

On the basis of his prolonged field works and ample literature the author discusses Pre-Quaternary and Quaternary evolution of the relief and main tectonic structures within the region, which is almost unknown to the Soviet reader. Geomorphological evidences are given for the planation surfaces having been formed at high levels and age of the surfaces is speculated; a sequence of upwarping and thrust-sheet structures formation is established, as well as alternation of tectonic activity and relative quiescence; rate and amplitudes of vertical and horizontal displacements are determined. Main topographic characteristics and stages of evolution of the region are compared with those of adjacent regions (the Himalaya, Pamir and Tibet).

УДК 551.432.1(-924.85)

Л. М. КИТАЕВ

ПРОСТРАНСТВЕННО-ВРЕМЕННАЯ СТРУКТУРА ПОВЕРХНОСТНОГО СТОКА И СВЯЗАННЫХ С НИМ ПРОЦЕССОВ ЭРОЗИИ И АККУМУЛЯЦИИ В ГИДРОЛОГИЧЕСКИХ СИСТЕМАХ ЦЕНТРАЛЬНОЙ ЛЕСОСТЕПИ

Сложная внутренняя пространственно-временная изменчивость параметров ландшафтов определяет неоднородность функционирования гидрологических процессов, а также смыва и аккумуляции почвы. Это наиболее ярко как в качественном, так и количественном отношении проявляется на пути от склона к руслу рек в пределах зоны начальной стадии их формирования и развития. В связи с этим традиционный путь, основывающийся на использовании объектов исследования только на плакорных участках и приводораздельных склонах (в верхнем звене начальной стадии гидрологического процесса), не позволяет достаточно корректно описать характер пространственной изменчивости поверхностного склонового и руслового стока, а также склоновой и русловой эрозии [1]. Следовательно, в основу исследований должен быть положен метод, предусматривающий возможность изучения сочетания склоновых и русловых процессов не по автономным морфологическим единицам бассейна, а в цепочке различных по геоморфологическим признакам территорий, связанных общностью происхождения и наличием горизонтальных сквозных потоков воды и смытого материала. Применение такого метода позволяет выявлять и учитывать разнородные по своему воздействию «активные» зоны гидрологической сети, способствующие или активизации стока и процессов эрозии, или его снижению и соответственно интенсивному пополнению грунтовых вод, что сопровождается интенсивной аккумуляцией смытой почвы.

Таким образом, актуальным вопросом гидрологических исследований становится изучение механизма формирования и трансформации поверхностного стока и связанных с ним процессов эрозии и аккумуляции в пределах смежных ландшафтных комплексов гидрологических систем.

Основываясь на принципах ландшафтного подхода в экспериментальной гидрологии [2] и, следовательно, необходимости учета типа и степени антропогенной нагрузки на подстилающую поверхность ландшафтных комплексов, объектами исследования были выбраны сельскохозяйственные территории Курской области (экспериментальный водосбор «Панинский» и городские территории Курска (экспериментальный водосбор «Луговой»). Первые являются наи-

более распространенным типом поверхности центральной части Европейской территории Союза. Городские территории интересны в плане исследования экстремальных изменений природной среды в целом и гидрологического режима в частности.

Водосбор «Панинский» представляет собой балочную систему площадью 169,1 га, ориентированную в широтном направлении. Длина водосбора 2,5 км, максимальная ширина — 1 км. Днище балки осложнено вторичным эрозионным врезом с задернованными тальвегом и прилегающими склонами крутизной от 25 до 45°. Крутизна приводораздельных склонов, осложненных потяжинами, 2—7°. В верховьях эрозионная форма носит характер ложбины, ниже она переходит в лошину, затем в балку.

Для ложбины характерно отсутствие четко выраженного тальвега, выпуклая форма склонов, отсутствие промоин на них. Для этой части водосбора характерен микроручейковый сток и поверхностный, плоскостной смыв. Далее водосбор расширяется до 800 м, склоны становятся вогнутыми, на них появляются потяжины, а в днище формы — врез с крутыми склонами и шириной до 5 м. Эрозионная форма приобретает признаки ложины. Здесь наряду с поверхностным стоком начинается формирование руслового потока. Далее по направлению к устью ширина водосбора становится максимальной — достигает 1 км, склоны становятся еще более вогнутыми. Глубина современного эрозионного вреза увеличивается до 10 м, крутизна склонов достигает 25—45°, а днище выравнивается и расширяется до 15 м. Эту часть эрозионной формы мы называем балкой.

