

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Райнин В. Е., Виноградова Г. Н. Техногенное загрязнение речных экосистем. — М.: Научный мир, 2002.
2. Крогов А. П., Гончаров В. Д., Дьячков В. Н. и др. Взаимодействие руслового процесса реки с инженерными сооружениями. — М.: Стройиздат, 1996.
3. Горбачев Е. А. Проектирование очистных сооружений водопровода из поверхностных источников. — М.: Изд-во Ассоциации строит. вузов, 2004.

*Алтайский государственный университет,
Барнаул*

*Поступила в редакцию
28 апреля 2005 г.*

УДК 551.435

Н. С. ЕВСЕЕВА, З. Н. КВАСНИКОВА

ЭКОЛОГО-ГЕОХИМИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ЭРОЗИИ ПОЧВ ТОМЬ-ЯЙСКОГО МЕЖДУРЕЧЬЯ (ЗАПАДНАЯ СИБИРЬ)

Рассмотрены эколого-геохимические аспекты эрозии почв от стока талых вод в агроландшафтах таежной зоны юго-востока Западно-Сибирской равнины.

We examine the ecological-geochemical aspects of soil erosion caused by melt water runoff in agrolandscapes of the taiga zone of the southeastern West-Siberian Plain.

Эрозия почв — мощный фактор перераспределения вещества на земной поверхности и основной поставщик наносов и химических элементов в реки и водоемы. Только с пахотных земель России ежегодно смывается около 560 млн т субстрата [1]. Внесенные в почвы агроландшафтов и перемещенные в другую геохимическую обстановку химические и биологические вещества (минеральные и органические удобрения, пестициды и др.) часто выступают как загрязнители окружающей среды. Почва при ее эрозионном перемещении в ландшафте сама может рассматриваться как загрязняющее вещество, как фактор, снижающий качество водных ресурсов и способствующий неблагоприятной эволюции (деградации) ландшафта. Нами рассмотрены эколого-геохимические аспекты эрозии почв на примере юго-востока Западно-Сибирской равнины (Томская область).

Предпринята попытка оценить роль талых вод в перераспределении твердого вещества на земной поверхности и в загрязнении малых водосборов рек в сельскохозяйственных ландшафтах [2, 3]. Для решения поставленной задачи рассмотрены данные 18-летних наблюдений за снежным покровом на Лучановском стационаре (Томь-Яйское междуречье), за интенсивностью снеготаяния, стоком талых снеговых вод; выполнен химический анализ снеговых вод и твердого осадка в них (1993–2004 гг.), за период 2001–2004 гг. определены мутность воды в струйчатых размывах, химический состав твердого осадка временных водотоков и делювия конусов выноса.

Методика исследований снежного покрова (отбор проб, определение химического состава вещества в снеговой воде и сухом остатке) достаточно хорошо разработана [4, 5]. Отбор снега производился в пределах катены плакор–депрессия (рис. 1) снегомером ДС-8 на всю глубину снежного покрова, за исключением его нижнего слоя (около 5 см). Сборная проба состояла из 9–13 частных, что обеспечило получение 3–7 л талой воды.

Обработка проб проводилась по стандартной методике — снег в эмалированных или стеклянных сосудах таял при комнатной температуре в течение 1–2 сут. Талая снеговая вода двукратно отфильтровывалась через бумажные беззольные фильтры типа «синяя лента». Затем водный фильтрат анализировался в лаборатории, а бумажные фильтры с твердым остатком высушивались, взвешивались, озолялись в муфельной печи и также передавались для анализа. Химический и механический состав снеговой воды, твердого остатка и концентрация в них макроэлементов определялись физико-химическими и химическими методами в лаборатории кафедры почвоведения Томского государственного

© 2006 Евсева Н. С., Квасникова З. Н. (e-mail: zojkwas@rambler.ru)

