях. На участках открытой угледобычи наблюдения на склонах отвалов вскрышных пород сопровождались измерениями перемещения вещества на естественных склонах — аналогах, позволяющих определить антропогенную составляющую морфолитогенеза. Динамика поверхности склонов на сельскохозяйственных землях отслеживалась путем замеров высоты оголенной или засыпанной корневой шейки растений, определения объемов водорослей по методике Соболева, снегосъемок, смещения маркеров и др.

Стационарные исследования экзогенных процессов дополнялись маршрутными описаниями, детальным картографированием динамики процессов, изучением состава и строения рыхлых отложений. Богатый фактический материал детальных многолетних стационарных наблюдений за ходом процессов обеспечивает достоверность и обоснованность выводов.

РЕЗУЛЬТАТЫ НАБЛЮДЕНИЙ

В обширной базе данных, полученных в ходе полевых геоморфологических экспериментов в Сибири, преобладают сведения по динамике склоновых процессов, поскольку склоны — самые распространенные формы рельефа. Особенно представительны данные по перемещению материала на поверхности степных склонов [8]. Хотя наблюдения за смывом почв на степных склонах в не нарушенных человеком естественных условиях проводились в различных районах юга Сибири и разными исследователями, измеренные скорости процессов близки и изменяются от сотых долей миллиметра на пологих склонах до первых миллиметров на крутых склонах (см. таблицу).

Богатый фактический материал получен по региональным особенностям и интенсивности эоловой миграции вещества на юге Сибири [8, 14–17]. В Назаровской лесостепи за год через метровое сечение ширины наветренного склона ветром переносится 1,5–3 г мелкозема, в Онон-Аргунской степи — 70–190 г, т. е. в 25–60 раз больше [8]. В Койбальской степи эта величина без весеннего периода составляет 30–110 г [14], а в степном Приольхонье — 300–700 г [15]. С повышением интенсивности дефляции увеличивается и размер переносимого материала. В лесостепи ветром слабо переносится пыль, в степях в движение вовлекается песок. На Байкале, в Приольхонье, во время штормовых ветров движется дресва и мелкая щебенка, которая перемещается периодическим скольжением на расстояние 30–40 см при наиболее сильных порывах ветра [15].

Многочисленными экспериментальными исследованиями доказано, что массовое смещение материала (крип), включающее десерпцию и дефлюкцию, распространено в Сибири практически повсеместно, однако интенсивность и конкретные формы его проявления испытывают значительные колебания. Они зависят от ряда факторов — влажности смещаемых отложений, их литологического состава, интенсивности гидротермических движений. По данным натурных наблюдений, в тайге Нижнего Приангарья скорость крипа не превышает 40 мм/год [18]. В условиях недостаточного увлажнения степей эти скорости еще меньше, что подтверждают данные стационарных наблюдений [19].

Представляет интерес сравнение данных по скорости смещения склонового чехла в районах недостаточного увлажнения, полученных разными исследователями. Большинство наблюдений проводилось на склонах средней крутизны (15–35°), которые в районах недостаточного увлажнения, как правило, сухие. Поэтому и скорости смещения на таких склонах не превышают 3,5 мм/год. Результаты наблюдений на склонах средней крутизны также показывают, что процессы смещения грунтов на них очень медленные, поскольку грунты слабо подвижны. Проведение наблюдений на пологих склонах (5–15°) позволяет сделать вывод о том, что в районах недостаточного увлажнения именно на них интенсивность дефлюкционных процессов достигает максимума.

Скорость смыва почв на степных склонах в южных районах Сибири [8]

Район исследования	Крутизна склона, град	Скорость сноса, мм/год	Период наблюдений, лет
Юго-Восточное Забайкалье (Онон-Аргунская степь)	3–14	0,02–1,50	18
	3–7	0,02–0,04	2
	12–14	0,07–2,3	
Баргузинская котловина	25–30	0,6–1,0	7
Мондинская котловина	30–32	0,7–0,9	5
Торская котловина	24–29	0,3–0,5	
Остров Ольхон и Приольхонье	40–45 20	0,0073 0,0011	7
Назаровская котловина	5–10	0,03–0,10	5
	10–20	0,2–0,8	
	>20	1,2–1,5	
	25–28	0,5–2,8	12
	32	0,85–1,15	12
20–25	0,09–0,72	9	
Южно-Минусинская котловина (Койбальская степь)	17–20	0,44	6
	3–9	0,02	