Водосбор «Панинский» имеет явно асимметричное строение: склоны северной экспозиции крутые и короткие, склоны южной экспозиции пологие и длинные. Площадь склонов южной экспозиции в 2 раза превышает площадь склонов северной экспозиции. Водосбор полностью распахан за исключением задернованного днища и прилегающих крутых склонов, используемых под выпас и сенокос.

Городской водосбор «Луговой» имеет также широтную ориентацию и включает в себя участки, занятые коммунальной и индивидуальной застройкой. Площадь его 75 га, крутизна склонов в приводораздельной части 2—5°. Здесь также имеется современный врез с крутизной склонов 30—50° (встречаются обвальные участки) и глубиной до 10—12 м при максимальной ширине 10 м. Верхняя часть водосбора с началом эрозионного вреза рассматривается нами как лошина, остальная часть — как балка. Проведение более четких границ затруднено ввиду преобразования поверхности в процессе застройки. Верхняя часть водосбора занята современной коммунальной застройкой, нижняя — индивидуальной, что характерно для города в целом — современные кварталы располагаются в приводораздельных частях, индивидуальная застройка сохранилась на участках поймы и прилегающих к ним склонов.

В пределах водосбора «Панинский» на сельскохозяйственных угодьях исследования проводились в ложбине, лошине и балке, которые распаханы, а в пределах городского водосбора «Луговой» — в лошине и балке, занятых коммунальной и индивидуальной застройкой (экспликация водосборов приведена в табл. 1)

Выбор для наблюдений этих водосборов связан с тем, что на сельскохозяйственных угодьях, где воздействие человека на подстилающую поверхность однородно (пашня), характер гидрологических процессов зависит прежде всего от геоморфологических условий — ориентировки склонов, соотношения площади склонов различной экспозиции, характера гидрографической сети. В городских условиях характер подстилающей поверхности крайне неоднороден, а черты естественного рельефа изменены в результате строительства. Фактором, определяющим гидрологический режим и связанный с ним вещественный обмен в городах, становится именно характер подстилающей поверхности — застройка, асфальтированные территории, озеленение [3].

Водосбор	Площадь, га
«Панинский»	
Ложбина (пашня)	42,28
Лощина (пашня)	113,9
Балка (пашня)	169,1
«Луговой»	
Лощина (коммунальная застройка)	10,3
Балка (индивидуальная застройка)	64,7
Водосбор в целом	75,0

Таблица 2

Основные элементы водного баланса и смыва почвы периода половодья
1987 и 1988 гг.

1987 г.						
Водосбор	P	S	K	W	ρ	R
«Панинский» (сельскохозяйственные угодья)						
Ложбина (пашня)	156,3	12,9	0,08	143,4	1,11	1043,4
Лощина (пашня)	157,6	13,4	0,09	144,2	4,36	5854
Балка (пашня)	150,4	15,0	0,10	135,4	2,82	4228
«Луговой» (городская территория)						
Лощина (коммунальная застройка)	182,42	63,89	0,35	118,53	3,11	1897,5
Балка (индивидуальная застройка)	150,63	13,47	0,089	140,77	4,01	540,2
Водосбор в целом	154,47	16,08	0,096	147,62	2,47	396,7
1988 г.						
«Панинский» (сельскохозяйственные угодья)						
Ложбина (пашня)	82,50	32,25	0,40	50,25	3,14	1015,4
Лощина (пашня)	79,16	25,35	0,32	53,81	2,97	5002,3
«Луговой» (городская территория)						
Лощина (коммунальная застройка)	124,2	104,2	0,86	20,0	2,07	2165,7
Балка (индивидуальная застройка)	115,6	86,24	0,74	29,4	0,545	470,4
Водосбор в целом	132,2	43,59	0,33	108,6	1,75	766,0

Условные обозначения: P — снегозапасы, мм; S — слой стока, мм; K — коэффициент стока; W — инфильтрация + испарение, мм; ρ — средняя мутность, г/м³; R — суммарный смыв, кг/га.

Нами рассматривается период весеннего половодья, поскольку характер годового водного баланса региона определяется особенностями именно этого сезона. Из имеющегося ряда наблюдений выбраны 1987 и 1988 гг., для которых характерен различный метеорологический режим: для 1987 гг. — циклональный, для 1988 г. — антициклональный. Основные элементы водного баланса и величины смыва приведены в табл. 2.