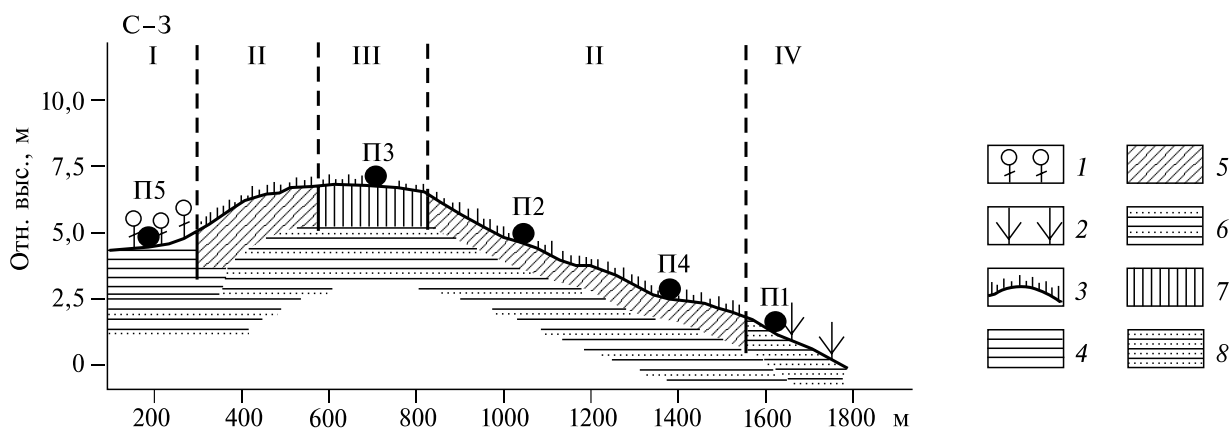


Рис. 1. Ландшафтно-геохимический профиль Лучановского стационара, по [2].

П1–П5 — точки отбора проб; 1 — ивовый осоково-высокотравный лес; 2 — кустово-разнотравный луг; 3 — пашня; 4 — светло-серая тяжелосуглинистая глееватая почва; 5 — серая эродированная тяжелосуглинистая почва; 6 — озерно-аллювиальные отложения среднего и верхнего неоплейстоцена; 7 — серая лесная маломощная среднесуглинистая почва; 8 — серая намытая мощная легкосуглинистая почва.

I–IV — элементарные ландшафты: I — аккумулятивно-элювиальный, II — трансэлювиальный, III — элювиальный, IV — элювиально-аккумулятивный.

университета (ТГУ). Содержание микроэлементов выявлялось там же, в научно-исследовательской лаборатории экспериментальной и прикладной минералогии, методами количественного спектрального анализа на спектрографах СТЭ-1 и ИСП-28 в соответствии с ГОСТом 24.7.6.6–81, а также в аналитической лаборатории Геоэкоцентра ГП «Березовгеология» (г. Новосибирск).

Миграция веществ в период снегонакопления и массового снеготаяния осуществляется в трех направлениях: 1) накопление и перемещение их внутри снежной толщи; 2) их радиальное и латеральное движение вместе с талой снеговой водой; 3) миграция веществ, содержащихся в мелкоземле, в результате эрозии пахотных угодий.

Накопление и перемещение веществ внутри снежной толщи. Накопление снега на Томь-Яйском междуречье происходит в основном с октября по март, число дней со снежным покровом составляет в среднем 176, а устойчивое его залегание продолжается 170 дней [6]. Мощность снежной толщи в агроландшафтах неравномерна, в марте она изменяется от 0 до 211 см (в среднем 50–60 см) и в процессе своего накопления аккумулирует различные химические элементы.

Как известно, минерализация атмосферных осадков незначительна, но химический состав растворенных в них веществ разнообразен. В снежном покрове он формируется под влиянием многих факторов: первоначального поступления веществ вместе с твердыми атмосферными осадками; поглощения аэрозолей и газов из атмосферы; потери веществ снежным покровом при испарении; взаимодействия снежного покрова с почвенно-растительным комплексом; адвекции атмосферного воздуха; воздействия микроорганизмов, животных и человека.

Твердые осадки исследуемого района, согласно классификации О. А. Алекина [7], относятся к гидрокарбонатному классу натриевой и натриево-кальциевой группы, к первому типу со средней минерализацией 15–18 мг/л. Снег является сезонным концентратом веществ, которые до начала снеготаяния как бы законсервированы в снежной толще. Они все же мигрируют по профилю и пополняются из других источников, в частности из почвы в результате ее дефляции в холодное время года (октябрь–апрель).

