

USSR Academy of Sciences

Chemical technological and
biological Sciences Section

Soviet Committee
for the UNESCO Programme
"Man and Biosphere"

Effect of Mining on the Geochemistry of naturale Ecosystems



"Nauka" Publishers Moscow 1982

Академия наук СССР

Секция химико-технологических
и биологических наук

Советский комитет
по программе ЮНЕСКО
"Человек и биосфера"

Добыча полезных ископаемых и геохимия природных экосистем



Издательство "Наука" Москва 1982

Добыча полезных ископаемых и геохимия природных экосистем. М.: Наука, 1982.

В книге на основании экспериментальных исследований и общей теории геохимии ландшафтов обсуждаются слабо разработанные вопросы устойчивости экосистем к воздействию техногенных потоков в районах добычи полезных ископаемых. Приводятся результаты полустационарных исследований биологических и физико-химических процессов, происходящих в загрязненных нефтью почвах в разных биоклиматических зонах Советского Союза. Даются рекомендации по методике изучения воздействия техногенных потоков на природные экосистемы.

Редколлегия:

академик В.Е. СОКОЛОВ — ответственный редактор,
доктор биол. наук Ю.П. АЛТУХОВ, Т.В. ВАСИЛЬЕВА — ответственный секретарь,
доктор геогр. наук М.А. ГЛАЗОВСКАЯ,
член-кор. А.П. КАПИЦА — зам. ответственного редактора,
доктор биол. наук В.В. КУЧЕРУК, доктор геогр. наук Г.М. ЛАППО,
академик Е.Н. МИШУСТИН, канд. геогр. наук В.М. НЕРОНОВ,
академик АН ТССР Н.Т. НЕЧАЕВА, доктор хим. наук Ф.Я.РОВИНСКИЙ,
член-кор. АН СССР И.Т. ФРОЛОВ — зам. ответственного редактора,
доктор биол. наук Ю.И. ЧЕРНОВ, член-кор. АН СССР С.С. ШАТАЛИН

Редактор тома

доктор геогр. наук М.А. ГЛАЗОВСКАЯ

Предисловие

Книга посвящена результатам исследований, проведенных по проекту "Изучение загрязнения природной среды и его влияния на биосферу" в рамках международной программы ЮНЕСКО "Человек и биосфера" (МАБ).

В настоящее время технология добычи полезных ископаемых такова, что часть добываемого полезного вещества и компоненты-спутники нефти, угля, различных руд неизбежно рассеиваются в окружающей среде и воздействуют на природные системы. В горнопромышленных районах, на нефтепромыслах, в районах угледобычи наряду с участками полного уничтожения существовавших ранее природных ландшафтов, ныне занятых скважинами, нефтеотстойниками, шахтами, карьерами, отвалами вскрышных пород, угольными терриконами и другими объектами, существуют территории, испытывающие воздействия техногенных потоков (рудничных и дренирующих отвалы вод, нефти и сопутствующих пластовых вод и др.). Формируются особые природно-техногенные ландшафтно-геохимические системы. В зависимости от вещественного состава техногенных потоков, их агрессивности, токсичности и мощности, с одной стороны, и геохимических особенностей местных ландшафтов, в которые попадают эти инородные вещества, — с другой, изменяются характер природно-техногенных систем, степень деградации биоты, устойчивость техногенной трансформации. Протяженность техногенных потоков увеличивается, если в районе рудников имеются предприятия по обогащению и плавке руд. Еще более она возрастает при транспортировке руд и горючих ископаемых, т. е. при собственно техногенной миграции вещества.

Большая часть статей сборника посвящена результатам изучения геохимии природных экосистем, формирующихся в районах добычи нефти и угля при воздействии потоков сырой нефти, сточных вод и кислых, обогащенных тяжелыми металлами вод, фильтрующихся из-под угольных терриконов с высоким содержанием пирита.

В статьях первой части книги рассматриваются состав и емкость техногенных потоков вещества в биосфере, состав элементов спутников нефти и угля и влияния их на почвы и растительность южной тайги. Особое внимание в этих статьях отводится анализу пространственной дифференциации вещества в жидких потоках по мере их прохождения через природные ландшафтно-геохимические барьеры и эффектам воздействия на экосистемы. Рассматриваются явления вторичной концентрации ряда токсичных элементов в почвах, во фронтальных наиболее удаленных от источника загрязнения частях потоков в связи с изменением кислотно-щелочных и окислительно-восстановительных условий.

Вторая часть книги посвящена проблемам геохимической устойчивости экосистем в экстремальных геохимических обстановках, принципам и методам изучения устойчивости природных систем, геохимической структуре биогеоценозов, сформировавшихся на природных геохимических аномалиях в сфере влияния колчеданных месторождений и на грязевых вулканах, результатам изучения устойчивости и скорости восстановления лесной растительности, уничтоженной при аварийных разливах нефти.

В статьях третьей части книги приводятся результаты экспериментальных эколого-геохимических исследований по выявлению эффектов "доза-ответная реакция" микрофлоры подзолистых и дерново-подзолистых почв, черноземов и серо-коричневых почв на загрязнение нефтью в различных биоклиматических условиях, а также данные о скорости деградации нефти в почвах, степени устойчивости исходных фракций и их метаболитов.

В работах по моделированию загрязнения почвы нефтью и изучению роли микрофлоры и физико-химических процессов в очищении ее от нефтепродуктов принимали участие коллективы сотрудников кафедры геохимии ландшафтов и географии почв МГУ, сектора микробиологии АН АзССР, Института географии АН АзССР, Лаборатории микробиологии УНЦ АН СССР, Отдела охраны окружающей среды объединения Сургут-нефтегаз, Казанского филиала АН СССР.

ЧАСТЬ I

Техногенные потоки минеральных и органических веществ и геохимия экосистем

УДК 550.4 + 577.4

Н.Ф. ГЛАЗОВСКИЙ

Техногенные потоки вещества в биосфере

Важным проявлением техногенной деятельности является интенсивное перемещение вещества на Земле, на что в свое время обращали внимание Ф. Энгельс, В.И. Вернадский, А.Е. Ферсман.

Теоретическим и крупным региональным проблемам техногенеза посвящены работы К.И. Лукашова [1957], М.А. Глазовской [1968, 1974], И.В. Комара [1975], А.И. Перельмана [1972а,б], А.М. Рябикова [1972], Ю.Г. Саушкина [1973, 1978], В.А. Ковды [1973, 1975], Л.Г. Бондарева [1974, 1976а,б], А.А. Беуса с соавторами [1976], О.П. Добродеева [1977, 1978], В.В. Добровольского [1980], обобщающие монографии коллектива сотрудников МГУ [Актуальные проблемы . . ., 1976; Круговорот веществ . . ., 1980], а также работы автора этой статьи [Глазовский, 1975, 1976].

В этих работах рассмотрены миграционные циклы некоторых элементов, приведены оценки техногенной миграции ряда элементов с углем и нефтью, показаны региональные особенности техногенного геохимического воздействия.

В данной статье сделана попытка оценить общие масштабы техногенной миграции 46 химических элементов, определить основные техногенные потоки для каждого элемента и их географическое распределение.

Показатели техногенного геохимического воздействия

Для характеристики техногенного геохимического воздействия, помимо оценки количества того или иного вовлекаемого в техногенез элемента, целесообразно использовать ряд показателей.

1. Впервые такой показатель — технофильность химических элементов $[N]$ — был предложен А.И. Перельманом [1972а]. Этот показатель представляет собой отношение средней ежегодной добычи элемента (в т) к кларку литосферы и характеризует степень использования химических элементов литосферы.

2. М.А. Глазовской [1974] для оценки возможного влияния техногенеза на живые организмы введен показатель деструкционной активности элементов (A^d) — отношение веса элемента в годовой добыче плюс поступление его в окружающую среду при сжигании горючих ископаемых к весу этого элемента в годовой биологической продукции наземной растительности.

Для более полной характеристики техногенеза мы предлагаем использовать и другие показатели, в первую очередь ряд показателей техногенного использования элементов [Глазовский, 1975, 1976].

5 Показатель специального техногенного использования, или специальная техногенность: $I = \frac{M_1 + \Pi_1}{n_n}$, где M_1 — количество элемента (в т), ежегодно мобилизуемого из имобильного состояния (например, рудной залежи) специально с целью получения этого элемента или его соединений; Π_1 — количество элемента (в т), ежегодно переводимого в техногенные потоки из природных биогеохимических потоков (например, из природных вод) также специально с целью получения данного элемента; n_n — кларк элемента в ноосфере. Вопрос о геохимических кларках ноосферы требует специального рассмотрения. В первом приближении в качестве таких кларков можно принять средневзвешенное содержание элементов в атмосфере, гидросфере, живом веществе и в верхней части литосферы (табл. 1).

В состав ноосферы были включены атмосфера до высоты 80 км (гомосфера) общей массой $5,13 \cdot 10^{15}$ т [Беус и др., 1976], гидросфера массой $1,4 \cdot 10^{18}$ т [Федосеев, 1975], живое вещество массой 10^{14} т [Ковда, 1973] и верхняя часть литосферы — осадочные породы на суше и в океане общей массой $1,7 \cdot 10^{18}$ т [Полдверт, 1957] и часть кристаллических пород на континентах до глубины 5 км массой $0,8 \cdot 10^{18}$ т. Таким образом, общая масса ноосферы составляет $3,9 \cdot 10^{18}$ т. При расчете общего количества элементов, заключенных в различных частях ноосферы, использовались данные по содержанию элементов в атмосфере [Беус и др., 1976], в гидросфере [Виноградов, 1967; Хорн, 1972] и в литосфере [Виноградов, 1962].

6 Показатель специального техногенного использования показывает степень целенаправленного вовлечения элемента в техногенез.

Отношение количества вовлекаемых в техногенез элемента к кларку ноосферы подчеркивает, что некоторые элементы вовлекаются в техногенную миграцию не только из литосферы, но и из других геосфер Земли.

7 Показатель общего техногенного использования элемента, или техногенность, $I_{\Sigma} = \frac{M_1 + M_2 + \Pi_1 + \Pi_2}{n_n}$, где M_2 и Π_2 — вовлечение элементов

в техногенную миграцию соответственно в результате мобилизации из имобильного состояния и перевода из природных потоков в качестве побочных продуктов. Этот коэффициент показывает степень общего вовлечения химических элементов в техногенную миграцию.

8 Степень рационального использования вовлеченного в техногенез элемента может быть показана с помощью коэффициента полноты техногенного использования (Р), который представляет собой процентное отношение количества специального или добытого элемента к его общему количеству, вовлеченному в техногенез:

$$P = \frac{(M_1 + \Pi_1) \cdot 100\%}{M_1 + M_2 + \Pi_1 + \Pi_2}.$$

Таблица 1. Количество химических элементов в различных частях ноосферы и кларк элементов в ней

Элемент	Общее количество					Среднее содержание (кларк в ноосфере)
	литосфера	гидросфера	атмосфера	живое вещество	ноосфера	
Li	$7,5 \cdot 10^{13}$	$2 \cdot 10^{11}$		$1 \cdot 10^7$	$7,5 \cdot 10^{13}$	$1,9 \cdot 10^{-3}$
Be	$4 \cdot 10^{12}$	$8 \cdot 10^5$		$1 \cdot 10^7$	$4 \cdot 10^{12}$	$1 \cdot 10^{-4}$
B	$1,8 \cdot 10^{14}$	$6,4 \cdot 10^{12}$		$1 \cdot 10^9$	$1,9 \cdot 10^{14}$	$0,5 \cdot 10^{-2}$
N	$1 \cdot 10^{15}$	$1,4 \cdot 10^{11}$	$4 \cdot 10^{15}$	$3 \cdot 10^{11}$	$5 \cdot 10^{15}$	0,12
F	$1,4 \cdot 10^{15}$	$1,8 \cdot 10^{12}$	$2 \cdot 10^6$	$5 \cdot 10^8$	$1,4 \cdot 10^{15}$	$3,5 \cdot 10^{-2}$
Na	$2,9 \cdot 10^{16}$	$1,5 \cdot 10^{16}$		$2 \cdot 10^{10}$	$4,4 \cdot 10^{16}$	1,1
Mg	$3,3 \cdot 10^{16}$	$1,8 \cdot 10^{15}$		$4 \cdot 10^{10}$	$3,5 \cdot 10^{16}$	0,9
Al	$2,4 \cdot 10^{17}$	$1,4 \cdot 10^{10}$		$5 \cdot 10^9$	$2,4 \cdot 10^{17}$	6,1
Si	$6,4 \cdot 10^{17}$	$4,1 \cdot 10^{12}$		$2 \cdot 10^{11}$	$6,4 \cdot 10^{17}$	16
P	$2 \cdot 10^{15}$	$0,14 \cdot 10^{12}$		$7 \cdot 10^{10}$	$2 \cdot 10^{15}$	$5 \cdot 10^{-2}$
S	$5,3 \cdot 10^{15}$	$1,2 \cdot 10^{15}$	$1,2 \cdot 10^8 - 10^9$	$5 \cdot 10^{10}$	$6,5 \cdot 10^{15}$	0,17
Cl	$4,1 \cdot 10^{14}$	$27 \cdot 10^{15}$	$4 \cdot 10^7 - 2 \cdot 10^8$	$2 \cdot 10^{10}$	$2,7 \cdot 10^{16}$	0,69
K	$6,1 \cdot 10^{16}$	$0,54 \cdot 10^{15}$		$3 \cdot 10^{11}$	$6,2 \cdot 10^{16}$	1,6
Ca	$6,3 \cdot 10^{16}$	$0,57 \cdot 10^{15}$		$5 \cdot 10^{11}$	$6,4 \cdot 10^{16}$	1,6
Se	$2,6 \cdot 10^{13}$	$5,5 \cdot 10^7$		$n \cdot 10^5$	$2,6 \cdot 10^{13}$	$7 \cdot 10^{-4}$
Ti	$1 \cdot 10^{16}$	$1,3 \cdot 10^9$		$8 \cdot 10^8$	$1 \cdot 10^{16}$	0,26
V	$2,8 \cdot 10^{14}$	$4,1 \cdot 10^9$		$n \cdot 10^8$	$2,8 \cdot 10^{14}$	$7 \cdot 10^{-3}$
Cr	$2 \cdot 10^{14}$	$2,8 \cdot 10^7$		$n \cdot 10^8$	$2 \cdot 10^{14}$	$5 \cdot 10^{-3}$
Mn	$1,7 \cdot 10^{15}$	$2,8 \cdot 10^9$		$1 \cdot 10^9$	$1,7 \cdot 10^{15}$	$4,4 \cdot 10^{-2}$
Fe	$8,6 \cdot 10^{16}$	$1,4 \cdot 10^{10}$		$1 \cdot 10^{10}$	$8,6 \cdot 10^{16}$	2,2
Co	$4 \cdot 10^{13}$	$7 \cdot 10^8$		$5 \cdot 10^7$	$4 \cdot 10^{13}$	$1 \cdot 10^{-3}$
Ni	$1,8 \cdot 10^{14}$	$2,8 \cdot 10^9$			$1,8 \cdot 10^{14}$	$4,6 \cdot 10^{-3}$
Cu	$1,1 \cdot 10^{14}$	$4,1 \cdot 10^9$		$5 \cdot 10^8$	$1,1 \cdot 10^{14}$	$2,8 \cdot 10^{-3}$
Ga	$6,6 \cdot 10^{13}$	$4,1 \cdot 10^7$		$n \cdot 10^7$	$6,6 \cdot 10^{13}$	$1,7 \cdot 10^{-3}$
Zn	$1,8 \cdot 10^{14}$	$1,4 \cdot 10^{10}$		$5 \cdot 10^8$	$1,8 \cdot 10^{14}$	$4,6 \cdot 10^{-3}$
Ge	$4,4 \cdot 10^{12}$	$8,3 \cdot 10^7$		$n \cdot 10^8$	$4,4 \cdot 10^{12}$	$1,1 \cdot 10^{-4}$
As	$1,2 \cdot 10^{13}$	$1,4 \cdot 10^9$		$3 \cdot 10^7$	$1,2 \cdot 10^{13}$	$3 \cdot 10^{-4}$
Se	$1,1 \cdot 10^{12}$	$1,4 \cdot 10^8$		$n \cdot 10^6$	$1,1 \cdot 10^{12}$	$2,8 \cdot 10^{-5}$
Br	$1,2 \cdot 10^{13}$	$9,2 \cdot 10^{13}$		$1,5 \cdot 10^8$	$1 \cdot 10^{14}$	$2,6 \cdot 10^{-3}$
Sr	$9,4 \cdot 10^{14}$	$1,1 \cdot 10^{13}$	$8 \cdot 10^7$	$2 \cdot 10^9$	$9,5 \cdot 10^{14}$	$2,4 \cdot 10^{-2}$
Y	$8 \cdot 10^{13}$	$4,2 \cdot 10^8$		$1 \cdot 10^7$	$8 \cdot 10^{13}$	$2,05 \cdot 10^{-3}$
Zr	$4,8 \cdot 10^{13}$	$6,9 \cdot 10^7$		$n \cdot 10^7$	$4,8 \cdot 10^{13}$	$1,2 \cdot 10^{-3}$
Mo	$4,4 \cdot 10^{12}$	$1,4 \cdot 10^{10}$		$1 \cdot 10^7$	$4,4 \cdot 10^{12}$	$1,1 \cdot 10^{-4}$
Ag	$2,1 \cdot 10^{11}$	$4,4 \cdot 10^8$		$1 \cdot 10^7$	$2,1 \cdot 10^{11}$	$5 \cdot 10^{-6}$
Cd	$6,4 \cdot 10^{11}$	$1,4 \cdot 10^8$		$n \cdot 10^6$	$6,4 \cdot 10^{11}$	$1,6 \cdot 10^{-5}$
Sn	$1,9 \cdot 10^{13}$	$4,2 \cdot 10^9$		$5 \cdot 10^7$	$1,9 \cdot 10^{13}$	$4,9 \cdot 10^{-4}$
I	$2,1 \cdot 10^{12}$	$6,9 \cdot 10^{10}$	$4 \cdot 10^6$	$n \cdot 10^8$	$2,1 \cdot 10^{12}$	$5,4 \cdot 10^{-5}$
Cs	$2,3 \cdot 10^{13}$	$5,1 \cdot 10^8$		$1 \cdot 10^7$	$2,3 \cdot 10^{13}$	$5,9 \cdot 10^{-4}$
Ba	$1,9 \cdot 10^{14}$	$2,8 \cdot 10^{10}$		$3 \cdot 10^9$	$1,4 \cdot 10^{14}$	$3,6 \cdot 10^{-3}$
W	$4,9 \cdot 10^{12}$	$1,4 \cdot 10^{11}$		$n \cdot 10^4$	$4,9 \cdot 10^{12}$	$1,3 \cdot 10^{-7}$
Au	$2,7 \cdot 10^9$	$5,5 \cdot 10^6$		$1 \cdot 10^7$	$2,7 \cdot 10^9$	$6,9 \cdot 10^{-8}$
Hg	$7,1 \cdot 10^{11}$	$4,2 \cdot 10^7$	$4 \cdot 10^4$	$n \cdot 10^5$	$7,1 \cdot 10^{11}$	$1,8 \cdot 10^{-5}$
Tl	$3,1 \cdot 10^{12}$	$1,4 \cdot 10^7$		$n \cdot 10^5$	$3,1 \cdot 10^{12}$	$7,9 \cdot 10^{-5}$
Pb	$4,7 \cdot 10^{13}$	$4,2 \cdot 10^7$		$5 \cdot 10^7$	$4,7 \cdot 10^{13}$	$1,2 \cdot 10^{-3}$
Bi	$2,5 \cdot 10^{10}$	$2,8 \cdot 10^8$			$2,5 \cdot 10^{10}$	$6,4 \cdot 10^{-7}$
U	$7,5 \cdot 10^{12}$	$4,2 \cdot 10^9$		$n \cdot 10^5$	$7,5 \cdot 10^{12}$	$1,9 \cdot 10^{-4}$