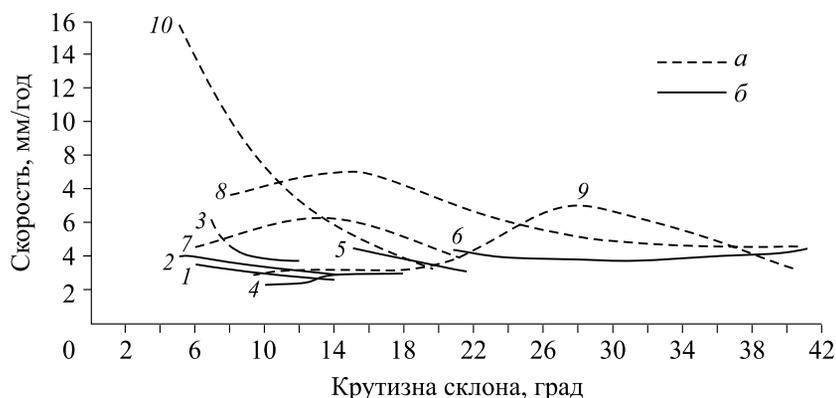


Рис. 2. Изменение скорости процессов массового движения суглинистых (а) и супесчано-щебнистых (б) грунтов в зависимости от крутизны склонов по данным экспериментальных наблюдений.

1 — Южно-Минусинская котловина [19, 20]; 2 — Среднее Поволжье [21]; 3 — Назаровская котловина [19]; 4 — Центральная Якутия [10]; 5 — Центральная Монголия [22]; 6 — Южная Якутия [10]; 7 — Центральная Якутия [10]; 8 — Южная Якутия [10]; 9 — бассейн р. Дон [23]; 10 — Назаровская котловина [19].

Особенно четко эта закономерность выявилась при графическом рассмотрении зависимости скорости смещения грунтов разного гранулометрического состава от крутизны склонов (рис. 2). Видно, что грубодисперсные (супесчано-щебнистые) грунты смещаются по склонам очень медленно. Скорость их движения не превышает 2,5 мм/год и почти не зависит от крутизны склонов. Это связано с тем, что грубодисперсные грунты, обладающие низкой влагоудерживающей способностью, слабо увлажнены как на крутых, так и на пологих склонах. Интенсивность движения суглинистых грунтов контролируется углом наклона поверхности, по которой они смещаются. Каждому району присуща своя крутизна, при которой скорость смещения достигает максимума (см. рис. 2). В лесостепи высокая подвижность грунтов сочетается с продолжительным периодом дефлюкционного смещения (3–4 мес.), в степи он составляет 1,5–2 мес. В тайге и лесостепи мощность смещающегося грунта достигает в среднем 120 см. В Онон-Аргунской степи этот показатель составляет 80 см, а в Койбальской степи сокращается до 50–60 см.

Установлено, что на нижних элементах склонов в Онон-Аргунской степи и в Назаровской лесостепи периодически возникают условия для солифлюксии, скорость которой во втором районе достигает 15–20 мм/год [19]. В тайге солифлюксия получила развитие на склонах северной экспозиции, сложенных мелкодисперсными влажными грунтами, движущимися со скоростью 1–5 м/год [18].

Выполнялись также наблюдения за развитием курумов. Выявлено, что локализация обломочного материала в виде полос каменных потоков указывает на его высокую подвижность, а беспорядочное нагромождение (россыпь) — на слабую подвижность. По интенсивности развития выделены курумы интенсивно развивающиеся (скорость их движения — 10–12 см/год), развивающиеся со средней интенсивностью (5–6 см/год), слабо активные (1–3 см/год) и недействующие [13]. Экспериментальным путем В. А. Войлошников [18] определил скорость физического, химического и биогенного выветривания горных пород. Гравелиты, алевролиты и аргиллиты выветриваются со скоростью 1–2 см/год, мелкозернистые породы — 0,5–1, кристаллические породы (траппы) — 0,1–0,3 см/год.