Наиболее интенсивно дефляция почв развивается на склонах южной экспозиции, в результате в снеге накапливается до трех-пяти загрязненных прослоек. Интенсивность эоловой миграции в пределах территории, согласно классификации Е. М. Любцовой [8], изменяется по годам и варьирует от <50 до 1000 г/м² в год, т. е. достигает 5–10 т/га в год — колеблется от слабой до очень сильной.

В гранулометрическом составе эоловых отложений преобладают мелкий песок, крупная пыль, ил. В результате в почвах очагов дефляции их содержание уменьшается, а в почвах районов аккумуляции — увеличивается. Пылеватая фракция эоловых отложений в снеге содержит биофильные элементы, и по химическому составу (макро- и микроэлементы) она близка пылеватой фракции почв стационара (табл. 1 и 2).

Таблица 1

**Содержание химических и биофильных элементов в эоловых прослойках снега
и в почвах Лучановского стационара**

Объект исследования	Гумус	Углерод	Азот	Фосфор	Ca ²⁺ +Mg ²⁺ , мг · экв/100г
	%				
Эоловые прослойки	1,5–3,5	0,9–2,0	0,1–0,6	0,1–0,6	17,5–24,0
Серая лесная почва разной степени эродированности	3,7–6,7	2,2–3,9	0,2–0,3	0,2–0,4	16,8–27,7

Таблица 2

**Содержание микроэлементов в твердом нерастворимом остатке снега Лучановского стационара (числитель)
и коэффициенты их концентраций в почвах пашни (знаменатель)**

Место отбора проб	Pb	Cu	Zn	Ba	V	Ni	Cr
	мг/кг						
Плакор на пашне	41,0	315,0	347,0	216,0	133,0	80,0	89,0
	1,5	7,8	6,9	0,7	0,8	1,6	1,1
Склон ложбины на пашне	35,0	323,0	110,0	250,0	212,0	99,0	107,0
	1,3	8,0	2,2	0,8	1,3	1,8	1,3
Суффозионно-просадочная западина на пашне	47,0	215,0	398,0	253,0	245,0	79,0	93,0
	1,7	5,4	7,9	0,8	1,5	1,4	1,1
Под кедровым лесом	25,0	207,0	299,0	96,0	30,0	10,0	48,0
	0,9	5,2	5,9	0,3	0,2	0,2	0,6
Пашня (средние значения)	28,0	40,0	50,0	304,0	160,0	55,0	82,0
	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0

Исключение составляют микроэлементы халькофильной группы — медь, цинк, свинец. Предполагается, что при отсутствии расположенных поблизости промышленных объектов формируется региональный фон по этим показателям под влиянием более масштабных факторов — промышленных предприятий, находящихся за южными границами Томской области [9].

Эоловые процессы на пашне двояко влияют на эколого-геохимическое состояние почв: 1) дефлированные почвы теряют запасы важнейших элементов их плодородия, изменяется их химический состав; 2) почвы зон эоловой аккумуляции пополняются гумусом, фосфором, азотом и другими элементами, содержание которых зависит от продолжительности и интенсивности накопления эоловых отложений на поверхности снега. В результате ее нагревания солнечными лучами, выпадения новых порций снега эоловые частицы погружаются в его толщу и вмораживают в него. Кроме того, миграция химических элементов субстрата осуществляется также и снизу вверх — из почвы в снежный покров. Установлена миграция веществ, аккумулированных в мерзлых и ежегодно промерзающих почвах, по почвенной толще и подстилающим породам зоны аэрации вверх и вниз во все сезоны года [10–12].

При прямом контакте снежного покрова и подстилающего субстрата растворимые вещества перемещаются по жидким пленкам, покрывающим дисперсные частицы субстрата и кристаллы льда снежной толщи. Зимой миграция химических элементов осуществляется путем диффузии из более холодных частей системы (снег) в более теплые (почва). Во время весеннего прогревания система стремится к равновесию, и вещества мигрируют из почвы в снег. Таким образом, миграция химических элементов объясняется испарительно-конденсационным процессом, осуществляемым на фоне термоградиента и отрицательных температур в почве.

Радиальное и латеральное движение веществ вместе с талой снеговой водой. В процессе снеготаяния химические элементы из снега с различной скоростью перемещаются в талые воды. В первую очередь освобождаются ионы хлоридов, нитратов и сульфатов. Кроме того изменяется химический состав просачивающихся через почву атмосферных осадков за счет органического вещества и ионов химических элементов почвы (кремний, железо, марганец и др.), меняется также их газовый состав за счет окиси углерода, азота и др.