Г. В. Железняковым [4] предложена классификация типов эрозии, включающая эрозию, производимую плоскостным поверхностным склоновым стоком, мелкоструйчатыми потоками на склонах и русловыми постоянными или временными водотоками. Применяя эту классификацию к процессам периода весеннего половодья, можно выделить внутриснеговые, микроструйчатые и русловые потоки как элементы структуры водного баланса и как основные гидрологические агенты эрозии и транспортировки смытого материала. При этом все виды потоков могут функционировать в сочетании друг с другом, определяя тем самым структуру смыва.

Период весеннего половодья начинается внутриснеговым стоком при 100%-ном покрытии снегом площади водосбора; смыв при этом отсутствует. Появление проталин обуславливает формирование склонового микроручей-

кового стока и соответственно смыва с частичной аккумуляцией в сохранившемся на склонах снежном покрове. Частичное, а затем и полное освобождение тальвега от снега приводит здесь к постепенной трансформации внутрисклоновых потоков в русловой поток и к началу линейной эрозии в сочетании с продолжающейся склоновой. Полный сход снега со склонов приводит к исчезновению внутриснегового стока и аккумуляции смытой почвы в снежном покрове. Однако увеличения смыва не происходит ввиду значительного уменьшения объема склонового и руслового стока. В конце половодья после окончания склонового стока эрозия и переотложение материала производится только русловым потоком, питание которого происходит за счет стока в верхнем слое почвы.

На рис. 1 и 2 показана структура формирования рассматриваемых процессов при различном метеорологическом режиме периода весеннего половодья. Время половодья принято за единицу, столбиковые диаграммы позволяют проследить трансформацию потоков из внутриснеговых в микроручейковые или русловые и соответственно характер эрозионных процессов.

При циклональном режиме структура формирования стока на склонах различной экспозиции водосборов, расположенных на сельскохозяйственных угодьях, различается мало и в основном продолжительностью внутриснегового стока, что объясняется превышением снеготопливных запасов на склоне северной экспозиции на 20% по отношению к южному. В городе же формирование стока в пределах индивидуальной застройки запаздывает по сравнению с коммунальной, что вызвано, по-видимому, различием в транспортной нагрузке и различной степенью расчистки улиц. При этом как в городе, так и на распаханных территориях освобождение тальвега от снега и формирование руслового потока происходит значительно позже, чем на склонах. Длительный период внутриснегового стока в тальвеге, скорость которого небольшая, вызывает здесь накопление воды, а также концентрацию в прирусловой зоне почвы, смытой со склонов. Формирование руслового потока приводит к интенсивному стоку и выносу аккумулярованного ранее материала в сочетании с продолжающимся смывом на склонах и начавшейся русловой эрозией.

Антициклональный метеорологический режим весеннего половодья определяет значительные различия в структуре стока со склонов противоположной экспозиции водосборов на сельскохозяйственных угодьях. Поверхностный сток хорошо прогреваемого склона южной экспозиции заканчивается до того, как на склоне северной экспозиции образуется микроручейковый сток. Максимальные расходы поверхностного стока и величины смыва на замыкающем створе водосбора приурочены именно ко времени функционирования гидрологических процессов на склоне южной экспозиции (рис. 1, 2). В городских условиях структура стока участков с коммунальной и индивидуальной застройкой близка, а формирование руслового потока происходит в начале половодья.

Структура формирования смыва почвы неразрывно связана со структурой стока. Общей закономерностью, как видно из рисунков, является приуроченность максимального смыва по замыкающему створу к периоду одновременного функционирования внутриснеговых, микроручейковых и русловых потоков и, следовательно, является продуктом сочетания склонового смыва с линейным размытием. Минимальные же значения смыва, фиксируемые на выходе водосбора, приурочены ко времени функционирования только микроручейковых склоновых потоков или руслового стока. При этом вклад стока с различных участков в формирование процесса смыва с водосборов неоднозначен; определяющим является сочетание микроручейкового стока со склона южной экспозиции, руслового потока на сельскохозяйственных территориях и микроручейкового стока с участков коммунальной застройки с русловым потоком в пределах города (рис. 1, 2).