Интересные данные получены Д. Д. Перевозниковым [24] по интенсивности денудации тектонических склонов Южно-Байкальской впадины на участке порт Байкал — Култук в зоне Приморского и Присяянского разломов, где ведущую роль играют обвалы. Среди процессов выветривания коренных пород преобладает десквамация, которая усиливается обильной трещиноватостью пород и континентальностью климата. Замерами установлено, что увеличение трещиноватости в 2–3 раза приводит к 5–7-кратному увеличению объема выветрившегося материала. На разных типах фасет средняя скорость денудации варьирует от 0,1 до 3,48 мм/год [24].

В ходе экспериментальных исследований получен богатый фактический материал по динамике оврагообразования [8, 25], систематизированный Ю. В. Рыжовым [26]. Определенные успехи следует отметить и в изучении русловых процессов крупных равнинных рек Сибири, в долине нижнего Иртыша, средние скорости отступления береговых склонов которого изменяются от 0,4 до 7 м/год [27]. В 2003–2007 гг. в дельте Селенги процессы боковой эрозии достигали 3–4 м/год [28].

Таким образом, за более чем полувековой период стационарных и полустационарных исследований получена уникальная база данных по современной динамике рельефа Сибири, которая не имеет аналогов в мире как по продолжительности временных рядов, так и по пространственному охвату территории исследования. Она позволяет совершенствовать наши представления о закономерностях экзогенного рельефообразования в целом и о региональных особенностях его проявления. Эти материалы, содержащие сведения о факторах, механизмах и интенсивности процессов, еще многие годы будут востребованы при решении различных геоморфологических задач.

ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Остановимся на некоторых, на наш взгляд, наиболее перспективных направлениях исследований, в которых в настоящее время достигнуты геоморфологически значимые результаты.

Количественные данные об интенсивности процессов, полученные на стационарах, открывают возможности для широкого использования балансового метода при *выяснении направленности изменения рельефа земной поверхности*. Определение баланса перемещаемого вещества часто проводят при изучении склоновых процессов, когда необходимо выяснить, в каком направлении изменяется профиль склона. Так, на базе многолетних стационарных наблюдений подсчитан баланс вещества и проведена корреляция зон смыва, транзита и аккумуляции делювия с морфологическими элементами степных склонов на юге Сибири [8]. На региональном уровне такой подход успешно использовал Б. П. Агафонов [29], организовавший сеть пунктов стационарных наблюдений за сносом продуктов выветривания в котловину оз. Байкал. Он впервые получил данные об объемах рыхлого материала, поставляемого в Байкал абразией, крипом, плоскостным смывом, селями, оползнями и обвалами, на основании которых создал количественную модель нисходящего литопотока в Байкальскую котловину [29].

Важен вклад экспериментальных исследований динамики рельефа в *изучение формирования склонов*, так как «развитие теории склонов — ведущая проблема и вместе с тем главный путь создания общей теории геоморфологии» [30, с. 230]. В условиях Сибири экспериментальные данные хорошо объясняют механизм формирования широко распространенных здесь педиментов и нагорных террас [10, 19].

В геоморфологическом картографировании данные стационарных наблюдений необходимы при *составлении карт геоморфодинамики*, на которых отображается не только механизм, но и интенсивность преобразования форм рельефа. Экстраполяция стационарных данных на территорию затруднительна. Проще получать количественную информацию расчетным путем, опираясь на теоретические или эмпирические модели процессов, предварительно проверив возможность их применения на опорных полигонах, обеспеченных измеренными значениями объемов перемещаемого вещества. С помощью такой методики была составлена карта геоморфодинамики центральной части Назаровской котловины [31]. Хорошая корреляция измеренных и расчетных скоростей склонового смыва и эоловой миграции вещества позволила, используя универсальное уравнение потерь почв от ливневого смыва и зависимость Уилсона–Кука, вычислить потери почв от эрозии и составить серию среднemasштабных карт эрозионной и дефляционной опасности земель для основных сельскохозяйственных районов юга Сибири [8, 32, 33]. Перспективно применение стационарных количественных данных при картографировании эоловых процессов [17].