Для характеристики связи техногенной геохимической миграции с другими миграционными процессами и для выявления степени устойчивости элемента в сфере техногенеза предлагается использовать коэффициент техногенной фиксации $K_{\Phi} = Q_1/Q_2$, где $Q_1 = M_1 + P_1$ — количество вовлеченного за определенное время в техногенез элемента, Q_2 — количество рассеянного элемента за то же время.

При рассмотрении региональных аспектов техногенной миграции накопление вещества (Н) в виде продуктов питания, сырья и орудий производства в пределах данного района можно представить следующим образом: $H = \Pi + M \pm \Delta - B$, где Π — вещество, переводимое из природных геохимических потоков в техногенные; M — вещество, находившееся в иммобильном состоянии и мобилизованное в техногенные геохимические потоки; Δ — результирующая ввоза-вывоза этого вещества для данного района, B — количество вещества, выводимого в данном районе из техногенных потоков в природную среду. Если элемент достаточно полно и быстро выводится из техногенных потоков, то $B = \Pi + M \pm \Delta$.

Особый интерес представляет параметр, характеризующий техногенное геохимическое воздействие на природную среду. Величина B не может быть использована в качестве такого параметра при изучении баланса вещества на данной территории, поскольку она включает и то количество элемента (Π), которое ранее уже мигрировало в природных геохимических потоках в данном районе. Возвращение этого количества элемента из техногенных потоков снова в природные не нарушает баланса элемента в природной среде изучаемого района. Поэтому для характеристики техногенного геохимического воздействия целесообразно использовать величину $M \pm \Delta = D$, которая показывает, какие добавочные количества элемента выводятся в данном районе из техногенных потоков в природные. Эту величину D можно назвать техногенным геохимическим давлением данного элемента, а ее отношение к площади S изучаемого района $\left(\frac{D}{S}\right)$ — модулем техногенного геохимического давления (d). Использование этого параметра особенно целесообразно в связи с тем, что и при исследовании природных потоков вещества применяются сходные параметры: показатель речного ионного стока, модуль подземного стока растворенных веществ и т. д. Следует подчеркнуть, что определить техногенное давление целесообразно не только для химического элемента, взятого в чистом виде, но отдельно и для его соединений. Так, например, техногенное давление азота вообще может быть очень небольшим, а техногенное давление окиси или двуокиси азота — огромным.

При рассмотрении общих закономерностей техногенной миграции на Земле мы также можем определить средний модуль техногенного геохимического давления на Земле в целом, который в этом случае будет равен M/S , где M — общее количество мобилизованного элемента, S — площадь поверхности Земли. Этот средний модуль может быть использован в качестве определенного эталона при сравнении техногенного геохимического воздействия в разных районах.

Основные продукты техногенной миграции

Техногенная геохимическая миграция осуществляется в виде перевозок различных продуктов питания, сырья и орудий производства. Из всего многообразия этих мигрантов можно выделить основные, которые определяют в целом геохимическую миграцию на Земле (табл. 2).

Таблица 2. Количество основных видов сырья и продуктов производства, перевозимых за год на Земле

Вид сырья	Количество	Вид сырья	Количество
Уголь, т	$2,7 \cdot 10^9 - 3,2 \cdot 10^9$	Древесина, т	$1 \cdot 10^9$
Нефть, т	$2,6 \cdot 10^9 - 3 \cdot 10^9$	Минеральные удобрения	$0,2 - 0,5 \cdot 10^9$
Газ, м ³	$1600 \cdot 10^9$	Руда, строительные материалы, т	$1 - 5 \cdot 10^9$
Сельскохозяйственная продукция, т	$2,5 \cdot 10^9$		

При характеристике техногенной миграции химических элементов приходится оперировать фактическим материалом различной степени детальности. Если для первых шести мигрантов имеется достаточное количество статистических данных по их производству и перевозкам, то для характеристики перевозки руды и строительных материалов таких данных в масштабах всего мира значительно меньше. Так же обстоит дело и с изученностью химического состава мигрантов. Состав угля, нефти, газа, сельскохозяйственной продукции и древесины изучен достаточно хорошо, а при анализе техногенной миграции вещества с удобрениями можно использовать данные лишь по содержанию N, P, K и в меньшей степени Na, Ca, Mg, S, Cl, F. Вместе с тем с удобрениями, по-видимому, попутно мигрирует большое количество различных микроэлементов, но, к сожалению, данных об их содержании в удобрениях очень мало. Это касается и миграции элементов с рудой. Состав руд чрезвычайно разнообразен, но достаточно обобщенные данные имеются лишь по извлекаемым из этих руд компонентам. Следует, однако, отметить, что весьма часто перевозки руды происходят на относительно небольшие расстояния и сказываются на геохимии окружающей среды лишь отдельных районов, поэтому в первом приближении можно оценивать только техногенную миграцию извлекаемых элементов.

Содержание элементов в мигрантах

На основании большого количества фактического материала в табл. 3 приведены средние содержания химических элементов в разной продукции, а в табл. 4 — пределы колебания содержания.

При составлении табл. 3 и 4 использовались данные из следующих работ: по содержанию элементов в угле и нефти — из работ П.Я. Антропова [1976], М.Д. Белонина [1964], А.А. Беуса и др. [1976], Н.И. Богородицкой [1955], Н.П. Бурцевой [1955], Л.А. Гуляевой [1954], Л.А. Гуляевой, В.С. Иткиной [1970], Д.И. Зульфугарлы [1952], А.А. Карцева [1969],

Таблица 3. Среднее содержание химических элементов, %

Элемент	Уголь	Нефть	Древесина	Сельскохозяйственные продукты
Li	$8,5 \cdot 10^{-6}$	$5 \cdot 10^{-5}$	$2 \cdot 10^{-6}$	$1 \cdot 10^{-5}$
Be	$7 \cdot 10^{-4}$	$n \cdot 10^{-8}$	$4 \cdot 10^{-6}$	$1 \cdot 10^{-5}$
B	$1 \cdot 10^{-2}$	$6 \cdot 10^{-3}$	$2 \cdot 10^{-4}$	$6 \cdot 10^{-4}$
N	1,5	1	0,1	2
F	0,08	$n \cdot 10^{-4}$	$2 \cdot 10^{-5}$	$1 \cdot 10^{-4}$
Na	0,5	$n \cdot 10^{-4}$	$5 \cdot 10^{-3}$	0,2
Mg	$1,3 \cdot 10^{-4}$	$1 \cdot 10^{-4}$	0,01	0,12
Al	1,5	$n \cdot 10^{-5}$	$5 \cdot 10^{-3}$	$1 \cdot 10^{-2}$
Si	2	$n \cdot 10^{-5}$	0,03	0,04
P	$1 \cdot 10^{-2}$	$5 \cdot 10^{-3}$	0,02	0,3
S	1,9	0,83	$5 \cdot 10^{-3}$	0,15
Cl	—	—	0,1	0,2
K	0,7	1	0,04	0,6
Ca	3	$n \cdot 10^4$	0,12	0,1
Sc	$5 \cdot 10^{-4}$	—	$n \cdot 10^{-7}$	$n \cdot 10^{-7}$
Ti	0,05	$n \cdot 10^{-6}$	$n \cdot 10^{-3}$	0,01
V	$1 \cdot 10^{-2}$	$1 \cdot 10^{-5}$	$2 \cdot 10^{-4}$	$5 \cdot 10^{-4}$
Cr	$1 \cdot 10^{-5}$	$n \cdot 10^{-7}$	$1 \cdot 10^{-5}$	$1 \cdot 10^{-4}$
Mn	0,14	$n \cdot 10^{-6}$	$5 \cdot 10^{-3}$	$1 \cdot 10^{-3}$
Fe	1	$1,3 \cdot 10^{-4}$	$5 \cdot 10^{-3}$	$5 \cdot 10^{-3}$
Co	$1 \cdot 10^{-3}$	$n \cdot 10^{-6}$	$n \cdot 10^{-5}$	$2 \cdot 10^{-4}$
Ni	$1 \cdot 10^{-3}$	$1 \cdot 10^{-5}$	$5 \cdot 10^{-5}$	$1 \cdot 10^{-4}$
Cu	$5 \cdot 10^{-4}$	$5 \cdot 10^{-8}$	$5 \cdot 10^{-4}$	$1 \cdot 10^{-3}$
Zn	$3,4 \cdot 10^{-3}$	$3 \cdot 10^{-6}$	$5 \cdot 10^{-3}$	$1 \cdot 10^{-2}$
Ga	$1,5 \cdot 10^{-3}$	$n \cdot 10^{-5}$	$n \cdot 10^{-5}$	$n \cdot 10^{-5}$
Ge	$5 \cdot 10^{-4}$	$n \cdot 10^{-8}$	$2 \cdot 10^{-5}$	$2 \cdot 10^{-4}$
As	$8,5 \cdot 10^{-3}$	$n \cdot 10^{-6}$	$n \cdot 10^{-5}$	$n \cdot 10^{-5}$
Se	$1 \cdot 10^{-3}$	$n \cdot 10^{-6}$	$n \cdot 10^{-6}$	$n \cdot 10^{-6}$
Br	$1 \cdot 10^{-3}$	$1 \cdot 10^{-3}$	$n \cdot 10^{-5}$	$5 \cdot 10^{-4}$
Sr	$4 \cdot 10^{-3}$	$n \cdot 10^{-6}$	$5 \cdot 10^{-4}$	$2 \cdot 10^{-3}$
Y	$n \cdot 10^{-4}$	$n \cdot 10^{-5}$	$n \cdot 10^{-5}$	$n \cdot 10^{-4} - n \cdot 10^{-5}$
Zr	$1 \cdot 10^{-2}$	$n \cdot 10^{-8}$	$n \cdot 10^{-5}$	$n \cdot 10^{-4} - n \cdot 10^{-5}$
Mo	$2 \cdot 10^{-3}$	$n \cdot 10^{-7}$	$n \cdot 10^{-5}$	$1 \cdot 10^{-4}$
Ag	$3,3 \cdot 10^{-5}$	$n \cdot 10^{-7}$	$5 \cdot 10^{-6}$	$1 \cdot 10^{-5}$
Cd	$1 \cdot 10^{-3}$	$5 \cdot 10^{-4}$	$n \cdot 10^{-6}$	$n \cdot 10^{-6}$
Sn	$n \cdot 10^{-3}$	$n \cdot 10^{-7}$	$n \cdot 10^{-5}$	$n \cdot 10^{-5}$
J	$1,7 \cdot 10^{-3}$	$6 \cdot 10^{-4}$	$n \cdot 10^{-5}$	$1 \cdot 10^{-4}$
Cs	$8,5 \cdot 10^{-7}$	$n \cdot 10^{-6}$	$n \cdot 10^{-6}$	$5 \cdot 10^{-6}$
Ba	$5 \cdot 10^{-3}$	$1 \cdot 10^{-5}$	$5 \cdot 10^{-4}$	$3 \cdot 10^{-3}$
W	$1 \cdot 10^{-2}$	$n \cdot 10^{-8}$	$n \cdot 10^{-8}$	$n \cdot 10^{-8}$
Au	$5 \cdot 10^{-5}$	$n \cdot 10^{-8}$	$5 \cdot 10^{-6}$	$1 \cdot 10^{-5}$
Hg	$5 \cdot 10^{-6}$	$5 \cdot 10^{-6}$	$5 \cdot 10^{-7}$	$1 \cdot 10^{-6}$
Tl	$1,7 \cdot 10^{-5}$	$n \cdot 10^{-8}$	$n \cdot 10^{-8}$	$n \cdot 10^{-7}$
Pb	$2 \cdot 10^{-3}$	$5 \cdot 10^{-5}$	$5 \cdot 10^{-5}$	$1 \cdot 10^{-4}$
Bi	$3,4 \cdot 10^{-4}$	—	—	—
U	$6,8 \cdot 10^{-3}$	$5 \cdot 10^{-5}$	$2,6 \cdot 10^{-6}$	$5 \cdot 10^{-6}$