Пространственная изменчивость поверхностного стока и смыва почвы также весьма неоднородна. Особенно ярко это проявляется на территории города —

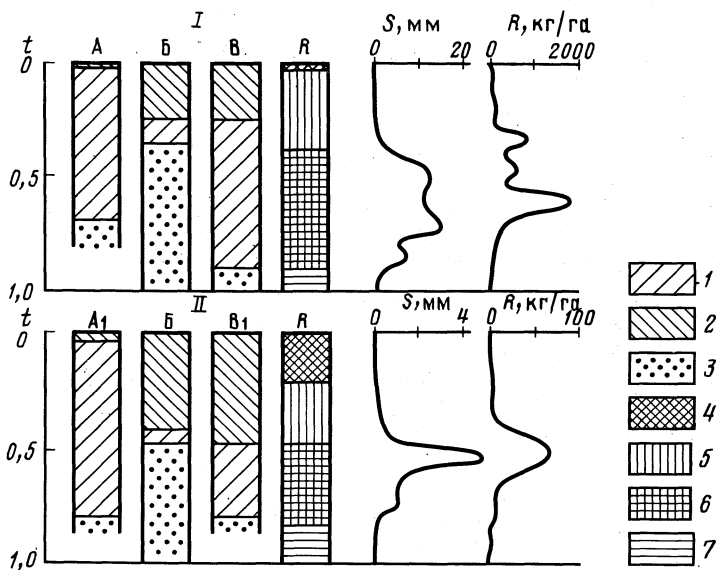


Рис. 1. Структура поверхностного стока и смыва в условиях циклонального режима периода весеннего половодья в городе — водосбор «Луговой» (I) и на сельскохозяйственных угодьях — водосбор «Панинский» (II)

I — город; А — коммунальная застройка; Б — тальвег; В — индивидуальная застройка. II — сельскохозяйственные угодья; А₁ — склон южной экспозиции, Б — тальвег; В₁ — склон северной экспозиции; S — поверхностный сток, мм; R — смыв почвы, кг/га; 1 — сочетание внутриснегового стока с микроструйчатым на склонах или с русловым в тальвеге; 2 — внутриснеговой сток на склонах и в тальвеге; 3 — чисто микроструйчатый сток на склонах или русловой в тальвеге; 4 — отсутствие смыва; 5 — смыв микроструйчатыми склоновыми потоками; 6 — размыв русловым потоком; 7 — сочетание склонового смыва и руслового размыва

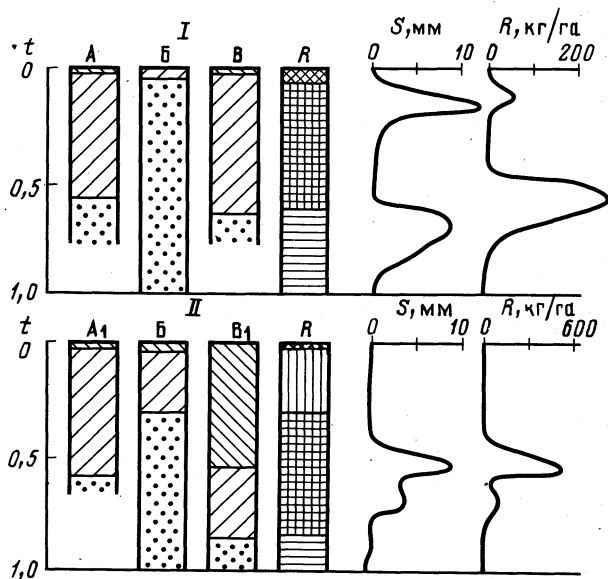


Рис. 2. Структура поверхностного стока и смыва в условиях антициклонального режима периода весеннего половодья в городе — водосбор «Луговой» (I) и на сельскохозяйственных угодьях — водосбор «Панинский» (II)

Условные обозначения — см. рис. 1

Таблица 3

Коэффициенты корреляции между суточными величинами весеннего стока и смыва различных поверхностей водосбора «Панинский» (сельскохозяйственные угодья)

Поверхность	Сток			Смыв		
	Ложбина	Лощина	Балка	Ложбина	Лощина	Балка
1987 г.						
Ложбина	1,00	0,97	0,95	1,00	0,97	0,75
Лощина	0,97	1,00	0,97	0,97	1,00	0,88
Балка	0,95	0,97	1,00	0,75	0,88	1,00
1988 г.						
Ложбина	1,00	0,56	0,50	1,00	0,76	0,72
Лощина	0,56	1,00	0,64	0,76	1,00	0,93
Балка	0,50	0,64	1,00	0,72	0,93	1,00

Коэффициенты корреляции между суточными величинами весеннего стока и смыва различных поверхностей водосбора Луговой (городская территория)

Поверхность	Сток			Смыв		
	Комму- нальная застрой- ка	Индиви- дуальная застрой- ка	Замы- кающий створ	Комму- нальная застрой- ка	Индиви- дуальная застрой- ка	Замы- кающий створ
1987 г.						
Коммунальная застройка	1,00	0,24	0,74	1,00	0,59	0,60
Индивидуальная застройка	0,24	1,00	0,36	0,59	1,00	0,59
Замыкающий створ	0,74	0,36	1,00	0,60	0,59	1,00
1988 г.						
Коммунальная застройка	1,00	0,88	0,80	1,00	0,74	0,90
Индивидуальная застройка	0,88	1,00	0,75	0,74	1,00	0,71
Замыкающий створ	0,80	0,75	1,00	0,90	0,71	1,00