Особую ценность представляют многолетние ряды стационарных наблюдений для *познания временной организованности геоморфологических систем*. Институт географии им. В. Б. Сочавы СО РАН имеет все необходимые предпосылки для развития данного направления географических исследований. Суть этих работ заключается в выделении динамических фаз экзогенного рельефообразования. Впервые они были рассмотрены И. Б. Петровым на примере береговых склонов Иртыша, интенсивность и направленность развития которых изменяется циклично в связи с внутригодовым и многолетним чередованием фаз различной водности и передвижением речных наносов [27].

Систематизация длинных рядов полевых экспериментов и данных изучения разрезов позволила установить, что фазы повторяются в геоморфологических циклах различного иерархического уровня — от коротких внутривековых 11-, 27–35-летних до циклов продолжительностью 1850 лет (циклы Шнитникова) и даже 30–35-тысячелетних [34]. Они связаны с малыми и большими циклами (ритмами) климатических колебаний. Важно отметить, что внутренняя структура циклов любого ранга одинакова: смена динамических фаз идет в определенном порядке. Установлены неоднократные смены одного процесса другим, причем в одном и том же порядке. При этом каждому морфоклиматическому району свойственно свое соотношение динамических фаз — свой временной код развития, позволяющий давать прогноз динамики и эволюции рельефа. Так, в Даурской степи за один внутривековой