Таблица 4. Пределы колебания содержания химических элементов, %

Элементы	Уголь	Нефть	Древесина	Сельскохозяйственные продукты
Li	—	$n \cdot 10^{-6} - n \cdot 10^{-4}$	—	—
Be	—	—	—	$n \cdot 10^{-6} - n \cdot 10^{-5}$
B	—	$2 \cdot 10^{-3} - 1 \cdot 10^{-2}$	—	—
N	1–2	—	0,075–0,2	—
F	0,02–0,2	—	—	$n \cdot 10^{-5} - n \cdot 10^{-4}$
Na	0,1–1	$n \cdot 10^{-5} - n \cdot 10^{-3}$	—	—
Mg	—	$n \cdot 10^{-5} - n \cdot 10^{-4}$	—	—
Al	0,4–4	—	—	$n \cdot 10^{-3} - n \cdot 10^{-2}$
Si	1,2–6	—	—	—
P	$5 \cdot 10^{-3} - 5 \cdot 10^{-2}$	$1 \cdot 10^{-3} - 1 \cdot 10^{-2}$	0,01–0,04	—
S	0,1–5	0,2–2	—	—
K	0,1–2	0,1–2,8	0,02–0,06	0,4–0,8
Ca	2–5	$n \cdot 10^{-5} - n \cdot 10^{-4}$	—	0,04–0,2
Sc	$2 \cdot 10^{-4} - 1 \cdot 10^{-3}$ (до $8 \cdot 10^{-3}$)	—	—	—
Ti	0,00n–0,n	—	—	$n \cdot 10^{-3} - n \cdot 10^{-2}$
V	$5 \cdot 10^{-3} - 5 \cdot 10^{-2}$ (до 0,1)	$1 \cdot 10^{-7} - 1 \cdot 10^{-2}$	—	—
Cr	$n \cdot 10^{-6} - n \cdot 10^{-4}$	$n \cdot 10^{-8} - n \cdot 10^{-6}$	—	$n \cdot 10^{-5} - n \cdot 10^{-4}$
Mn	—	$n \cdot 10^{-7} - n \cdot 10^{-5}$	—	$n \cdot 10^{-4} - n \cdot 10^{-2}$
Fe	0,6–2,5	$8 \cdot 10^{-5} - 8 \cdot 10^{-4}$	—	$n \cdot 10^{-4} - n \cdot 10^{-2}$
Co	$4 \cdot 10^{-4} - 7 \cdot 10^{-3}$	$n \cdot 10^{-7} - n \cdot 10^{-6}$	—	—
Ni	$3 \cdot 10^{-4} - 2 \cdot 10^{-2}$	$9 \cdot 10^{-7} - 4 \cdot 10^{-3}$	—	—
Cu	$1 \cdot 10^{-4} - 1,5 \cdot 10^{-2}$	$3 \cdot 10^{-6} - 1 \cdot 10^{-5}$	—	—
Zn	—	$3 \cdot 10^{-7} - 4 \cdot 10^{-5}$	—	$n \cdot 10^{-3} - n \cdot 10^{-2}$
Ga	$5 \cdot 10^{-4} - 4 \cdot 10^{-3}$	—	—	—
Ge	$1 \cdot 10^{-4} - 2,5 \cdot 10^{-2}$	$n \cdot 10^{-8} - n \cdot 10^{-7}$	—	—
Br	$6 \cdot 10^{-5} - 1 \cdot 10^{-2}$	$6 \cdot 10^{-5} - 1 \cdot 10^{-2}$	—	$n \cdot 10^{-5} - n \cdot 10^{-3}$
Sr	$2 \cdot 10^{-3} - 8 \cdot 10^{-2}$	$n \cdot 10^{-6} - n \cdot 10^{-5}$	—	—
Y	$n \cdot 10^{-5} - n \cdot 10^{-3}$	—	—	$n \cdot 10^{-5} - n \cdot 10^{-4}$
Zr	$n \cdot 10^{-3} - n \cdot 10^{-2}$	$n \cdot 10^{-8} - n \cdot 10^{-7}$	—	$n \cdot 10^{-5} - n \cdot 10^{-4}$
Mo	$3 \cdot 10^{-4} - 1,5 \cdot 10^{-2}$	$n \cdot 10^{-7} - n \cdot 10^{-6}$	—	$n \cdot 10^{-5} - n \cdot 10^{-4}$
Cd	$n \cdot 10^{-5} - n \cdot 10^{-2}$	$n \cdot 10^{-5} - n \cdot 10^{-3}$	—	—
Sn	$n \cdot 10^{-4} - n \cdot 10^{-2}$	—	—	—
J	—	$3 \cdot 10^{-4} - 1 \cdot 10^{-3}$	—	—
Cs	—	—	—	$1 \cdot 10^{-6} - 1 \cdot 10^{-5}$
Ba	$n \cdot 10^{-4} - n \cdot 10^{-2}$	$n \cdot 10^{-6} - n \cdot 10^{-5}$	—	—
W	$n \cdot 10^{-3} - n \cdot 10^{-2}$	—	—	—
Au	$n \cdot 10^{-6} - n \cdot 10^{-4}$	—	—	—
Hg	$n \cdot 10^{-8} - n \cdot 10^{-5}$	$n \cdot 10^{-9} - n \cdot 10^{-4}$	—	$n \cdot 10^{-7} - n \cdot 10^{-6}$
Pb	$5 \cdot 10^{-4} - 5 \cdot 10^{-2}$	$n \cdot 10^{-7} - n \cdot 10^{-4}$	—	$n \cdot 10^{-5} - n \cdot 10^{-4}$
U	—	$n \cdot 10^{-8} - n \cdot 10^{-5}$	—	—

Х.К. Касимова [1967], С.М. Катченкова [1959], В.Р. Клера [1975], К.И. Лукашова [1957], Б. Мейсона [1957]; по основным аспектам геохимии нефти — данные из работ А.И. Перельмана [1972а,б], Е.Я. Подолько [1970], В.М. Ратынского, Ю.Н. Жарова [1980], Д. Дж. Свайна [1972], В.А. Соколова и др. [1971], "Энергетические ресурсы СССР" [1968];

Таблица 5. Содержание серы в нефти в различных районах, %

Районы	Содержание серы*	Районы	Содержание серы*
СССР			
Пермская область	0,25–0,8 0,5	Азербайджанская СССР	0,2–1 0,4
Удмуртская АССР	2–3 2,5	Грузинская ССР	0,05–2 0,8
Оренбургская область	2–3 2,5	Казахская ССР	0,1–1,3 0,2
Татарская АССР	0,9–2,6 1,4	Киргизская ССР	0,4–0,7 0,5
Башкирская АССР	0,4–5 2	Узбекская ССР	0,05–0,1 0,07
Куйбышевская область	0,6–2 1	Таджикская ССР	1–4,4 2
Саратовская область	0,1–0,4 0,3	Другие районы мира	
Волгоградская область	0,01–1,1 0,4	Аляска	0,9
Астраханская область	0,3–1,6 0,8	США (Техас, Калифор- ния)	0,26–1,6 0,75
Ставропольский край	0,01–0,1 0,05	Район Мексиканского залива	0,19
Краснодарский край	0,2–2,1 0,8	Венесуэла	1,4
Чечено-Ингушская АССР	0,1–0,23 0,15	Тринидад и Тобаго	1,8
Дагестанская АССР	0,1–0,4 0,15	Западная Европа	0,5–1 0,8
✓ Западная Сибирь	0,4–1,7 1	Алжир	0,15–0,06 0,2
Восточная Сибирь	0,04–0,8 0,3	Ливия	0,05–0,2 0,1
Сахалин	0,2–0,62 0,3	Кувейт	1–3 2
Украинская ССР	0,05–0,3 0,1	Ирак	1–2 1,5
Белорусская ССР	0,2–0,7 0,5	Индия, Пакистан, Бирма	0,2

* В числителе — интервал содержания, в знаменателе — среднее содержание.

по содержанию элементов в газе — из работ Л.А. Карцева [1969], В.А. Соколова и др. [1972]; по содержанию элементов в древесине и в сельскохозяйственной продукции — из работ А.А. Беуса и др. [1976], "Биохимия культурных растений" [1938], И.Н. Гоголева [1968], В.А. Ковды [1973]. "Микроэлементы в сельском хозяйстве" [1963], А.И. Перельмана [1972а], Б.П. Плешкова [1975], Л.Е. Родина и Н.И. Базиливец [1965], "Справочника по удобрениям" [1964].

При дальнейших расчетах принято следующее содержание химических

Таблица 6. Содержание серы в угле из различных месторождений СССР

Угольный бассейн, район	%	Угольный бассейн, район	%
Печорский	0,7	Тургайский	0,7
Подмосковный	3,7	Среднеазиатский	1,5
Львовско-Волынский	3,0	Кузнецкий	0,5
Днепровский	4,4	Горловский	0,3
Донецкий	2,7	Канско-Ачинский	0,9
Грузинский	1,3	Минусинский	0,7
Уральский	4,0	Тунгусский	0,4
Карагандинский	1,9	Иркутский	1,5
Экибастузский	0,8	Дальневосточный	0,5

элементов в добываемом природном газе: N — 12–120 г/м³, S — 0,1–0,3 г/м³.

Содержание химических элементов в сельскохозяйственной продукции и особенно в полезных ископаемых значительно варьирует (табл. 4). В данной работе в связи с глобальным характером оценок техногенного воздействия и вследствие отсутствия подробных данных о содержании различных элементов в большинстве месторождений использованы обобщенные данные без учета спецификации отдельных месторождений. Исключение составляет лишь расчет техногенной миграции серы, при котором для мира в целом учитывалось реальное содержание ее в различных месторождениях нефти, а для территории СССР — в месторождениях как нефти, так и угля (табл. 5,6).

Общая характеристика техногенных потоков химических элементов

На основании данных о добыче полезных ископаемых, производстве сельскохозяйственной продукции и содержании химических элементов можно рассчитывать общее количество элементов, вовлеченных в техногенную миграцию с тем или иным видом сырья и продукции (табл. 7).

С углем в основном мигрируют Be, B, N, Fe, Al, Si, S, K, Ca, Se, Bi, Sr, V, Mo, U, Cd, Sn, J, W, Ti, Mn, Co, Ga, Ge, As, Sc, с нефтью — B, N, S, K, Br, Cd, J, Hg, с газом — N; попутно с рудами — Si, Ca; в результате специальной добычи и производства — Li, B, N, F, Na, Mg, Al, Si, P, S, Cl, K, Ca, Ti, Cr, Mn, Fe, Co, Ni, Cu, Zn, As, Se, Br, Zr, Mo, Ag, Cd, Sn, J, Cs, Ba, W, Au, Hg, Pb, Bi; с сельскохозяйственной продукцией — N, P, Mg, S, K; с древесиной — N, S.

Естественно, это относится к техногенной миграции в глобальных масштабах. В техногенной миграции в пределах отдельных конкретных районов соотношение продуктов, с которыми преимущественно мигрирует тот или иной элемент, может меняться.

Как видно из табл. 7, миграция в виде попутных примесей для многих элементов превышает их специальную добычу. Это особенно хорошо видно по коэффициентам полноты техногенного использования (табл. 8).

Таблица 7. Вовлечение химических элементов в техногенные потоки и техногенное давление на Земле

Элемент	Миграция в результате техногенной мобилизации, т/год					
	первичной попутной (M_2)					Специальной (M_1)
	с горючими ископаемыми				с рудой	
	углем	нефтью	газом	всего		
1	2	3	4	5	6	7
Li	$2,3 \cdot 10^2$	$1,3 \cdot 10^3$		$1,5 \cdot 10^3$	$0,5 \cdot 10^3$	$1,5 \cdot 10^4$
Be	$1,9 \cdot 10^4$	0, n		$1,9 \cdot 10^4$	$0,5 \cdot 10^2$	$0,5 \cdot 10^3$
B	$2,7 \cdot 10^5$	$1,6 \cdot 10^5$		$4,3 \cdot 10^5$	—	$2 \cdot 10^5$
N	$4 \cdot 10^7$	$2,6 \cdot 10^7$	$1,9 \cdot 10^7$ — $19 \cdot 10^7$	$8,5 \cdot 10^7$ — $26 \cdot 10^7$	—	$(4,3 \cdot 10^7)^{**}$
F	$2 \cdot 10^6$ *	$n \cdot 10^3$		$2 \cdot 10^6$	$02, \cdot 10^6$	$1,8 \cdot 10^6$
Na	$1,4 \cdot 10^7$	$n \cdot 10^4$		$1,4 \cdot 10^7$	$3,4 \cdot 10^7$	$3,4 \cdot 10^8$ $(5 \cdot 10^8)^{**}$
Mg	$3,5 \cdot 10^3$	$2,6 \cdot 10^3$		$6,1 \cdot 10^3$	$0,3 \cdot 10^6$	$3 \cdot 10^6$ $(5 \cdot 10^6)^{**}$
Al	$4 \cdot 10^7$	$n \cdot 10^2$		$4 \cdot 10^7$	$6,5 \cdot 10^5$	$6,5 \cdot 10^6$
Si	$5,4 \cdot 10^7$	$n \cdot 10^2$		$5,4 \cdot 10^7$	—	$n \cdot 10^7$
P	$2,7 \cdot 10^5$	$1,3 \cdot 10^5$		$4 \cdot 10^5$	$1,1 \cdot 10^5$	$1,1 \cdot 10^7$
S	$5,1 \cdot 10^7$	$3 \cdot 10^7$		$8,1 \cdot 10^7$ — $8,4 \cdot 10^7$	$5 \cdot 10^6$	$2 \cdot 10^7$
Cl					$4 \cdot 10^7$	$4 \cdot 10^8$ $(6 \cdot 10^8)^{**}$
K	$1,9 \cdot 10^7$	$2,6 \cdot 10^7$		$4,5 \cdot 10^7$	$1,6 \cdot 10^6$	$1,6 \cdot 10^7$ $(1,8 \cdot 10^7)^{**}$
Ca	$8,1 \cdot 10^7$	$n \cdot 10^3$		$8 \cdot 10^7$	$6 \cdot 10^7$	$6 \cdot 10^8$
Sc	$1,3 \cdot 10^4$			$1,3 \cdot 10^4$		$5 \cdot 10$
Ti	$1,3 \cdot 10^6$	$n \cdot 10$		$1,3 \cdot 10^6$	$n \cdot 10^5$	$n \cdot 10^6$ — $n \cdot 10^7$
V	$2,7 \cdot 10^5$	$2,6 \cdot 10^2$		$2,7 \cdot 10^5$		$n \cdot 10^3$ — $n \cdot 10^4$
Cr	$2,7 \cdot 10^2$	n — $n \cdot 10$		$2,7 \cdot 10^2$	$2 \cdot 10^5$	$2 \cdot 10^6$
Mn	$3,7 \cdot 10^6$	n — $n \cdot 10^2$		$3,7 \cdot 10^6$	$5 \cdot 10^5$	$5 \cdot 10^6$
Fe	$2,7 \cdot 10^7$	$3,4 \cdot 10^3$		$2,7 \cdot 10^7$	$7,5 \cdot 10^7$	$7,5 \cdot 10^8$
Co	$2,7 \cdot 10^4$	n — $n \cdot 10$		$2,7 \cdot 10^4$	$1,4 \cdot 10^3$	$1,4 \cdot 10^4$
Ni	$2,7 \cdot 10^4$	$2,6 \cdot 10^2$		$2,7 \cdot 10^4$	$5 \cdot 10^4$	$5 \cdot 10^5$
Cu	$1,3 \cdot 10^4$	$1,3 \cdot 10^2$		$1,3 \cdot 10^4$	$0,6 \cdot 10^6$	$6 \cdot 10^6$
Zn	$9 \cdot 10^4$	$7,8 \cdot 10$		$9 \cdot 10^4$	$5 \cdot 10^5$	$4 \cdot 10^6$
Ga	$4 \cdot 10^4$			$4 \cdot 10^4$		10
Ge	$1,3 \cdot 10^4$	0, n — n		$1,3 \cdot 10^4$		$1 \cdot 10^2$
As	$2,3 \cdot 10^5$	$n \cdot 10$		$2,3 \cdot 10^5$	$8 \cdot 10^2$	$5 \cdot 10^4$
Se	$2,7 \cdot 10^4$			$2,7 \cdot 10^4$		$2 \cdot 10^3$
Br	$2,7 \cdot 10^4$	$2,6 \cdot 10^4$		$5,3 \cdot 10^4$	$5 \cdot 10^3$	$0,5 \cdot 10^5$ $(1,5 \cdot 10^5)^{**}$
Sr	$1,1 \cdot 10^5$	$n \cdot 10$ — $n \cdot 10^3$		$1,1 \cdot 10^5$		
Y	$1 \cdot 10^2$ — $2 \cdot 10^5$			$1 \cdot 10^2$ — $2 \cdot 10^5$		
Zr	$2,7 \cdot 10^5$	0, n — n		$2,7 \cdot 10^5$	$2 \cdot 10^5$	$n \cdot 10^6$
Mo	$5,4 \cdot 10^4$	n — $n \cdot 10^4$		$5,4 \cdot 10^4$	$5 \cdot 10^3$	$5 \cdot 10^4$
Ag	$8,9 \cdot 10^2$	n		$8,9 \cdot 10^2$		$1 \cdot 10^4$
Cd	$2,7 \cdot 10^4$	$1,3 \cdot 10^4$		$4 \cdot 10^4$	$2 \cdot 10^3$	$2,5 \cdot 10^4$