Необходимо отметить, что миграция химических элементов по вертикали в профиле почв в период снеготаяния ограничена, так как глубина оттаивания в это время мала (1–35 см) и сток талых вод осуществляется по мерзлой почве. При движении талых вод по поверхности почвы, часто не



Рис. 2. Размыв снега с содержащимися в них эловыми отложениями на пашне Лучановского стационара (фото З. Н. Квасниковой).



Рис. 3. Делювиальные отложения на пашне Лучановского стационара (фото З. Н. Квасниковой).

**Коэффициенты концентраций химических элементов в талой снеговой воде агроландшафтов
(числитель — вода ручья из снежника, знаменатель — вода из р. Басандайки)**

Место отбора проб	Si	Al	Ca	Mn	Mg	Cr	Ni	Pb	Cu
Суффозионная депрессия	$\frac{1,2}{1,0}$	$\frac{3,0}{1,6}$	$\frac{2,5}{1,3}$	$\frac{2,6}{6,6}$	$\frac{2,1}{13,1}$	$\frac{0,8}{0,7}$	$\frac{0,9}{0,8}$	— 0,9	$\frac{1,5}{0,9}$
Днище балки в устье оврага	$\frac{1,0}{1,0}$	$\frac{1,2}{0,6}$	$\frac{2,5}{1,3}$	$\frac{2,5}{1,3}$	$\frac{0,9}{5,5}$	—	$\frac{0,8}{0,7}$	— 0,8	$\frac{1,9}{1,1}$
Днище балки в березовом лесу	$\frac{1,0}{1,0}$	$\frac{1,0}{0,5}$	$\frac{1,3}{0,5}$	$\frac{1,3}{0,6}$	$\frac{0,3}{1,9}$	$\frac{0,8}{0,7}$	$\frac{1,1}{0,9}$	— 0,9	$\frac{4,5}{2,6}$

защищенной растительностью, мелкозем выносится, а из верхних горизонтов почвы выщелачиваются катионы щелочных (Na, K) и щелочноземельных (Ca, Mg) элементов. Талые воды размывают также и толщи снега с содержащимися в них эоловыми отложениями (см. рис. 2).

В результате анализа материалов установлено, что различный химический состав талых снеговых вод обусловлен наличием на пашне мезо- и микроформ рельефа, выступающих в ряде случаев как геохимические барьеры, — суффозионно-просадочных депрессий (западины), балок, оврагов. Вследствие этого отбор проб проводился в трех водосборах на пашне (см. рис. 1). В связи с этим, в качестве фонового материала отобраны пробы вод снежника на пашне и в р. Басандайке, на коренном склоне долины которой расположен стационар.

Анализы макро- и микрокомпонентного состава вод осуществлялись методом атомно-эмиссионной спектроскопии в лаборатории химического факультета ТГУ. В результате выявлена существенная роль геохимических барьеров в перераспределении химических элементов в талых снеговых водах Лучановского стационара (табл. 3). Так, в суффозионно-просадочных западинах часть латерального стока переходит в радиальный. Здесь аккумулируются Si, Al, Ca, Mn, Mg, Cu, что объясняется дополнительным поступлением сюда талой снеговой воды с расположенных выше склонов пашни.

Миграция веществ в результате эрозии пахотных земель. Потоки талых вод, разрушая почвенный покров, выносят за пределы агроландшафтов значительное количество мелкозема и содержащихся в них биофильных элементов — азота, серы, фосфора и других, а также гумуса. Уровень потерь этих элементов определяется содержанием их в почве и интенсивностью эрозионных процессов. Как показал анализ твердого осадка в пробах вод из струйчатых размывов, в первичных минералах твердой фазы воды преобладают фракции мелкого песка; химический состав делювия в разных звеньях делювиального процесса разнообразен.

В конусах выноса (см. рис. 3) накапливаются вторичные минералы (фракция ила) с кальцием. Содержание CaO в почвах Томского Приобья менее 2 %, а в конусах выноса достигает 3 %, поскольку на склонах крутизной 3–5° и более размываются карбонатные лёссовидные суглинки, являющиеся материнскими породами. Об обогащении делювия конусов выноса вторичными минералами свидетельствует значительное количество в них урана, цезия, бария, хрома и др. (табл. 4).