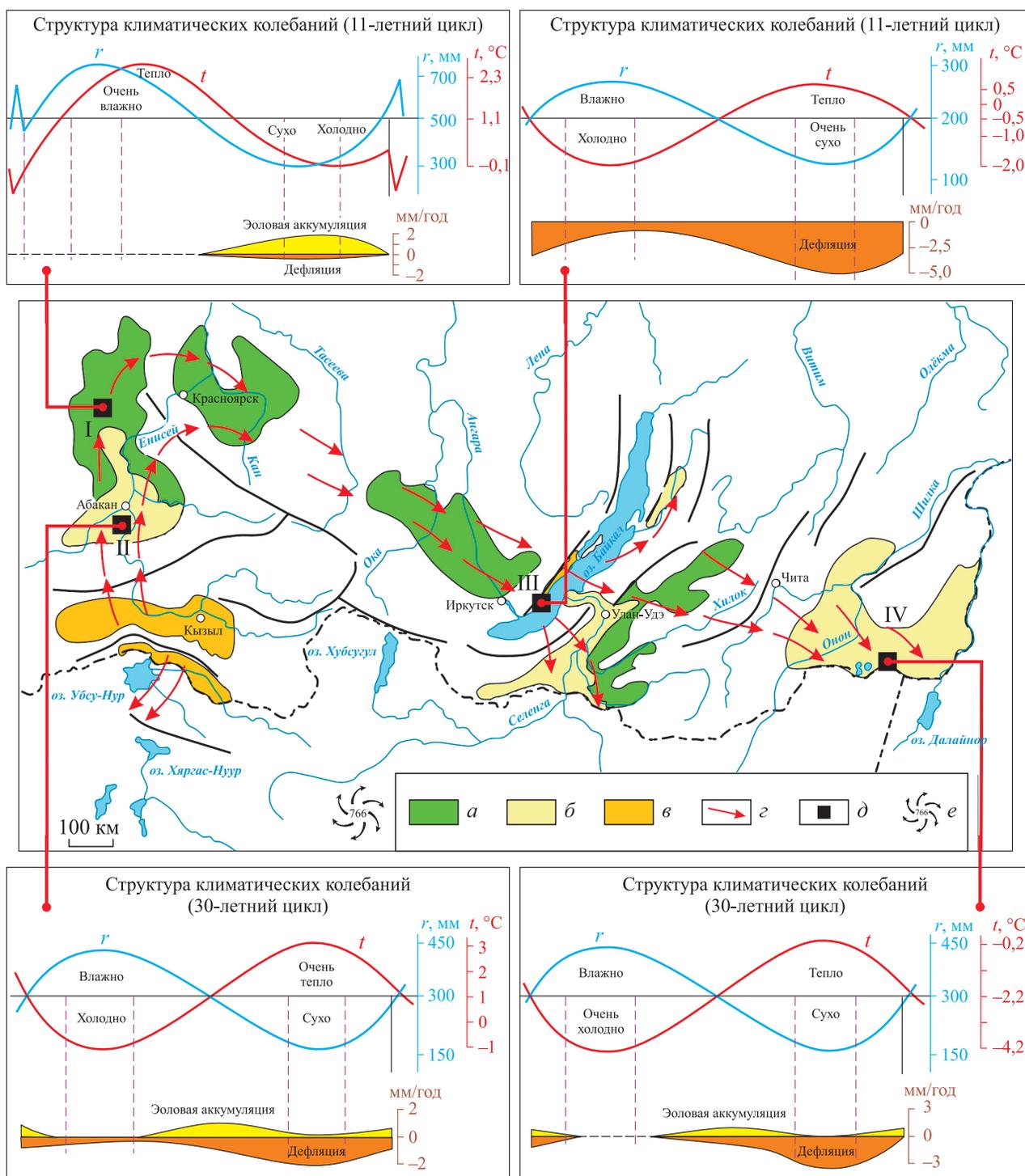


Рис. 3. Модель эолового кругооборота вещества в субаридных предгорьях юга Восточной Сибири по данным экспериментальных наблюдений.

Морфоклиматические районы: *a* – лесостепь, *b* – степь, *v* – опустыненная степь; *z* – основное направление эоловой миграции вещества; *d* – положение пунктов детальных исследований эоловых процессов, для которых приведены схемы внутривековой динамики интенсивности дефляции и эоловой аккумуляции вещества на фоне многолетних колебаний среднегодовой температуры воздуха (*t*) и годовых сумм атмосферных осадков (*r*); *e* – центр Азиатского антициклона.

цикл изменения увлажнения продолжительностью 27–35 лет последовательно происходит смена зональной семиаридной фазы, характеризующейся средними скоростями процессов, фазами «залпового» выноса вещества в экстремальную перигляциальную и аридные фазы [35].

Разветвленная сеть пунктов стационарных наблюдений позволяет использовать их результаты для изучения пространственной организации систем экзогенного рельефообразования на юге Сибири. Климато-геоморфологический анализ данных о механизме, интенсивности проявления и особенностях взаимодействия процессов друг с другом показал, что, помимо широтной зональности и вертикальной поясности, на обширной территории юга Сибири проявляются и другие формы пространственной упорядоченности экзогенного рельефообразования. К ним следует отнести корреспондирующие ряды систем экзогенного рельефообразования, приуроченные к поясу островных степей и лесостепей Сибири. Здесь с северо-запада на юго-восток вдоль векторов изменения аридности и континентальности климата последовательно изменяется структура систем и режим их поведения.

Получены схемы современного функционирования денудационных систем для начала, средней части и конца анализируемого пространственного ряда, которые охватывают все возможное разнообразие динамических фаз денудации и морфоклиматических обстановок рельефообразования в семиаридных условиях юга Сибири [6]. Вместе они составляют единую эргодическую систему внутриконтинентального экзогенного рельефообразования юга Сибири, представляющую инструмент для палеорекоkonструкций динамики рельефа и прогнозных оценок геоморфологических процессов. Пространственно упорядочены и эоловые литопотоки, которые вовлечены в единый круговорот вещества, закрученный по часовой стрелке и перемещающий эоловый мелкозем с юго-запада на северо-восток, далее на восток и юго-восток вдоль северных субаридных предгорий горного пояса Южной Сибири (рис. 3).

Результаты полевых экспериментальных исследований позволили установить особый *триггерный механизм денудации субаридных предгорных равнин юга Сибири*. Суть его заключается в интенсивном выносе продуктов выветривания из горной страны в результате сложного пространственно-временного чередования флювиальных и эоловых процессов. При этом «переключателем» выступают климатические колебания.

Полученные результаты позволяют *расширить временной интервал исследования на голоцен и позднеледниковье*. Такие работы проводятся в южных районах Сибири. При этом перспективными объектами служат малые речные и озерные бассейны, в которых лучше сохраняется интегральная информация о развитии событий в голоцене [36].