Расcеяние элементов, полученных в результате мобилизации	Общее техногенное давление Д, т/год	Глобальный модуль техногенного давления Д, т/год·км²	Миграция в результате перевода элементов из природных потоков в техногенные (П), т/год		Общая техногенная миграция ($Q = \Pi + M$), т/год
			с сельско-хоз. продукцией	с древесиной	
			11	12	
8	9	10	11	12	13
$0,5 \cdot 10^3$	$2,5 \cdot 10^3$	0,005	$2,5 \cdot 10^2$	$2 \cdot 10$	$1,7 \cdot 10^4$
$0,5 \cdot 10^2$	$2 \cdot 10^4$	0,04	$2,5 \cdot 10^2$	$4 \cdot 10$	$2,4 \cdot 10^4$
$1 \cdot 10^5$	$5,3 \cdot 10^5$	1	$1,5 \cdot 10^4$	$2 \cdot 10^3$	$6,4 \cdot 10^5$
—	$8,5 \cdot 10^7$ — $26 \cdot 10^7$	$1,7 \cdot 10^2$	$5 \cdot 10^7$	$1 \cdot 10^7$	$19 \cdot 10^7$ — $36 \cdot 10^7$
$1 \cdot 10^6$	$3,2 \cdot 10^6$	6,3	$2,5 \cdot 10^3$	$2 \cdot 10^2$	$4 \cdot 10^6$
$3,4 \cdot 10^8$	$3,9 \cdot 10^8$	$7,6 \cdot 10^2$	$5 \cdot 10^6$	$5 \cdot 10^4$	$5,5 \cdot 10^8$
$2 \cdot 10^6$	$2,6 \cdot 10^6$	5,1	$3 \cdot 10^6$	$1 \cdot 10^5$	$8,4 \cdot 10^6$
$1,2 \cdot 10^5$	$4,1 \cdot 10^7$	80	$2,5 \cdot 10^5$	$5 \cdot 10^4$	$4,6 \cdot 10^7$
$n \cdot 10^7$	$n \cdot 10^7$ — 10^8	20—1800	$1 \cdot 10^6$	$3 \cdot 10^5$	$n \cdot 10^7$ — $n \cdot 10^8$
$1,1 \cdot 10^7$	$1,2 \cdot 10^7$	24	$7,5 \cdot 10^6$	$2 \cdot 10^5$	$2 \cdot 10^7$
$1,5 \cdot 10^7$	$1 \cdot 10^8$	$2 \cdot 10^2$	$3,7 \cdot 10^6$	$1,5 \cdot 10^6$	$1 \cdot 10^8$
$4 \cdot 10^8$	$4,4 \cdot 10^8$	$8,6 \cdot 10^2$	$5 \cdot 10^6$	$2 \cdot 10^6$	$6,1 \cdot 10^8$
$1,6 \cdot 10^7$	$6,3 \cdot 10^7$	$1,2 \cdot 10^2$	$1,6 \cdot 10^7$	$4 \cdot 10^5$	$8,1 \cdot 10^7$
$3 \cdot 10^8$	$4,4 \cdot 10^8$	$8,6 \cdot 10^2$	$2,5 \cdot 10^6$	$1,2 \cdot 10^6$	$7,4 \cdot 10^8$
5	$1,3 \cdot 10^4$	0,025	n	n	$1,3 \cdot 10^4$
$0, n \cdot 10^6$ — $n \cdot 10^6$	$n \cdot 10^6$	2—20	$2,5 \cdot 10^5$	$n \cdot 10^4$	$n \cdot 10^6$ — $n \cdot 10^7$
$n \cdot 10^3$	$2,8 \cdot 10^5$	0,55	$1,2 \cdot 10^4$	$2 \cdot 10^3$	$2,9 \cdot 10^5$
$2 \cdot 10^5$	$4 \cdot 10^5$	0,78	$2,5 \cdot 10^3$	$1 \cdot 10^2$	$2,4 \cdot 10^6$
$1 \cdot 10^6$	$5,2 \cdot 10^6$	10	$2,5 \cdot 10^4$	$5 \cdot 10^4$	$9,2 \cdot 10^6$
$2,6 \cdot 10^8$	$3,6 \cdot 10^8$	$7 \cdot 10^2$	$1,2 \cdot 10^5$	$5 \cdot 10^4$	$8,5 \cdot 10^8$
$2,8 \cdot 10^3$	$3 \cdot 10^4$	0,06	$5 \cdot 10^3$	$n \cdot 10^2$	$4,5 \cdot 10^4$
$1 \cdot 10^5$	$1,8 \cdot 10^5$	0,35	$2,5 \cdot 10^3$	$5 \cdot 10^2$	$5,8 \cdot 10^5$
$1,2 \cdot 10^6$	$1,8 \cdot 10^6$	3,5	$2,5 \cdot 10^4$	$5 \cdot 10^3$	$6,6 \cdot 10^6$
$8 \cdot 10^5$	$1,4 \cdot 10^6$	2,7	$2,5 \cdot 10^5$	$5 \cdot 10^4$	$4,8 \cdot 10^6$
	$4 \cdot 10^4$	0,08	$n \cdot 10^2$	$5 \cdot 10^2$	$4,1 \cdot 10^4$
	$1,3 \cdot 10^4$	0,025	$2 \cdot 10^3$	$2 \cdot 10^2$	$1,3 \cdot 10^4$
$1 \cdot 10^4$	$2,4 \cdot 10^8$	0,47	$n \cdot 10^2$	$n \cdot 10^2$	$2,9 \cdot 10^5$
	$2,7 \cdot 10^4$	0,052	n · 10	n · 10	$2,8 \cdot 10^4$
$0,5 \cdot 10^5$	$1 \cdot 10^5$	0,2	$5 \cdot 10^3$	$n \cdot 10^5$	$2,1 \cdot 10^5$
	$1,1 \cdot 10^5$	0,21	$2 \cdot 10^4$	$n \cdot 10^3$	
	$1 \cdot 10^2$ — $2 \cdot 10^5$	0,0002—0,4	$2 \cdot 10^4$	$n \cdot 10^3$	$n \cdot 10^4$ — 10^5
$5 \cdot 10^5$	$1 \cdot 10^6$	1,2	$2 \cdot 10^4$	$n \cdot 10^3$	$n \cdot 10^6$
$1 \cdot 10^4$	$7 \cdot 10^4$	0,14	$2,5 \cdot 10^3$	$n \cdot 10^2$	$1,1 \cdot 10^5$
$1 \cdot 10^3$	$2 \cdot 10^3$	0,004	$2,5 \cdot 10^2$	$5 \cdot 10$	$1,1 \cdot 10^4$
$2 \cdot 10^4$	$6,2 \cdot 10^4$	0,12	n · 10	n · 10	$6,5 \cdot 10^4$

Таблица 7 (окончание)

1	2	3	4	5	6	7
Sn	$2,7 \cdot 10^4$	n		$2,7 \cdot 10^4$	$2 \cdot 10^4$	$2 \cdot 10^5$
J	$4,6 \cdot 10^4$	$1,6 \cdot 10^4$		$6,2 \cdot 10^4$		$(n \cdot 10^3)^{**}$
Cs	23			23		$n \cdot 10^3$
Ba	$1,3 \cdot 10^5$	$2,6 \cdot 10^2$		$1,3 \cdot 10^5$	$2 \cdot 10^5$	$2 \cdot 10^6$
W	$2,7 \cdot 10^5$			$2,7 \cdot 10^5$		$2 \cdot 10^5$
Au	$1,3 \cdot 10^3$	$0, n$		$1,3 \cdot 10^3$		$n \cdot 10^3$
Hg	$1,3 \cdot 10^2$	$1,3 \cdot 10^2$		$2,6 \cdot 10^2$	$2 \cdot 10^2$	$1 \cdot 10^3$
Tl	$4,6 \cdot 10^2$			$4,6 \cdot 10^2$	22	$n \cdot 10$
Pb	$5,4 \cdot 10^4$	$1,3 \cdot 10^3$		$5,5 \cdot 10^4$	$3 \cdot 10^5$	$3 \cdot 10^6$
Bi	$9,2 \cdot 10^3$			$9,2 \cdot 10^3$		$3 \cdot 10^3$
U	$1,8 \cdot 10^5$	$1,3 \cdot 10^3$		$1,8 \cdot 10^5$		$3 \cdot 10^4$

*Расчеты ориентировочные.

**В скобках приведено общее количество элемента, вовлекаемого в техногенную миграцию как при мобилизации из залежей, так и в результате перевода из природных потоков (например, при получении из морской воды).

Таблица 8. Коэффициент полноты техноген. его использования

Элемент	Коэффициент полноты техногенного использования	Элемент	Коэффициент полноты техногенного использования	Элемент	Коэффициент полноты техногенного использования
Cl	98	Mn	54	Se	7,1
Na, Cu, Ag, Ba	91	Mo, F	45	Be	2,1
Li, Fe, Pb	88	W	43	Si	n
Sn	87	Cd	38	V	n
Ni	86	B, Co	31	J	n
Cr, Zn	83	Bi	25	Ge	0,8
Ca	81	K	22	Sc	0,4
Hg	77	S	20	Ga	0,024
Br	71	As, N	17		
P	55	Al, U	14		

Технофильность и техногенность элементов

Техногенность большинства элементов выше, чем технофильность (табл. 9). Это связано с тем, что средневзвешенное содержание приведенных элементов в ноосфере ниже, чем в литосфере. Для некоторых элементов — В, Al, S, As, Se, Br, Hg, содержание которых в ноосфере в целом выше, чем в литосфере, техногенность меньше, чем технофильность. Для ряда элементов — P, Ti, Co, Cd, Sn, J, Cs, Tl — технофильность и техногенность примерно равны.

В некоторых случаях показатель техногенности позволяет более правильно судить об интенсивности вовлечения элемента в техногенез.

8	9	10	11	12	13
$4 \cdot 10^4$	$8,7 \cdot 10^4$	0,17	$n \cdot 10^2$	$n \cdot 10^2$	$2,3 \cdot 10^5$
	$6,2 \cdot 10^4$	0,12	$1,5 \cdot 10^3$	$n \cdot 10^2$	$7 \cdot 10^4$
$n \cdot 10^3$	$n \cdot 10^2$	0,0002— 0,002	$1,2 \cdot 10^2$	$n \cdot 10$	$n \cdot 10^3$
$4 \cdot 10^5$	$7,3 \cdot 10^5$	1,4	$7,5 \cdot 10^4$	$5 \cdot 10^3$	$2,2 \cdot 10^6$
$3 \cdot 10^4$	$3 \cdot 10^5$	0,006	n	$0, n$	$4,7 \cdot 10^5$
$n \cdot 10^2$	$2 \cdot 10^3$	0,004	$2,5 \cdot 10^2$	$5 \cdot 10$	$n \cdot 10^3$
$8 \cdot 10^2$	$1,3 \cdot 10^3$	0,0025	25	5	$1,3 \cdot 10^3$
	$5 \cdot 10^2$	0,001			$5 \cdot 10^2$
$5 \cdot 10^5$	$1,3 \cdot 10^6$	2,5	$2,5 \cdot 10^3$	$5 \cdot 10^2$	$3,4 \cdot 10^6$
$1 \cdot 10^3$	$1 \cdot 10^4$	0,02			$1,2 \cdot 10^4$
	$2 \cdot 10^5$	0,4	$1,2 \cdot 10^2$	20	$2,1 \cdot 10^5$

Так, если считать основным показателем относительной интенсивности вовлечения элементов в техногенез технофильность, то получится, что наиболее энергично вовлекается Cl, технофильность которого равна $3 \cdot 10^{10}$ и превышает технофильность таких элементов, как Be, Au, Cd, Ag, Na.

На самом деле хлор в ноосфере распространен очень широко и по показателю специальной техногенности, равной $8,7 \cdot 10^8$, он значительно отстает от Ag, Bi, Cu, Au, Pb и некоторых других элементов, что более соответствует действительной степени вовлечения элемента в техногенез. По показателям технофильности и техногенности элементы группируются следующим образом (табл. 10).

Как следует из табл. 10, наиболее техногенный элемент — золото, которое вовлекается в техногенез по отношению к своему содержанию в ноосфере интенсивнее всего.

Глобальное техногенное давление

Несколько иное значение имеет использование каждого из видов сырья в техногенном давлении того или иного элемента. В глобальных масштабах техногенное давление определяет: 1) использование угля — для Be, B, N, F, Al, Si, S, K, Sc, Ti, V, Mn, Co, Ga, Ge, As, Se, Br, Mo, Ag, Cd, J, Ba, W, Au, U; 2) использование нефти — для Li, N, S, K, Br, Cd, J; 3) использование газа — для N; 4) рассеяние после специальной добычи — для B, F, Na, Mg, Si, P, S, Cl, K, Ca, Ti, Cr, Mn, Fe, Ni, Cu, Zn, Bi, Zr, Ag, Cd, Sn, Ba, Hg, Pb, U.

Наибольшее техногенное давление присуще Na, Cl, Ca, Fe (табл. 11).