По нашим наблюдениям, в делювиальных отложениях Лучановского стационара содержание микроэлементов выше, чем в верхних горизонтах почв пашни. Так, концентрация хрома выше в 1,5–2 раза — до 110 мг/кг, по сравнению с 56–84 мг/кг в верхних горизонтах почв; меди — в 1,2–3 раза (до 73 мг/кг), никеля — в 1,2–2,5 раза (до 58 мг/кг). Делювиальный процесс ведет к изменению и перераспределению химического состава почв. В западины, балки, долины малых рек поступает дополнительное количество химических элементов, что увеличивает опасность загрязнения тяжелыми металлами местных водоемов и грунтовых вод.

Таблица 4

Химический состав осадка воды струйчатых размывов и делювия конусов выноса на пашне Лучановского стационара

Проба	Содержание химических элементов, %					
	Na	Ca	Cr, 10 ⁻⁴	Ce, 10 ⁻⁴	Sm, 10 ⁻⁴	U, 10 ⁻⁴
Осадок из воды струйчатых размывов	2,3	1,9	88,0	76,0	11,0	—
Делювий из конусов выноса	1,6	3,0	97,0	82,0	77,0	7,6

Талые воды сносят с полей значительное количество биофильных элементов — составной части их плодородия. Вынос питательных веществ колеблется по годам в зависимости от состояния агрофона и интенсивности смыва почв, однако ежегодно теряется от 0,42 до 19,4 ц/га гумуса, 0,13–0,83 ц/га азота, 0,11–0,83 ц/га фосфора и т. д. Вынос обменного кальция и магния приводит к ослаблению связей между почвенными агрегатами и к последующему их выносу потоком с высокой кинетической энергией, что ведет к эрозионному разрушению почвы [13].

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Литвин Л. Ф. География эрозии почв сельскохозяйственных земель России. — М.: Академкнига, 2002.
2. Евсеева Н. С., Пашнева Г. Е., Квасникова З. Н., Петров А. И. Загрязнение малых водосборов рек в агроландшафтах Томь-Яйского междуречья // Вопросы географии Сибири. — Томск, 2001. — Вып. 24.
3. Евсеева Н. С., Квасникова З. Н. Геохимические аспекты эрозионных процессов в агроландшафтах юго-востока Западно-Сибирской равнины // Теоретические и прикладные проблемы географии на рубеже столетий. — Алматы, 2004.
4. Сагит Ю. Е., Ревич Б. А., Янина Е. П. и др. Геохимия окружающей среды. — М.: Недра, 1990.
5. Летувнинкас А. И., Нарзулаев С. Б., Филиппов Г. П. и др. Техногенное загрязнение и здоровье детей в дошкольных учреждениях г. Томска. — Томск: Изд-во Том. ун-та, 1993.
6. Климат Томска. — Л.: Гидрометеоздат, 1982.
7. Алевкин О. А. Основы гидрохимии. — Л., 1970.
8. Любцова Е. М. Эоловые процессы // Пространственно-временной анализ динамики эрозионных процессов на юге Восточной Сибири. — Новосибирск, 1997.
9. Экология Северного промышленного узла города Томска: проблемы и решения. — Томск: Изд-во Том. ун-та, 1994.
10. Анисимова Н. П., Голованова Т. В. Сезонные изменения химического состава атмосферных осадков в Центральной Якутии // Взаимосвязь поверхностных и подземных вод мерзлой зоны. — Якутск, 1980.
11. Казанцев В. А. Проблемы педогалогенеза (на примере Барабинской равнины). — Новосибирск: Наука, 1998.
12. Федосеева В. И. Физико-химические закономерности миграции химических элементов в мерзлых грунтах и снеге: Автореф. дис. ... д-ра хим. наук. — Томск, 2000.
13. Танасиенко А. А., Путилин А. Ф., Артамонова В. С. Экологические аспекты эрозионных процессов: Аналитический обзор. — Новосибирск, 1999. — Вып. 5.

*Томский государственный
университет*

*Поступила в редакцию
15 февраля 2005 г.*