Богатейший фактический материал по скорости экзогенных процессов может использоваться при *решении многих экологических задач*, так как отражает состояние окружающей среды. Установленные закономерности экзогенного рельефообразования на юге Сибири, выявленные тенденции изменения интенсивности процессов под влиянием климатического и техногенного факторов могут служить основой в практике землеустройства и землепользования при проектировании противоэрозионных мероприятий. Они важны при оценке геоморфологического риска развития процессов, опасных для жизнедеятельности человека, при создании линейных инженерных сооружений, разработке программы действий по борьбе с опустыниванием, ландшафтном планировании территории и для решения других прикладных задач.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Проведенный краткий анализ результатов многолетних полевых геоморфологических экспериментов показал, что благодаря этим исследованиям, оценивающим геоморфологические объекты «числом и мерой», создан единый банк данных по экзогенному рельефообразованию в Сибири. Эти сведения относятся к тем «эмпирическим фактам», на которых, по В. И. Вернадскому [37], базируется научное познание мира. Их ценность особенно высока потому, что стационарные наблюдения помогли на клеточном уровне проникнуть в механизмы функционирования самых малых элементарных геоморфологических систем. Тем самым получены коды для расшифровки эволюции рельефа и прогнозных оценок. Установленные на стационарах «неоднократные смены одного процесса другими, причем смена в одном и том же порядке, и есть проявление симметрии в экзогенном морфогенезе во времени» [38, с. 522]. Поэтому полевые эксперименты в сочетании с другими методами будут всегда востребованы как для развития теории геоморфологии, так и для решения практических задач.

В настоящее время происходит получение, накопление и систематизация нового эмпирического материала с использованием новейших современных средств слежения за динамикой рельефа. Широкие возможности для получения ценной информации об ареалах распространения, механизмах и

интенсивности процессов открываются при использовании беспилотных летательных аппаратов [39]. Все чаще находят применение лазерные установки, георадары, ГИС-технологии. Среди них особое место занимают 3D-модели рельефа, созданные на экспериментальные бассейны и позволяющие увидеть морфологические следы функционирования бассейна в разные динамические фазы [36].