Такое распределение элементов по модулям техногенного давления характеризует общее геохимическое значение техногенеза во вторичном

Таблица 9. Технофильность и техногенность химических элементов

Элемент	Техно-фильность*	Техногенность		Элемент	Техно-фильность	Техногенность	
		специальная	общая			специальная	общая
Li	$1,7 \cdot 10^6$	$7,9 \cdot 10^6$	$8,9 \cdot 10^6$	Cu	$5 \cdot 10^8$	$2,1 \cdot 10^9$	$2,4 \cdot 10^9$
Be	$5 \cdot 10^5$	$5 \cdot 10^6$	$2,4 \cdot 10^8$	Zn	$2 \cdot 10^8$	$8,7 \cdot 10^8$	$1 \cdot 10^9$
B	$6 \cdot 10^7$	$4 \cdot 10^7$	$1,3 \cdot 10^8$	Ga	$5,2 \cdot 10^{3**}$	$5,9 \cdot 10^3$	$2,4 \cdot 10^7$
N	$2,5 \cdot 10^8$	$3,6 \cdot 10^8$	$1,6 \cdot 10^9$	Ge	$7 \cdot 10^5$	$9,1 \cdot 10^5$	$1,2 \cdot 10^8$
			$3 \cdot 10^{10}$	As	$2,9 \cdot 10^{8**}$	$1,7 \cdot 10^8$	$1 \cdot 10^9$
F	$2,6 \cdot 10^{7**}$	$5 \cdot 10^7$	$1,1 \cdot 10^8$	Se	$2 \cdot 10^{8**}$	$7,1 \cdot 10^7$	$1 \cdot 10^9$
Na	$1,3 \cdot 10^8$	$4,5 \cdot 10^8$	$5,5 \cdot 10^8$	Br	$7 \cdot 10^{8**}$	$5 \cdot 10^7$	$8 \cdot 10^7$
Mg	$1,5 \cdot 10^6$	$5,6 \cdot 10^6$	$9,3 \cdot 10^6$	Zr	$6 \cdot 10^6$	$n \cdot 10^9$	$n \cdot 10^9$
Al	$1,5 \cdot 10^6$	$1,1 \cdot 10^6$	$7,5 \cdot 10^6$	Mo	$2 \cdot 10^8$	$4,5 \cdot 10^8$	$1 \cdot 10^9$
Si			$n \cdot 10^6$	Ag	$1 \cdot 10^9$	$2 \cdot 10^9$	$2,2 \cdot 10^9$
			$n \cdot 10^7$	Cd	$1,9 \cdot 10^{9**}$	$1,6 \cdot 10^9$	$4 \cdot 10^9$
P	$2 \cdot 10^8$	$2,2 \cdot 10^8$	$4 \cdot 10^8$	Sn	$5 \cdot 10^{8**}$	$4,1 \cdot 10^8$	$4,7 \cdot 10^8$
S	$4 \cdot 10^8$	$1,2 \cdot 10^8$	$5,9 \cdot 10^8$	J	$n \cdot 10^{8**}$	$n \cdot 10^7$	$1,3 \cdot 10^9$
Cl	$3 \cdot 10^{10}$	$8,7 \cdot 10^8$	$8,8 \cdot 10^8$			$n \cdot 10^8$	
K	$3 \cdot 10^6$	$1,1 \cdot 10^7$	$1,8 \cdot 10^7$	Cs	$5 \cdot 10^6$	$n \cdot 10^6$	$n \cdot 10^7$
Ca	$2 \cdot 10^8$	$3,7 \cdot 10^8$	$4,6 \cdot 10^8$			$n \cdot 10^7$	
Sc	$5 \cdot 10^{4**}$	$7,1 \cdot 10^4$	$1,8 \cdot 10^7$	Ba	$3 \cdot 10^7$	$5,6 \cdot 10^8$	$6 \cdot 10^8$
Ti	$1,7 \cdot 10^6$	$n \cdot 10^5$	$n \cdot 10^7$	W	$1,5 \cdot 10^8$	$1,5 \cdot 10^9$	$3,6 \cdot 10^9$
		$n \cdot 10^6$	$n \cdot 10^8$	Au	$2 \cdot 10^9$	$n \cdot 10^{10}$	$n \cdot 10^{11}$
V	$2 \cdot 10^5$	$n \cdot 10^6$	$4 \cdot 10^7$	Hg	$5 \cdot 10^8$	$5,6 \cdot 10^7$	$7,2 \cdot 10^7$
Cr	$2 \cdot 10^8$	$4 \cdot 10^8$	$4,8 \cdot 10^8$	Tl	$2 \cdot 10^5$	$n \cdot 10^5$	$6 \cdot 10^6$
Mn	$5 \cdot 10^7$	$1,1 \cdot 10^8$	$7,2 \cdot 10^7$	Pb	$9 \cdot 10^8$	$2,5 \cdot 10^9$	$2,8 \cdot 10^9$
Fe	$5,3 \cdot 10^7$	$3,4 \cdot 10^8$	$3,9 \cdot 10^8$	Bi	$3 \cdot 10^9$	$4,7 \cdot 10^9$	$1,9 \cdot 10^{10}$
Co	$5 \cdot 10^6$	$1,4 \cdot 10^7$	$4,5 \cdot 10^7$	U	$1,2 \cdot 10^8$	$1,6 \cdot 10^8$	$1,1 \cdot 10^9$
Ni	$3 \cdot 10^7$	$1,1 \cdot 10^8$	$1,3 \cdot 10^8$				

*По данным А.И. Перельмана (1972).

**Технофильность рассчитана автором.

Таблица 10. Распределение элементов по показателям технофильности и техногенности

Значение показателя	Технофильность	Специальная техногенность	Общая техногенность
10^{11}	—	—	Au
10^{10}	Cl	Au	Ni, Bi, U
10^9	Bi, Au, Cd, Ag	Bi, Pb, Cu, Ag, Cd, W, Zr	Cd, W, Pb, Cu, Ag, J, Zn, As, Se, Mo, Zr
10^8	Pb, Br, Cu, Sn, Hg, S, As, N, P, Ca, Cr, Zn, Mo, Se, W, Na, U, J	Cl, Zn, Ba, Na, Mo, Sn, Cr, Ca, N, Fe, P, As, U, S, Mn, J, Ni	Cl, Ba, S, Na, Cr, Sn, Ca, P, Fe, Be, B, Ge, F, Ti, Ni
10^7	B, Fe, Mn, Ni, Ba, F, Ti	Se, Br, Hg, F, B, K, Co, Cs	Br, Mn, Hg, Co, V, Ga, K, Se, Cs
10^6	Zr, Co, Cs, K, Li, Mg, Al	U, Mg, Be, Al, Y, Ti	Mg, Li, Al, Ti
10^5	Ge, Be, V, Ti	Tl	—
10^4	Sc	Sc	
10^3	Ga	Ga	

Таблица 11. Распределение элементов по модулям техногенного давления

Модуль техногенного давления, кг/км ² · год	Элементы
500–1000	Na, Cl, Ca, Fe
200–500	S
100–200	N, K
50–100	Al
20–50	P
10–20	Ti, Mn
1–10	B, F, Mg, Cu, Zn, Zr, Ba, Pb
0,1–1	V, Cr, Ni, As, Br, Sr, Mo, Cd, Sn, J, U
0,01–0,1	Be, Sc, Co, Ga, Ge, Se, Bi
0,001–0,01	Li, Ag, W, Au, Hg, Tl
0,0001–0,001	Cs

обогащении биосферы этими элементами. Естественно, что для санитарно-гигиенических целей в дальнейшем необходим расчет техногенного давления не только по элементам, но и по их соединениям с учетом токсичности этих соединений.

Пространственная структура техногенной миграции угля и нефти

Для расчета интенсивности рассеяния химических элементов в каком-либо районе необходимо определить не только общее количество утилизируемого в данном районе угля и нефти, но и учесть особенности их состава. Поэтому важно установить грузопотоки этих полезных ископаемых. В качестве примера приведем схему пространственной структуры добычи, перевозки и потребления угля в СССР (на 1972–1975 гг.) (рис. 1). Количественная характеристика потребления угля и нефти в мире, а также угля, нефти и газа в СССР показана в табл. 12, 13 и 14. В качестве структурных единиц для территории СССР приняты крупные экономические районы, а для мира — отдельные страны, группы стран и континенты. При составлении схем использованы работы П.Я. Антропова [1976], Г. Беша [1966], "Народное хозяйство РСФСР" за 1970–1975 гг., "Народное хозяйство СССР" за 1970–1975 гг., "Перевозки грузов" [1972], "Транспорт и связь СССР" [1972], "Экономическая география Мирового океана" [1979], "Энергетические ресурсы СССР" [1968].

Приведенные в качестве примера таблицы и схемы отражают структуру техногенной миграции на 1970–1975 гг., поскольку именно для этого периода в настоящее время уже имеется достаточное количество фактических статистических материалов. Поэтому данные материалы будут нуждаться в периодической корректировке. Так, например, постепенно возрастает ввоз нефти в Японию из стран Юго-Восточной Азии. Это имеет очень большое геохимическое значение, так как содержание многих элементов, в частности серы, в нефти и угле разных районов отличается на порядок. Приведенные данные позволяют оценить модули техногенного давления горючих полезных ископаемых (табл. 12–14, рис. 2, вкл.; рис. 3, вкл.).

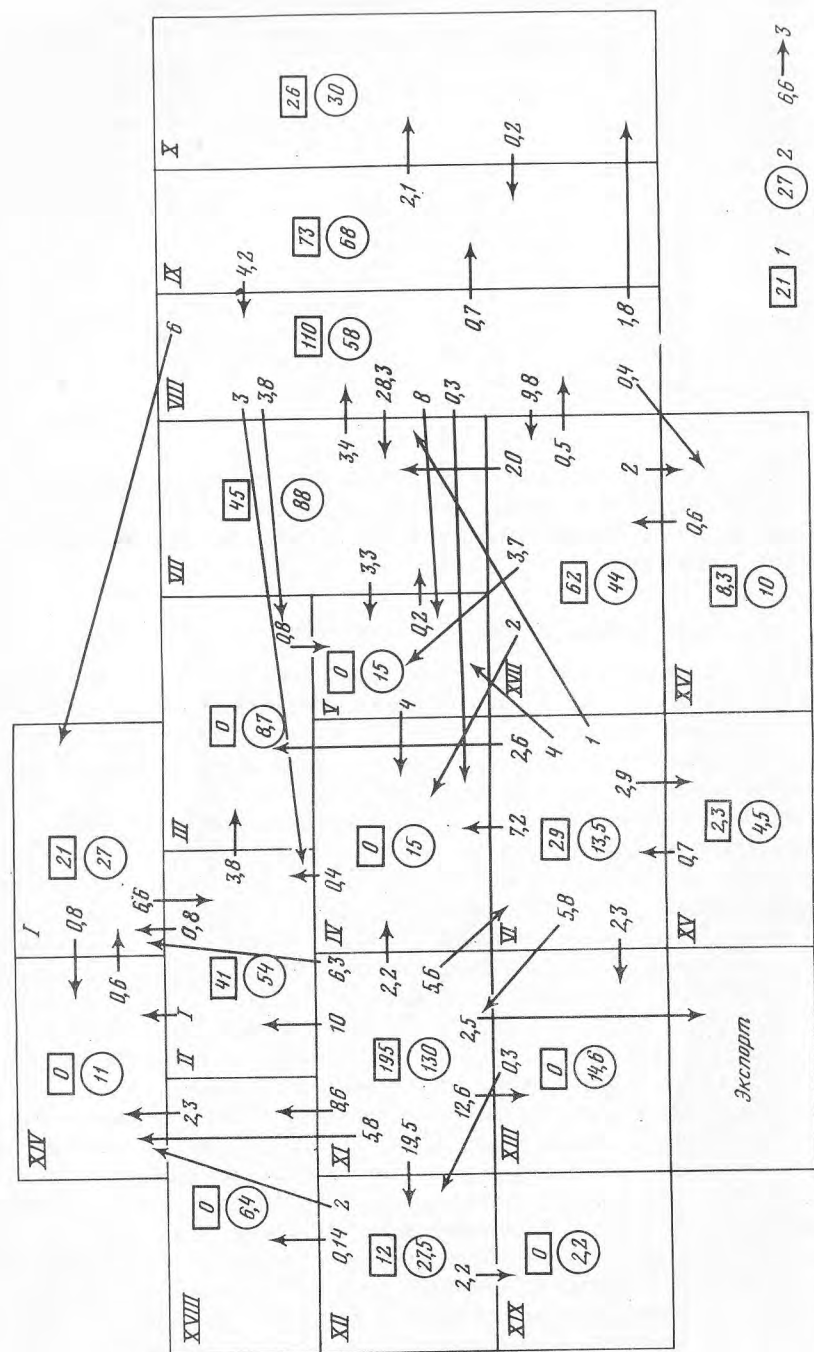


Рис. 1. Структура техногенной миграции угля на территории СССР.

1 — добыча угля; 2 — потребление угля; 3 — перевозки угля; I—XIX — номера экономических районов СССР (см. табл. 14)

Таблица 12. Потребление угля в мире

Регион	Площадь, 10^3 км ²	Потребление угля, 10^6 т/год	Модуль техногенного давления, т/км в год
<i>Северная Америка</i>			
Канада	9974	26	2,6
США	$9,4 \cdot 10^3$	490	52
<i>Центральная и Южная Америка</i>			
Мексика	$2 \cdot 10^3$	3	1,5
Колумбия	1138	3	2,6
Бразилия	$8,5 \cdot 10^3$	2,5	0,3
Другие страны Центральной и Южной Америки	$10 \cdot 10^3$	5	0,5
<i>Западная Европа</i>			
Норвегия	324	~2	6,2
Швеция	449,7	~2	4,4
Финляндия	337	~2	5,9
Дания	43*	2	46,5
Великобритания	244,1	142	582
Нидерланды	41	4	98
ФРГ	247,9	214	863
Бельгия	30,5	19	623
Франция	551	56	102
Австрия	83,9	4	48
Испания	503,5	15	30
Италия	301	15	50
Греция	132,6	9	68
Другие страны Западной Европы	339	~10	29
<i>Восточная Европа</i>			
ГДР	108	280	2593
Польша	311,7	145	465
Чехословакия	127,9	130	1016
Венгрия	93	35	376
Румыния	237,5	10	42
Болгария	110,9	35	316
Югославия	255,8	35	137
СССР	$22,4 \cdot 10^3$	641	28,6
<i>Африка</i>			
ЮАР	1223	52	43
Зимбабве	389	3	7,7
Другие страны Африки	$28,4 \cdot 10^3$	5	0,18
<i>Азия</i>			
Монголия	$1,5 \cdot 10^3$	2,5	1,7
Китай	$9,6 \cdot 10^3$	360	37,5
КНДР	127	30	236
Южная Корея	93,6	13	139
Япония	372	90	241
Индия	3267	72	22
Вьетнам	330	5	15
Другие страны Азии	$28,7 \cdot 10^3$	4	0,14

Таблица 12 (окончание)

Регион	Площадь, 10^3 км^2	Потребление угля, 10^6 т/год	Модуль техногенного давления, т/км в год
<i>Австралия и Океания</i>			
Австралия	$7,7 \cdot 10^3$	50	6,5
Новая Зеландия	268,7	3	11
Другие страны Океании	630	1	1,6
Вся суша	$148,9 \cdot 10^3$	3028	20
Весь мир	$510 \cdot 10^3$	3028	5,9

* Без Гренландии

Таблица 13. Потребление нефти в мире

Регион	Площадь, 10^3 км^2	Потребление нефти, 10^6 т/год	Модель техногенного давления, т/км в год
США	$9,97 \cdot 10^3$	806	81
Канада	$9,4 \cdot 10^3$	90	9,6
Центральная и Южная Америка	$21,7 \cdot 10^3$	177	8,2
Западная Европа	$3,97 \cdot 10^3$	700	176
Восточная Европа	$1,24 \cdot 10^3$	100	80
СССР	$22,4 \cdot 10^3$	300	13
Африка	$30 \cdot 10^3$	118	3,9
Ближний и Средний Восток	$8,55 \cdot 10^3$	37	4,3
Япония	372	250	672
Другие зарубежные страны Азии, Австралия и Океания	$44 \cdot 10^3$	422	9,6
Вся суша	$148,9 \cdot 10^3$	3000	20
Весь мир	$510 \cdot 10^3$	3000	5,9

Таблица 14. Потребление угля, нефти и газа в СССР

Название района	Площадь, 10^3 км^2	Население, 10^6 чел	Уголь		
			Общее потребление, 10^6 т/год	Потребление на душу населения, т/год	Средний модуль техногенного давления, т/год · км ²
1	2	3	4	5	6
I. Северо-Западный	1663	12,6	27	2,14	16
II. Центральный	485	28,1	55,6	2,0	115
III. Волго-Вятский	263	8,3	8,7	1,05	33
IV. Центрально-Черноземный	168	7,8	15,3	2,0	91
V. Поволжский	680	18,8	15,3	0,81	22

По модулю техногенного геохимического давления угля выделяются три группы стран. В первую группу стран, модули техногенного давления которых составляют сотни и даже тысячи тонн на км² в год, входят промышленно развитые страны Европы с наиболее высокой концентрацией промышленного производства и азиатские страны — Япония, КНДР и Южная Корея. Во вторую, наиболее многочисленную группу стран с модулями техногенного давления в десятки т/км² в год входят другие промышленно развитые страны Европы, а также США, СССР, ЮАР, Индия, Китай, Вьетнам, Новая Зеландия. К третьей группе стран с модулями техногенного давления менее 10 т/км² в год относятся индустриальные страны с относительно небольшой численностью населения и значительной территорией — Канада, Австралия, а также большинство стран Центральной и Южной Америки, Африки, Азии и Океании.