величины стока с участков коммунальной и индивидуальной застройки различаются здесь в 4 раза, смыва — в 4,6 раза. Это еще раз подтверждает неоднозначность роли участков с различной подстилающей поверхностью и их взаимного расположения в формировании и трансформации поверхностного стока и смыва. Так, анализ характера рассматриваемых процессов показал, что несовпадения характерных точек гидрографа различных участков водосборов достигают 2—3 сут при общей протяженности стока 10—15 дней.

В пределах сельскохозяйственных территорий наиболее тесные связи наблюдаются между ходом стока и смыва почвы соседних (смежных) комплексов. Влияние ложбинных водосборов, являющихся самой верхней зоной гидрологических систем, на ход процессов в замыкающем створе относительно невелик — коэффициент корреляции 0,50—0,85, для смежных комплексов же — 0,56—0,97.

В городских условиях связь между ходом стока и смыва с участков коммунальной и участков индивидуальной застройки неоднозначна — диапазон коэффициента корреляции — 0,24—0,88. Отмечается достаточно сильное влияние коммунальной застройки на сток и смыв, фиксируемый на выходе из гидротехнической системы, в ее устьевой части — коэффициент корреляции 0,74—0,80 для стока и 0,60—0,90 для смыва (табл. 3). Это говорит об определяющем значении поверхности с коммунальной застройкой в гидрологическом функционировании и процессе эрозии городских территорий в целом.

Еще раз, уточняя характер пространственной изменчивости поверхностного стока и смыва, следует отметить незначительное изменение на площади сельско-

хозяйственных территорий величины стока — 12,9—15,0 в 1987 г. и 25,2—32,3 мм в 1988 г. В гидрологических системах в пределах города эта величина может изменяться в 1,3—4,7 раза (от 13,5 до 63,9 мм).

Наибольшая величина смыва фиксируется с участков городской коммунальной застройки, что на первый взгляд не согласуется с большим количеством непроницаемых здесь площадей (до 33%). Объяснить это можно несовершенством дорожного покрытия и дренажных ливневых систем, в результате чего концентрированный сток с поверхности дорог выходит на участки с незащищенным грунтом и часто с большой крутизной склонов (до 20°), вызывая интенсивную эрозию (1987 г. — 2165 кг/га).

В целом для сельскохозяйственных и городских территорий вынос смывой почвы с водосборов через замыкающий створ гидрологических систем составляет соответственно 12—15 и 25—30%; остальные 70—88% аккумулируются в тальвегах гидрологических систем.

Таким образом, проведенное исследование стока и смыва с городских и сельскохозяйственных территорий может служить иллюстрацией того, как функционирование гидрологических систем не может достаточно подробно описываться величинами, получаемыми для замыкающего створа. Наличие участков с различной степенью активности в гидрологическом плане определяет характер формирования и изменчивости смыва и аккумуляции почвы. Наиболее значительный вклад в эрозионные процессы вносят участки с коммунальной застройкой в городе и склоны (в основном южной экспозиции) на сельскохозяйственной территории.

ЛИТЕРАТУРА

1. Заславский М. Н. Эрозия почв. М.: Мысль, 1979. 211 с.
2. Чернышев Е. П. Исследования склонового и внутрипочвенного стока // Принципы организации и методы стационарного изучения почв. М.: Наука, 1976. С. 199—216.
3. Львович М. И. Вода и жизнь. М.: Мысль, 1986. 254 с.
4. Железняков Г. В. Гидрология и гидрометрия. Л.: Гидрометеоиздат, 1969. 193 с.

Институт географии АН СССР

Поступила в редакцию
7.11.1989

SPATIAL AND TEMPORAL STRUCTURE OF SURFACE RUNOFF AND RESULTING EROSION AND SEDIMENTATION WITHIN HYDROLOGICAL SYSTEMS OF THE CENTRAL FOREST-STEPPE

L. M. KITAEV

Summary

Experiments have been carried out to study mechanisms of formation and transformation of the surface runoff and soil erosion during spring flood within landscapes of adjoining urban and rural areas. The hydrological systems functioning within typical urban and agricultural complexes appeared to be inhomogeneous in the years with cyclonic and anticyclonic regimes of the spring flood.