В Сибири продолжают успешно работать геоморфологические экспериментальные полигоны. Получены новые результаты в Онон-Аргунской степи, где наблюдения проводятся совместно с Дарурским государственным заповедником [17]. За последние годы созданы новые полигоны экспериментальных геоморфологических исследований. Выполняются георадиолокационные исследования динамики ледников и ледникового рельефа в горах Южной Сибири с использованием георадара «Око-2», оснащенного антенным блоком АБДЛ «Тритон» и системой цифровой регистрации радарных данных [40]. В Приольхонье выполняются экспериментальные исследования эрозии почв с помощью установки, имитирующей ливневый дождь [41]. Полевые эксперименты, посвященные изучению динамики эоловых процессов, проводятся на западном побережье Байкала в районе дельты р. Голоустной [42]. В рамках международного проекта исследуется морфолитодинамика дельты р. Селенги, где создана мониторинговая сеть репрезентативных точек наблюдений, оборудованных реперами [43]. На полигоне применяются современные измерительные приборы, такие как самописцы изменений уровня воды в русловой сети (Pressure Transducer), эхолот (Garmin GPS Map 585) с высотной привязкой отметок дна, сонар (single-beam sonar Lawrance), пробоотборник донных наносов и др. [43]. Внедрение современного оборудования вкпе с энтузиазмом исследователей дают надежду, что в ближайшем будущем нас ждут новые интересные эмпирические обобщения.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Сочава В. Б.** Задачи в области физической географии Сибири и Дальнего Востока // Материалы Первого совещания географов Сибири и Дальнего Востока (Иркутск, 18–24 сентября 1959 г.). — Иркутск, 1959. — Вып. 1. — С. 4–10.
2. **Сочава В. Б.** Современная география и ее задачи в Сибири и на Дальнем Востоке // Сиб. геогр. сб. — 1962. — № 1. — С. 5–18.
3. **Симонов Ю. Г., Большов С. И.** Методы геоморфологических исследований. Методология. — М.: Аспект Пресс, 2002. — 191 с.
4. **Ивановский Л. Н., Войлошников В. А., Петров И. Б., Титова З. А.** Некоторые результаты и перспективы изучения современных геоморфологических процессов на стационарах Института географии Сибири и Дальнего Востока СО АН СССР // Докл. Ин-та географии Сибири и Дальнего Востока. — 1967. — Вып. 14. — С. 34–39.
5. **Ивановский Л. Н., Титова З. А.** Основные результаты изучения современных экзогенных процессов на стационарах Института географии Сибири и ДВ СО АН СССР // Методы полевых геоморфологических экспериментов в СССР. — М.: Наука, 1986. — С. 136–149.
6. **Баженова О. И., Плюсин В. М., Снытко В. А.** Реализация программы стационарных географических исследований в Сибири (к 50-летию выхода монографии «Алкучанский Говин») // География и природ. ресурсы. — 2014. — № 4. — С. 5–12.
7. **Лопатин Д. В., Томилов Б. В.** Иркутские научные школы геологии, геоморфологии, палеогеографии и геодинамики кайнозоя. — СПб: Ника, 2011. — 144 с.
8. **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.
9. **Балян Г. А., Раменский Л. Г.** О простейших способах учета смыва почв и определения их защебенности // Почвоведение. — 1954. — № 2. — С. 75–81.
10. **Суходровский В. Л.** Экзогенное рельефообразование в криолитозоне. — М.: Наука, 1979. — 280 с.
11. **Campbell J. A.** Micro-relief measurement on unvegetated shale slopes // Professional Geogr. — 1970. — Vol. 22, N 4. — P. 215–220.
12. **Титова З. А.** Роль плоскостного смыва и регрессивной эрозии в рельефообразовании степного Забайкалья // Региональная геоморфология Сибири. — Иркутск, 1973. — С. 3–19.
13. **Войлошников В. А.** Криогенное сползание грунтов в Приангарье // Докл. Ин-та географии Сибири и Дальнего Востока. — 1967. — Вып. 14. — С. 79–84.
14. **Титова З. А.** Экспериментальные исследования эоловых процессов в Минусинской котловине // Стационарные исследования природных процессов и качества среды. — Иркутск, 1983. — С. 31–41.
15. **Агафонов Б. П.** Ветровой поток из озера Байкал // Докл. РАН. — 2002. — Т. 382, № 5. — С. 688–691.
16. **Vazhenova O., Tyumentseva E.** Contemporary aeolian morphogenesis in semiarid landscapes of the intermountain depressions of southern Siberia // Catena. — 2015. — N 134. — P. 50–58.