По модулям техногенного давления нефти на первом месте стоит Япония, затем следуют Западная и Восточная Европа, США. Для других регионов модули на один-два порядка ниже. В дальнейшем необходимо провести более детальное районирование различных районов мира по степени потребления нефти, угля, а также газа. Как совершенно справедливо отметил Л.Г. Бондарев [19766], поступление техногенных выбросов можно с некоторыми погрешностями принять пропорциональным плотности населения. Поэтому в пределах крупных экономических районов СССР, для которых техногенное давление было определено на основании статистических данных о потреблении угля, нефти и газа, было проведено дальнейшее районирование в соответствии с плотностью населения в данном районе (см. рис. 2, 3).

Эти схемы уже достаточно хорошо отражают реальные картины техногенного давления угля и нефти, которые несколько отличаются друг от друга. На основании данных схем, зная содержание различных химических элементов в угле и нефти (см. табл. 3), можно легко рассчитать количество элемента, поступающего в биосферу при потреблении угля и нефти в том или ином конкретном районе. В качестве примера приведем схему техногенного давления серы (рис. 4, вкл.). При составлении этой схемы были использованы данные не только по потреблению угля и нефти,

Нефть			Газ		
Общее потребление, 10^6 т/год	Потребление на душу населения, т/год	Средний модуль техногенного давления, т/год · км ²	Общее потребление, млрд. м ³ /год	Потребление на душу населения, $10^3 \text{ м}^3/\text{год}$	Средний модуль техногенного давления, $10^3 \text{ м}^3/\text{год}$
7	8	9	10	11	12
14,2	1,1	8,5	10	0,8	6,0
20	0,71	41	36	1,3	74
5,4	0,65	20,5	5	0,6	19
8	1,0	48	5	0,64	30
34	1,8	50	21	1,1	31

Таблица 14 (окончание)

1	2	3	4	5	6
VI. Северо-Кавказский	355	14,9	13,5	0,91	38
VII. Уральский	680	15,2	88,2	5,8	130
VIII. Западно-Сибирский	2427	12,3	57,6	4,7	23,7
IX. Восточно-Сибирский	4123	7,7	67,2	8,7	16,3
X. Дальневосточный	6216	6,3	29,7	4,7	4,8
XI. Донецко-Приднепровский	221	20,6	130	6,3	588
XII. Юго-Западный	270	21,2	27,4	1,3	101
XIII. Южный	113	6,74	14,5	2,1	128
XIV. Прибалтийский	189	7,9	9	1,1	48
XV. Закавказский	186	13,1	4,5	0,34	24
XVI. Среднеазиатский	1227	22,2	10,1	0,45	8,2
XVII. Казахстанский	2717	13,9	44,3	3,2	16
XVIII. Белорусский	208	9,3	6,5	0,7	31
XIX. Молдавский	33,7	3,8	2,2	0,6	65

но и газа, а также учтена миграция серы с удобрениями, продуктами питания и древесиной [Глазовский, 1976].

Такие схемы могут быть использованы для разработки мероприятий по предотвращению загрязнения окружающей среды, а также для определения доли элементов техногенного происхождения в природных геохимических потоках.

Выводы

1. Предложено понятие геохимических кларков ноосферы и дана их ориентировочная оценка.
2. Предложен ряд показателей техногенного геохимического воздействия.
3. Установлены основные техногенные миграционные потоки для ряда элементов и определены глобальные показатели их техногенной миграции.
4. Рассчитано техногенное давление угля и нефти в различных районах мира, в том числе в СССР.
5. Показано пространственное распределение техногенного давления серы на территории СССР.

Литература

- Актуальные проблемы изменения природной среды за рубежом. М.: Изд-во МГУ, 1976.
- Антропов П.Я. Топливно-энергетический потенциал Земли. М.: ВИНТИ, 1976.
- Белонин М.Д. О характере накопления серы, азота, ванадия и никеля в нефтях Восточного Предкавказья. Геол. сб. 1964, № 9. (Тр. ВНИГРИ; Вып. 227).
- Беус А.А., Грабовская Л.И., Тихонова Н.В. Геохимия окружающей среды. М.: Наука, 1976.
- Беш Г. География мирового хозяйства М.: Прогресс, 1966.
- Биохимия культурных растений. М.; Л.: Сельхозиздат, 1938.
- Богородицкая Н.И. Ванадий и никель в нефтях Эмбинского района. — Геол. сб., 1955, № 1. (Тр. ВНИГРИ; Вып. 83).
- Бондарев Л.Г. Вечное движение. М.: Мысль, 1974.

7	8	9	10	11	12
6,2	0,42	17	15	1,0	42
44,6	2,9	66	23	1,5	34
10,5	0,85	4,3	0	0	0
2,9	0,38	0,7	0	0	0
4	0,63	0,64	2	0,32	0,32
76	3,7	344	29	1,4	131
5,4	0,25	20	10	0,47	37
5,2	0,77	46	2	0,3	18
7,6	0,96	40	3	0,4	16
17,4	1,33	94	10	0,76	54
6	0,27	4,9	16	0,72	13
4,9	0,35	1,8	4	0,29	1,5
5,4	0,58	26	4	0,43	19
2,5	0,66	74	1	0,26	30

Бондарев Л.Г. Ландшафты, металлы и человек. М.: Мысль, 1976а.

Бондарев Л.Г. Металлический пресс на биосферу. — В кн.: Проблемы общей физической географии и палеогеографии. М.: Изд-во МГУ, 1976б.

Бурцева Н.П. Зольный состав нефтей Терско-Дагестанской области. — Геол. сб., 1955, № 1. (Тр. ВНИГРИ; Вып. 83).

Виноградов А.П. Среднее содержание химических элементов в главных типах изверженных горных пород земной коры. — Геохимия, 1962, № 7.

Виноградов А.П. Введение в геохимию океана. М.: Наука, 1967.

Глазовская М.А. Техногенез и проблемы ландшафтно-геохимического районирования. — Вестн. МГУ. Сер. 5, География, 1968, № 1.

Глазовская М.А. Теория и практика геохимии ландшафтов. — Вестн. МГУ. Сер. геогр., 1974, № 2.

Глазовский Н.Ф. Современные проблемы сопряженного изучения процессов миграции вещества. — Вестн. МГУ. Сер. 5, География, 1975, № 2.

Глазовский Н.Ф. Техногенная миграция азота, фосфора, калия и серы на территории СССР. — Вестн. МГУ. Сер. 5, География, 1976, № 4.

Гоголев И.Н. О роли прижизненного обмена веществ древесных растений в почвообразовании. — В кн.: Лес и почва. Красноярск: Красноярское книж. изд-во, 1968.

Гуляева Л.А. Микроэлементы нефтей и битумов Перми и карбона Урало-Поволжья. — Тр. Ин-та нефти АН СССР, 1954, т. 3.

Гуляева Л.А., Иткина Е.С. Микроэлементы в нефтях и породах нижнего кембрия и венда Иркутского амфитеатра. — В кн.: Малые и рассеянные элементы в осадочных породах и нефтях. М.: Наука, 1970.

Добровольский В.В. Тяжелые металлы, загрязнение окружающей среды и глобальная геохимия. — В кн.: Тяжелые металлы в окружающей среде. М.: Изд-во МГУ, 1980.

Добродеев О.П. Ресурсы свободного кислорода в биосфере. — Вестн. МГУ. Сер. 5, География, 1977, № 6.

Добродеев О.П. Техногенез — мощная геохимическая сила биосферы. — Природа, 1978, № 11.

Зульфугарлы Д.И. Микроэлементы нефтей Азербайджана. — Тр. АзГУ. Сер. хим., 1962, вып. 2.

Карцев А.А. Основы геохимии нефти и газа. М.: Недра, 1969.

Касымов Х.К. Микроэлементы нефтей Западного и Южного Узбекистана. Ташкент: ФАН, 1967.

Катченков С.М. Малые химические элементы в осадочных породах и нефтях. Л.: Гостеолиздат, 1959.

- Клер В.Г. Изучение и геолого-экономическая оценка качества углей при геолого-разведочных работах. М.: Недра, 1975.
- Ковда В.А. Основные учения о почвах. М.: Наука, 1973. Т. 1, 2.
- Ковда В.А. Биогеохимические циклы в природе и их нарушение человеком. М.: Наука, 1975.
- Комар И.В. Рациональное использование природных ресурсов и ресурсные циклы. М.: Наука, 1975.
- Круговорот веществ в природе и его изменение хозяйственной деятельностью человека. М.: Изд-во МГУ, 1980.
- Лукашов К.И. Геохимические процессы миграции и концентрации элементов в биосфере. Минск, 1957.
- Мейсон Б. Основы геохимии. М.: Недра, 1971.
- Микроэлементы в сельском хозяйстве. Киев: Гос. изд-во с.-х. литературы, 1963.
- Основные аспекты геохимии нефти. М.: Недра, 1970.
- Перевозки грузов. М.: Транспорт, 1972.
- Перельман А.И. Геохимия элементов в зоне гипергенеза. М.: Недра, 1972а.
- Перельман А.И. Геохимия ноосферы. — Природа, 1972б, № 1.
- Плешков Б.П. Биохимия сельскохозяйственных растений. М.: Урожай, 1975.
- Подолько Е.Я. Бор в нефтях и битумах Усть-Киренского района Иркутского амфи-театра. — В сб.: Малые и рассеянные элементы в осадочных породах и нефтях. М.: Наука, 1970.
- Полдверт А. Химия земной коры. — В кн.: Земная кора. М., 1957.
- Ратынский В.М., Жаров Ю.Н. О галлии в ископаемых углях. — Литология и полезные ископаемые, 1980, № 5.
- Родин Л.Е., Базилевич Н.И. Динамика органического вещества и биологический круговорот элементов и азота в основных типах растительности земного шара. М.; Л.: Наука, 1965.
- Рябчиков А.М. Структура и динамика геосферы. М.: Мысль, 1972.
- Саушкин Ю.Г. Экономическая география: история, теория, методы, практика. М., 1973.
- Саушкин Ю.Г. Географические циклы круговоротов веществ. — Вестн. МГУ. Сер. 5, География, 1978, № 4.
- Свайн Д.Дж. Микроэлементы в углях. — В кн.: Очерки современной геохимии и аналитической химии. М.: Наука, 1972.
- Соколов В.А. Геохимия природных газов. М.: Недра, 1971.
- Соколов В.А., Бестужев М.А., Тихомирова Т.В. Химический состав нефтей и природных газов в связи с их происхождением. М.: Недра, 1972.
- Справочник по удобрениям. М.: Сельхозиздат, 1964.
- Транспорт и связь СССР. М.: Статистика, 1972.
- Федосеев И.А. История изучения основных проблем гидросферы. М.: Наука, 1975.
- Хорн Р. Морская химия. М.: Мир, 1972.
- Экономическая география Мирового океана. Л.: Наука, 1979.
- Энергетические ресурсы СССР: Топливо-энергетические ресурсы. М., 1968.

N.F. GLAZOVSKY

Technogenic substance flows in the biosphere

The geochemical significance of technogenesis is discussed. The concept of geochemical clarks of the noosphere and their approximate assessment are suggested. A number of special indexes to characterize the technogenic geochemical significance are proposed. The author describes the main migration flows of some elements and specifies global indices of their technogenic migration. Technogenic impact of coal and oil in different regions of the world, including the USSR, is evaluated and its spacial distribution over the territory of country is demonstrated.

УДК 631.61 : 550.4

Н.П. СОЛНЦЕВА

Влияние техногенных потоков на морфологию лесных почв в районах нефтедобычи

Работ, посвященных изучению трансформации свойств почв (особенно морфологических) под влиянием того или иного производства, крайне мало. Актуальность проблемы очевидна, так как морфологические признаки могут в ряде случаев быть индикаторами загрязнения почв и использоваться для экспресс-диагностики качества среды.

Сложность решения проблемы определяется тем, что любое современное производство обуславливает многообразие типов воздействия на природную среду и составляющие ее компоненты: почвы, воды, растения. При этом реакция почв (даже одного типа) на разные по свойствам техногенные (ТГ) нагрузки неоднозначна. Это справедливо для любого производства, в том числе и для нефтедобычи. Так, в районах промыслов имеют место: а) механические повреждения почвенного покрова, вплоть до его частичного и даже полного уничтожения на отдельных участках; б) загрязнение нефтепродуктами, сточными водами, продуктами сжигания попутных газов и т.д. В местах аккумуляции ТГ потоков формируются ореолы загрязнения — техногенные геохимические арены¹. Их расположение в пространстве, морфология и структура обусловлены техническими и ландшафтно-геохимическими факторами. Техногенные ореолы полигенны, когда потоки загрязнителей разного состава пересекаются в пространстве, частично или полностью накладываясь один на другой. Могут возникать и моногенные, территориально изолированные ореолы загрязнения. В конечном итоге в районах промыслов возникают сложно устроенные зоны техногенной перестройки природных систем, в пределах которых почвенно-геохимические процессы часто резко отличаются не только от фоновых, но и друг от друга, что находит отражение и в морфологии почвенного профиля. Ниже, на примере Пермского Прикамья, рассматриваются формы изменений морфологических признаков дерново-подзолистых почв в районах нефтепромыслов.

Основные задачи, поставленные при исследовании, сводились к следующему:

- 1) к разработке методов морфологической индикации почв, измененных техногенезом;
- 2) к выявлению зависимости форм изменений морфологических признаков от особенностей ТГ нагрузок и свойств исходных почв.

Методика работ включала сопряженный анализ серий эталонных разрезов: загрязненные — незагрязненные почвы (фоновые аналогии). Серии

¹ Понятие о геохимических аренах введено М.А. Глазовской [1979], которая определяет их как каскадные ландшафтно-геохимические территориальные системы разного уровня сложности. Если конечный сброс веществ происходит в море, выделяются открытые геохимические арены, а если в замкнутые бессточные впадины — закрытые геохимические арены. Понятие о геохимических аренах удобно распространить и на природно-техногенные геохимические объекты. При этом вся сфера воздействия отдельного ТГ объекта может рассматриваться в качестве природно-техногенной геохимической арены.

измененных почв подбирались для каждой группы ТГ нагрузок в соответствии с технологической схемой нефтедобывающего производства. При подборе эталонных серий строго соблюдалось требование максимальной однородности почвообразующих факторов (материнских пород, элементов рельефа, экспозиции склонов, степени обводненности и др.) для фоновых и измененных участков. Изучено 17 разрезов ненарушенных почв и 32 — измененных, из них 12 загрязненных нефтью, 4 — буровыми растворами, 10 — сточными минерализованными водами, 6 — механически поврежденных при строительстве скважин.

Полевые описания морфологии сопровождались изучением образцов почв с ненарушенным строением под биноклем и микроморфологическим изучением шлифов.

Морфологические признаки ненарушенных (фоновых) дерново-подзолистых почв

Дерново-подзолистые почвы южной тайги Пермского Прикамья (умеренная восточноевропейская фация) развиваются под елово-пихтовыми, широколиственно-елово-пихтовыми лесами с травянистым напочвенным покровом. Они приурочены к плоским водоразделам и пологим склонам холмов и увалов. Почвообразующими породами служат покровные суглинки различной мощности (от нескольких десятков сантиметров до нескольких метров), подстилаемые пермскими отложениями кунгурского и казанского ярусов разного литолого-геохимического состава, иногда карбонатными.

Большинство изученных почв¹ относится к дерново-среднеподзолистым суглинистым. Для характеристики морфологии этих почв, кроме собственных материалов, использовались литературные данные [Коротаяев, 1962; Тонконогов, 1976; и др.].

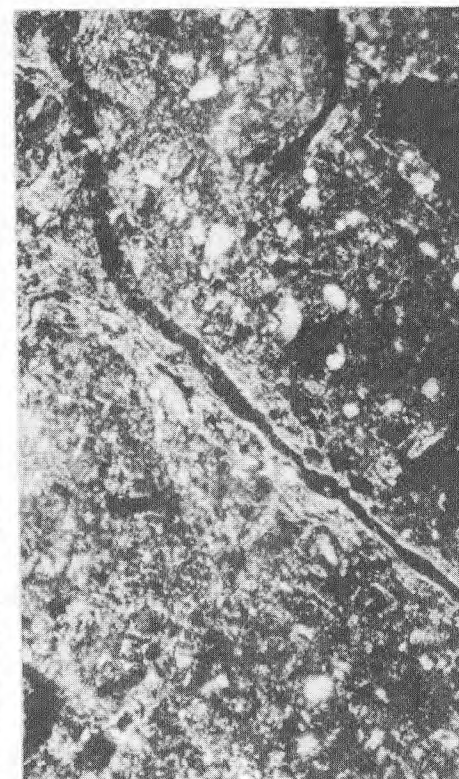
В профиле ненарушенных почв выделяются следующие генетические горизонты: АО — А1 — А1А2* — А2 (который, как правило, состоит из двух подгоризонтов — А2' и А2h) — А2В (иногда А2Вh) — В (состоящий из трех-четырех подгоризонтов) — ВС — С. Вскрытая мощность профиля по нижней границе иллювиальных горизонтов составляет 160–190 см. Сводная характеристика морфологических особенностей изученных почв (в районе нефтепромысла) приведена в табл. 1. Характерные морфологические особенности: относительно слабая отбеленность элювиальных горизонтов, для которых обычны буровато-палевые оттенки, ослабляющиеся, но не исчезающие при высыхании; границы горизонтов ровные или волнистые, часто растянутые; языковатость профиля в отличие от дерново-подзолистых почв более западных районов Европейской территории СССР является исключением, сквозных языков А2 в В1 нет.

Изучение шлифов, а также просмотр проб под биноклем позволили детализировать полевые описания. Сравнение микроморфологических

¹ Морфология фоновых почв рассматривается на примере почв с дифференцированным профилем (плакорные местообитания в пределах месторождений нефти, но вне влияния ТГ потоков).

* Переходных горизонтов может не быть или они выражены фрагментарно.

Рис. 1. Формы организации глинистой плазмы незагрязненных дерново-подзолистых почв. Иллювиальные горизонты, глубина 40–65 см; николи +, 2,5 × 4



особенностей изученных почв и почв, описанных в литературе [Герасимова, 1976; Глазовская и др., 1974; Парфенова, Ярилова, 1977; Тонконогов, 1976], свидетельствует о близости их основных микроморфологических признаков. Отличия не носят принципиального характера и связаны, вероятно, с разной интенсивностью элювиально-глеевых процессов. Так же, как для эталонного разреза [Таргульян и др., 1974], Боровского стационара (Калужская обл.) [Герасимова, 1976], верейского разреза (Московская обл.) [Глазовская и др., 1974], Центрально-лесного заповедника [Шоба, 1979] и других, для дерново-подзолистых почв Пермского Прикамья характерны следующие признаки (табл. 2): наличие светлого гумуса (светло-бурого или серовато-бурого), большое количество углеподобных частиц, обеднение глинистой плазмой (особенно двупреломляющей глиной) верхних горизонтов — А1, А1А2, А2 и приуроченность к этим горизонтам железисто-гумусовых и железистых новообразований разного размера, но, как правило, менее 1–2 мм и разной формы. Это железисто-гумусовые хлопья, сгустки, пятна, узоры, нодулы (четкие, с плотным краем или с глебуальным гало, иногда с частично разрушенным или расплывшимся внешним контуром). Для самых верхних горизонтов характерны глинисто-гумусовые ооиды, часто с нечетким внешним краем.

Характер компонентов плазмы заметно меняется вниз по профилю. Иллювиальным горизонтам А2В, В, ВС свойствен существенно иной тип микростроения. Имеют место яркие, красно-оранжевые при скрещенных николях глинистые пленки. Основная ориентация глинистой плазмы околоторовая и околоскелетная (рис. 1). Глинистая плазма обогащена гумусом (особенно в горизонтах А2В и В1) и ожежена. Отличительной чертой верхних иллювиальных горизонтов (В1) этих почв является своеобразный характер железистых новообразований. Это диффузионные кольца, узоры и сложные пятна в плазме вокруг пор с натеками ориентированных глиен сложного строения. Характерны мелкие стяжения марганца, черные с металлическим блеском в отраженном свете. Очень характерны флюидальные натеки сложного строения: железисто-глинистый материал

Таблица 1. Особенности морфологии ненарушенных дерново-подзолистых почв (южная тайга, Пермское Прикамье)

Морфологические признаки	Генетические			
	органогенные (АО)	гумусовые (А1)	гумусово-элювиальные (А1А2)	элювиальные (А2)
1	2	3	4	5
Цвет	Серые, реже темно-серые, часто наблюдаются коричневатые или буроватые оттенки		Светло-серые или белесовато-серые, часто с буроватыми, палевыми или коричневатыми оттенками	Белесовато-палевые или палево-белесоватые с серыми, реже буроватыми, оттенками
Структура	Мелкокомковатая	Комковатая, реже зернисто-комковатая, иногда комковато-порошистая	Комковато-плитчатая или плитчато-комковатая; как правило, очень непрочная	Пластиначто-плитчатая или плитчатая, иногда с признаками комковатости или ореховатости
Новообразования	Мягкие органо-железисто-марганцевые (?) стяжения, немногочисленные	Органо-железисто-марганцевые конкреции разной		
		1 мм, редкие	1—3 мм, относительно многочисленные	1—3 мм, количество сильно варьирует в разных профилях, иногда их практически нет
		Мелкие, довольно редкие охристорожавые пятнышки до 1 мм; капролиты		Железистых пятен, примазок и стяжений больше, чем в верхних горизонтах
		Единичные (гнездами) скопления кремнеземистой присыпки	Кремнеземистая присыпка (гнездами), особенно в нижней части горизонта. Железистые стяжения и пятна по ходам корней. Углистые частицы.	Марганцевые
			Морфологически четко видны	
Границы	Ровные или слабоволнистые		Неровные, волнистые, часто с постепенными переходами	

горизонты			
элювиально-иллювиальные (A2B)	иллювиальные		переходные к почво-образующей породе (BC)
	(B1)	(B2)	
6	7	8	9
Пестроокрашенные: буроватые, светло-бурые в сочетании с белесыми, белесовато-палевыми, серовато-палевыми, темно-бурыми и сизоватыми пятнами	Бурые		с желтоватыми или рыжевато-красноватыми оттенками
	с коричневыми или красноватыми оттенками	до темно-бурого с красноватыми оттенками	
Ореховато-плитчатая или плитчато-ореховатая	Ореховатая	Крупноореховатая	Крупноореховатая, ореховато-глыбистая
плотности и размера	Коллоидные пленки разной интенсивности и плотности по граням педов		
1—2 мм, меньше, чем в предыдущих горизонтах			
Сизые, серо-сизые, бурые, иногда коричневые (в горизонте B1) ; гляцевые	Глянцевые, коричнево-бурые и бурые		Коричневые, менее интенсивные, чем в предыдущих горизонтах
примазки, количество которых увеличивается в нижних иллювиальных горизонтах			
затеки гумусовых веществ по ходам корней и трещинам			
Волнистые, иногда языковатые	Ровные		

Таблица 2. Микроморфологические особенности незатрагиваемых дерново-подзолистых почв (южная тайга, Пермское Прикамье)

Микроморфологические особенности почв		Генетические горизонты					иллювиальные	
		гумусовые, гумусово-элювиальные (A1A2)	элювиальные (A2)	элювиально-иллювиальные (A2B)			(B1)	(B2)
1	2	3	4	5	6	7		
Новообразованные	Компактные железистые образования (микроортштейны)	С глебульным гало					Не обнаружены	
	Колонии Fe бактерий	Не обнаружены					Мелкие, очень редко	Не обнаружены
	Железистые пятна, узоры	Пятна и узоры довольно крупные	Каемки, прослои				Пятна и узоры, примыкающие к порам	Не обнаружены
	Диффузионные кольца	Не обнаружены					Очень характерны для данного горизонта, фиксируются в плазме, вокруг пор с составными натеками подвижной глины	Не обнаружены
Органического	Ступки, стяжения	Не обнаружены		Железисто-марганцевые или марганцевые стяжения, довольно плотные, с металлическим блеском в отраженном свете, не имеющие четких морфологических форм				
	Общая характеристика органического вещества	Бурый, светло-бурый аморфный или хлопьевидный гумус: в осветленных участках — светлобурый, в темных — бурый	Концентрация органического вещества в капиллитах, резко выделяющихся на фоне осветленной плазмы	Органическое вещество преимущественно в виде примесей к глинистому и железисто-глинистому материалу				

Организация вещества	Другие формы органического вещества	Гумусово-глинистая, в проходящем свете серовато-бурая или коричневатая-бурая			Других морфологически выраженных форм концентрации органических веществ не обнаружено
		Глинистая плазма неодинакова в разных микроучастках: а) очень светлая (с низким дупреломлением); б) изотропно-про-гумусированных участках	С низким дупреломлением, светло-желтая при + N. На отдельных микроучастках глины имеют другой морфологический облик — красно-оранжевые при + N с большим количеством гидрослюд	Максимальное количество органического материала в глинистой плазме (аплот до почти чисто гумусовых натеков)	
Формы организации глинистой плазмы	Общая характеристика плазмы	Не отмечается или редко	Очень тонкие, светло-желтые кутаны, но большинство зерен не имеет красящих одежд	Пленки около минеральных зерен выражены, как правило, хорошо. В нижних горизонтах (B2) толщина их несколько уменьшается, встречаются участки с менее интенсивным дупреломлением. В верхних горизонтах этой части профиля (A2B) в отбеленных микроучастках минеральные зерна лишены красящих одежд, либо они интенсивно осветлены или плохо выражены	
	Околоскелетная	Только в отбеленных микроучастках	железисто-глинистые	Не отмечается	
	Оомидная	Только в отбеленных микроучастках	железисто-глинистые	Не отмечается	

Таблица 2 (окончание)

Микроморфологические особенности почв		Генетические горизонты				
		гумусовые, гумусово-элювиальные (A1A2)	элювиальные (A2)	элювиально-иллювиальные (A2B)	(B1)	иллювиальные (B2)
1	2	3	4	5	6	7
Формы организации глинистой плазмы	Чешуйчатая	Мелкочешуйчатая		Не отмечается		
		Преимущественно в отбеленных микроучастках	В микроучастках, тяготеющих к порам и трещинам			
	Струйчатая	Не отмечается		Струйчато-перекрестная		Струйчатая
Глинистые новообразования	Скорлуповато-слоистые натёки	Отмечаются редко, преимущественно в отбеленных микроучастках; папулы	Глинисто-существенно-гумусовые натёки в порах; папулы	Интенсивные, хорошо выраженные скорлуповато-слоистые натёки в порах		На отдельных микроучастках пленки в порах очень тонкие, в некоторых из них отмыты полностью
				Полное заполнение части пор пылевато-гумусово-глинистым материалом. Иногда такие глины имеют совершенную ориентировку, иногда оглеены или ожелезнены	В отбеленных микроучастках глин в порах может не быть	
	Флюидальные натёки	Не обнаружены		Интенсивные, сложного строения флюидальные натёки имеют, как правило, слоистое строение. Состав слоев дифференцирован: железисто-глинистый материал с высоким двупреломлением при + N, существенно гумусовые изотропные и пылевато-песчаные прослой. На отдельных микроучастках глины оглеены		

с высоким двупреломлением, существенно гумусовые прослой (не поляризующие) и пылевато-песчанистые. Максимум железистых новообразований в разрезе выше максимума глинистых натёков, что соответствует литературным материалам [Ромашкевич и др., 1977].

Среди первичных минералов преобладает кварц, часто встречаются слюды, плагиоклазы, роговые обманки, эпидот.

Перечисленные морфологические признаки считались эталонными при анализе морфологии измененных производством почв (в зонах влияния тех или иных объектов нефтепромысла).

Трансформация почв при строительстве нефтепромыслов

Механические воздействия преобладают на первых этапах строительства нефтепромыслов: сводятся леса, прокладываются дороги или другие коммуникации, оборудуются буровые площадки и т.д. Они вызывают существенную деформацию почв. В связи с этим после окончания строительно-буровых работ почвы зачастую уже имеют устойчивые отличия от исходных разностей. В основном такая трансформация почв происходит в двух направлениях.

Во-первых, наблюдается перестройка почвенного профиля из-за разрушения верхних горизонтов, что сопровождается укорачиванием его верхней части. В зависимости от того, какие горизонты при механической деформации оказываются на поверхности — в сфере наиболее активного преобразования (A1, A1A2, A2, A2B или даже B), вновь формирующийся почвенный профиль после прекращения ТГ нагрузок и восстановления напочвенного растительного покрова приобретает несколько разные морфологические черты.

В начальной стадии восстановления в почвах сохраняются морфологические признаки исходных генетических горизонтов — новообразования, структура (например, плитчатость) и др. Одновременно происходит развитие дернового горизонта, очень плотного, мощностью до 6–8 см, сопровождающееся накоплением грубых растительных остатков и собственно гумусовых веществ (гумуса типа модер). Структура новообразованного дернового горизонта в процессе его формирования постепенно видоизменяется. В зависимости от типа исходного генетического горизонта, оказавшегося на поверхности, она может быть комковатой, комковато-плитчатой, комковато-ореховатой.

Таким образом, в структуре новообразованного дернового горизонта оказываются совмещенными признаки новых почвенных процессов и унаследованные. Если в дальнейшем техногенные воздействия не повторяются, то механически нарушенный почвенный профиль постепенно приобретает четкую дифференциацию, а в ряде случаев за период 20–30 лет¹ с момента повреждения восстанавливается в основных своих морфологических чертах. При этом может восстановиться и полный набор генетических горизонтов, характерных для исходного типа почв (рис. 2, IIa).

Например, в процессе посттехногенного развития почв, в которых были механически уничтожены верхние органогенные горизонты (A0, A1),

¹ Сроки определялись по началу производственных работ (началу трансформации) на данном промысле или по дате строительства скважины.