17. Баженова О. И., Кобылкин Д. В., Макаров С. А., Рогалева Н. Н., Силаев А. В., Черкашина А. А. Реконструкция эоловых процессов в степях Даурии в аридные фазы рельефообразования // География и природ. ресурсы. — 2015. — № 3. — С. 126–137.
18. Войлошников В. А. Гидротермические движения грунтов по наблюдениям в южной тайге // Южная тайга Приангарья. Структура и природные режимы южнотаежного ландшафта. — Л.: Наука, 1969. — С. 166–218.
19. Баженова О. И. Закономерности движения рыхлого материала на лесостепных склонах в Назаровской впадине // География и природ. ресурсы. — 1982. — № 2. — С. 98–103.
20. Рашба И. Н. Преобразование рельефа // Природные режимы степей Минусинской котловины (на примере Койбальской степи). — Новосибирск: Наука, 1976. — С. 85–101.
21. Дедков А. П., Дуглав В. А. Медленные движения почвенно-грунтовых масс на задернованных склонах // Изв. АН СССР. Сер. геогр. — 1967. — № 4. — С. 90–93.
22. Суходровский В. Л. Криоморфогенез // Геокриологические условия Монгольской Народной Республики. — М.: Наука, 1974. — С. 92–116.
23. Дорошев П. Е. Оценка скорости движения почвенно-грунтовых масс задернованных склонов // Вестн. Моск. ун-та. Сер. геогр. — 1972. — № 6. — С. 89–95.
24. Перевозников Д. Д. Количественная оценка воздействия слабых и средних землетрясений на гравитационно-склоновые процессы в Юго-Западном Прибайкалье // География и природ. ресурсы. — 1995. — № 4. — С. 97–102.
25. Салюкова Р. И. Овраги Южно-Минусинской котловины // Сиб. геогр. сб. — 1976. — № 12. — С. 183–222.
26. Рыжов Ю. В. Формирование оврагов на юге Восточной Сибири. — Новосибирск: Акад. изд-во «Гео», 2015. — 180 с.
27. Петров И. Б. Развитие береговых склонов Нижнего Иртыша // Докл. Ин-та географии Сибири и Дальнего Востока. — 1971. — Вып. 31. — С. 14–22.
28. Ильичёва Е. А. Динамика структуры речной сети Селенги и ее дельты // География и природ. ресурсы. — 2008. — № 4. — С. 57–63.
29. Агафонов Б. П. Экзолигодинамика Байкальской рифтовой зоны. — Новосибирск: Наука, 1990. — 176 с.
30. Флоренсов Н. А. Очерки структурной геоморфологии. — М.: Наука, 1978. — 235 с.
31. Баженова О. И. Крупномасштабное картографирование динамики современных экзогенных процессов // География и природ. ресурсы. — 1993. — № 1. — С. 132–138.
32. Баженова О. И., Гумбина И. А., Калеп Л. Л., Коновалова Т. И., Любцова Е. М., Малых Г. И., Михеев В. С., Плюснин В. М., Чернышов Н. И. Картографическое обеспечение земельного кадастра // Экологическое картографирование Сибири. — Новосибирск: Наука, 1996. — С. 197–232.
33. Тухта С. А. Количественная оценка интенсивности ливневого смыва почв в бассейне р. Куды (Лено-Ангарская лесостепь) // География и природ. ресурсы. — 2017. — № 4. — С. 94–104.
34. Баженова О. И. Структура денудационных циклов в лесостепях Средней Сибири // География и природ. ресурсы. — 2008. — № 4. — С. 7–17.
35. Баженова О. И. Внутривековая организация систем экзогенного рельефообразования в степях Центральной Азии // География и природ. ресурсы. — 2007. — № 3. — С. 116–125.
36. Баженова О. И., Черкашина А. А., Кобылкин Д. В., Макаров С. А., Вершинин К. Е. Геоморфологические события голоцена по литологическим записям малых флювиальных бассейнов Даурии // География и природ. ресурсы. — 2017. — № 2. — С. 135–146.
37. Вернадский В. И. Философские мысли натуралиста. — М.: Наука, 1988. — 520 с.
38. Тимофеев Д. А. Размышления о фундаментальных проблемах геоморфологии. Избр. труды. — М.: Медиа-ПРЕСС, 2011. — 528 с.
39. Макаров С. А., Черкашина А. А. Взвешенные наносы при прохождении паводков и селей на реках Байкальской горной территории // Рациональное использование и охрана водных ресурсов: Материалы Всерос. науч.-практ. конф. с международным участием (Барнаул, 14–16 сентября 2017 г.). — Барнаул: Изд-во Алт. ун-та, 2017. — С. 118–123.
40. Китов А. Д., Иванов Е. Н., Плюснин В. М., Гладков А. С., Лунина О. В., Серебряков Е. В., Афонькин А. М. Георадиолокационные исследования ледника Перетолчина (Южная Сибирь) // География и природ. ресурсы. — 2018. — № 1. — С. 158–166.
41. Знаменская Т. И., Вантеева Ю. В., Солодянкина С. В. Факторы развития водной эрозии почв в зоне рекреационной деятельности в Приольхонье // Почвоведение. — 2018. — № 2. — С. 221–228.
42. Тюменцева Е. М. Условия развития эоловых процессов в Прибайкалье // Вестн. кафедры географии ВСГАО. — 2011. — № 1 (2). — С. 24–33.
43. Dong T. Y., Nittrover J. A., Ilicheva E., Pavlov M., McElroy B., Czapiiga M. J., Ma H., Parker G. Controls on gravel termination in seven distributary channels of the Selenga River Delta, Baikal Rift basin, Russia // Geological Society of America Bulletin. — 2016. — Vol. 128, N 7. — P. 1297–1312.

Поступила в редакцию 1 декабря 2017 г.