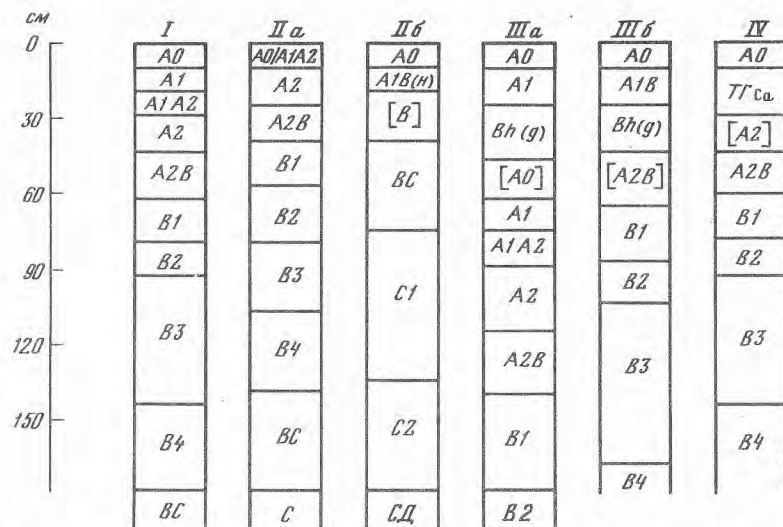


Рис. 2. Некоторые варианты трансформации вертикального профиля почв, возникающие при строительстве промыслов

I — обобщенный профиль местных ненарушенных (фоновых) дерново-подзолистых почв; IIa, б — варианты новообразованных профилей почв при частичном разрушении исходных почвенных тел (укороченные профили): а — при уничтожении только органогенных горизонтов (A0—A1—A1A2); б — при уничтожении большей части почвенного тела, включая иллювиальные горизонты; IIIa, б — двучленный почвенный профиль: а — наложенный (новообразованный) профиль без механического разрушения погребенного почвенного тела; б — наложенный профиль при существенном механическом разрушении погребенного почвенного тела; IV — наложенный профиль с новообразованным геохимическим барьером

происходит частичная переработка оказавшихся на поверхности собственно элювиальных горизонтов и замещение их дерново-гумусовыми и гумусово-элювиальными. В результате набор генетических горизонтов может даже соответствовать исходному профилю, но соотношения мощностей верхних (элювиальных) и нижних (иллювиальных) горизонтов меняются. Этот показатель достаточно устойчив и может служить диагностическим признаком механической техногенной перестройки профиля.

Второй основной вариант трансформации почвенного профиля при строительстве промыслов — погребение исходных почв, в частности при обваловании скважин, корчевании леса, выравнивании площадок для буровых и т.д. В этих случаях новообразованный профиль приобретает двучленное строение (см. рис. 2, IIIa, б). Для наложенной части в первые годы характерно развитие главным образом дернового процесса.

Так же, как и в предыдущем случае, после восстановления напочвенного растительного покрова образуется довольно мощная и плотная дернина, под которой отчетливо заметно формирование буровато-серого гумусово-аккумулятивного горизонта A1; появляются новообразованные охристые пятна и потеки по ходам корней, коллоидные органо-минеральные образования. Формируются следующие горизонты: A0 (до 6–7 см) — A1B (часто с признаками оглеения, 6–8 см); возможно формирование и специфического иллювиального горизонта B_h или B_{hf}.

Общая мощность наложенного профиля зависит от объема перемещенного материала, но обычно не превышает 50–70 см. Новообразованный профиль в значительной степени наследует свойства исходного материала: цвет, часто структуру, механический состав. Однако наложенные почвообразовательные процессы хорошо заметны: ясно видна дифференциация профиля на генетические горизонты, границы их четкие.

Погребенная часть профиля также трансформируется. Наблюдается полное или частичное разрушение одних горизонтов, интенсивное изменение других, что связано, в частности, с усиленной потечностью органических соединений.

Формирование четко читаемого морфологического профиля и в этом случае происходит довольно быстро (на рассматриваемом участке приблизительно за 30 лет), что определяется рядом обстоятельств: "подготовленностью" самого материала, представляющего собой те же почвогрунты, но претерпевшие механические нарушения; относительным увеличением прямой солнечной радиации на единицу поверхности, так как такие участки в момент становления профиля всегда безлесны; фотохимической деструкцией гумусовых веществ, увеличивающей подвижность гумуса (относительно почв под лесом) [Ильин, 1975].

Геохимические воздействия при строительстве скважин вызывают ряд специфических изменений морфологии почв, попадающих в сферу их влияния. Особенности воздействия загрязнителей на почвообразовательные процессы зависят от количества и состава — степени геохимической активности поступающих в почвы и на их поверхность веществ. Химические реагенты, которые могут применяться при бурении и испытании скважин, разнообразны. Хотя воздействие каждого из них специфично, они вызывают и некоторые общие изменения: 1) перестройку морфологии всего профиля из-за образования техногенного наноса, накапливающегося первоначально на поверхности; затем в процессе регенерации почв эти образования могут оказаться включенными в почвенный профиль (см. рис. 2, IV); 2) трансформацию отдельных морфологических признаков в связи с резким изменением геохимии среды. Достаточно частым случаем является также изменение минералогического состава верхних горизонтов почв из-за включения в них минералов, поступающих с загрязнителем. Например, в рассмотренном случае из-за сливов силикатно-карбонатных буровых растворов в почвах (их верхних горизонтах) появляются карбонаты (рис. 3), что совершенно противоречит характеру биоклиматических условий территории и изменяет особенности местных почвенно-геохимических процессов. В результате плазма приобретает карбонатно-глинистый состав с характерными сгустковидными формами ориентированных глин.

Важно отметить, что внесенные в почвы вещества не только оказывают активное воздействие на почвенно-геохимические процессы, но и сами претерпевают определенную геохимическую трансформацию. Некоторые этапы взаимодействия внесенных веществ с почвенным материалом хорошо прослеживаются в шлифах. Так, ясно видно изъедание внешнего контура карбонатно-силикатных обломков (от загустевшего бурового раствора) и включение продуктов их разрушения в плазму. В результате характер плазмы приобретает специфические черты, в шлифах видны потечность карбо-

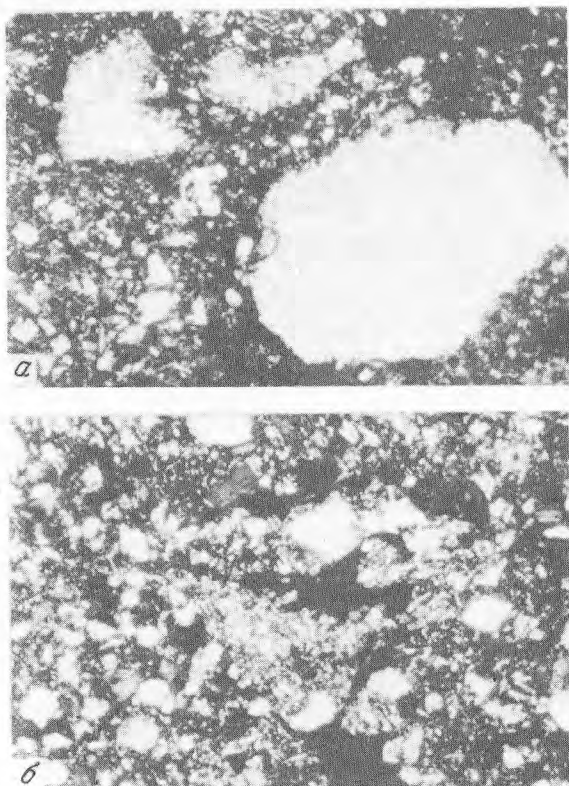


Рис. 3. Карбонатные включения (а) и формы распределения "вторичного" карбонатного материала в плазме (б)

а — глубина 0–6 см, николи +, 6,5 X 8; б — глубина 15–25 см, николи +, 6,5 X 4

натного материала, инкрустация мелкозернистым кальцитом некоторых пор (см. рис. 3) или их полное заполнение карбонатно-глинистым материалом и т.д. Другими словами, можно четко видеть не только механическое включение чужеродных исходным почвам веществ, но также результаты их геохимического воздействия на состояние и свойства почвенных горизонтов.

Техногенные потоки, поступающие в почвы в процессе бурения, могут формировать в них на той или иной глубине специфические прослои и даже горизонты, совершенно чуждые исходному профилю. Такие образования могут играть роль своеобразных геохимических барьеров [Солнцева, Касимов, 1979], особенно в случае заметных геохимических, минералогических или гранулометрических отличий их состава от вмещающего почвенного материала.

Исследования показали, что уже на первых этапах нефтедобычи морфология почв, переживших техногенные воздействия, отличается от морфологии исходных разностей; изменения наиболее заметны в верхней части профиля, в пределах первых 50–70 см. Такие изменения вызывают достаточно интенсивную перестройку структуры почвенного покрова вблизи

технических объектов. Масштабы такой перестройки весьма ощутимы. Так, по данным Т.Б. Денисовой [1976], на 1 км² площади нефтепромысла приходится до 20 промышленных объектов и около 11 км различных трубопроводов, основная часть которых подземная. Если учесть, что нефтепромыслы занимают территории площадью от десятков до сотен км², а количество месторождений исчисляется десятками только для Пермской области [Геология СССР, 1973], то понятно, насколько широко влияние данного производства на среду, в частности на почвенный покров этих территорий. Последующие ТГ преобразования почв при любых геохимических свойствах поступающих в них в процессе эксплуатации месторождения загрязнителей, будь то нефтепродукты, сточные минерализованные воды или другие, имеют следующие модификации: 1) загрязнение накладывается на почвы с ненарушенным морфологическим и геохимическим профилем — первично неизмененные почвы; 2) загрязнение накладывается на уже измененные почвы.

В последнем случае возможны две ситуации: а) загрязнению подвергаются геохимически трансформированные почвы (загрязненные при строительстве промысла); б) загрязнению подвергаются морфологически трансформированные почвы, имеющие, как было показано выше, либо двучленный, либо укороченный, либо частично разрушенный профиль.

Полученный нами фактический материал показывает, что особенности изменения почв, в том числе их морфологии, определяются не только свойствами поступающих загрязнителей, но также исходным состоянием почв — предшествующей историей их техногенного развития.

Трансформация морфологии лесных почв под влиянием высокоминерализованных сточных вод хлоридно-натриевого состава

Химическая характеристика загрязнителей, поступающих в почвы, приводится в табл. 3. Высокая минерализация вод вызывает засоление почв. Это приводит к метаморфозу основных почвенно-геохимических процессов, что находит отражение и в морфологии загрязненных почв.

Макроморфологические признаки трансформации почв. В пределах ореолов загрязнения формы морфологических изменений в почвенном профиле зависят от ряда причин и прежде всего удаленности от источника загрязнения, с чем связаны количество и формы поступивших геохимических компонентов, и характера предшествующей механической и (или) геохимической трансформации (рис. 4). Из рисунка видно, насколько неоднозначны могут оказаться новообразованные морфологические профили почв.

Присутствующие в сточных водах закисные соединения железа быстро выпадают в форме гидроксидов в зоне аэрации — непосредственно вблизи источника выброса этих вод. В результате происходит интенсивное ожелезнение верхних горизонтов почв вплоть до формирования железистого наноса на их поверхности. Для этих почв характерны многочисленные и интенсивные железистые и марганцевистые пятна, потеки, пленки, примазки, главным образом в верхней части профиля. Горизонты пестрые как по цвету, так и формам и обилию тех или иных новообразований. Выде-

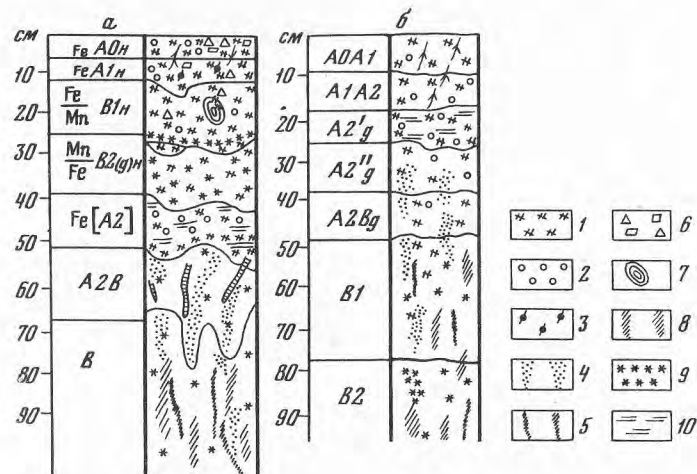


Рис. 4. Варианты морфологии почв, загрязненных сточными минерализованными водами

a — двучленные, интенсивно ожезненные и омарганцованные почвы с уплотненным (солонцовым) горизонтом; *b* — механически ненарушенные почвы, вторично оглеенные и ожезненные; 1 — железистые пятна, примазки, потеки; 2 — рудяковые зерна; 3 — угольки; 4 — кремнеземистая присыпка; 5 — заполнение пор, трещин и корневых ходов темным коллоидным материалом; 6 — включения щебня, обломков, дресвы; 7 — включения досок, бревен; 8 — буровато-серые коллоидные пленки и натеки; 9 — марганцовистые примазки; 10 — тиксотропность

ляются очень плотные солонцовые горизонты (с трудом входит нож), которыми могут быть замещены разные исходные генетические горизонты почв. В случае, показанном на рис. 4, *a* — это исходный горизонт A2. При подсыхании почв происходит интенсивное растрескивание почвенной массы, проявляющееся на стенке разреза: преимущественно вертикальные трещины — в верхней части профиля, крупносетчатые — в иллювиальных (B) горизонтах. В подсыхающем материале отчетливо видны солевые выпцветы.

Вне зоны повышенного ожезнения характер морфологической трансформации профиля почв меняется. Это прежде всего отражается на формах новообразований. В частности, рыхлые железисто-марганцовистые скопле-

ния сменяются довольно плотными железистыми конкрециями (при сохранении мелких железистых пятнышек и примазок). Для этих почв характерно проявление тиксотропности: в шурфах фиксируется текучесть почвенной массы (в конкретном случае исходного горизонта A2).

Наиболее общие макроморфологические признаки загрязненных хлоридно-натриевыми водами почв представлены в табл. 4.

Сравнение морфологии загрязненных и ненарушенных почв, дополненное изучением проб под бинокляром, позволило выявить ряд основных морфологических признаков такой трансформации. Прежде всего отмечается изменение цветовых оттенков генетических горизонтов профиля. В общем случае — это осветление верхней части почв (включая A2B) и появление более насыщенных буро-коричневых оттенков в иллювиальных горизонтах. Особенно отчетливо осветление видно под бинокляром.

Изменяется характер границ: преобладают волнистые, реже (преимущественно в зонах наиболее интенсивного и неоднократно повторяющегося загрязнения) возможна четкая языковатость профиля.

Наиболее ярким признаком трансформации почв под влиянием агрессивных сточных минерализованных вод является изменение особенностей распределения новообразований в их профиле.

Повышенное количество железа, которое несут эти воды (см. табл. 3), приводит к заметному увеличению ожезненности профиля, формированию многочисленных микро- и макростяжений не только вблизи источника загрязнения, но также по всей площади ореола загрязнения. Здесь возможна активизация сегрегирования собственно почвенного железа при изменении геохимических условий. Максимум железистых новообразований приурочен к верхним горизонтам (A0, A1, A1A2, A2, A2B), так же как и в незагрязненных местных почвах, но их много и в нижней части профиля. Меняются лишь преобладающие морфологические формы. Прежде всего следует отметить увеличение общего числа и размеров твердых конкреций. Особенно заметно их количество увеличивается в горизонтах A1 — B1 включительно. Количество конкреций в некоторых горизонтах загрязненных почв настолько велико, что можно говорить о формировании специфических "конкреционных горизонтов". Размеры стяжений резко возрастают (до 1 см и более). Кроме того, отмечаются молодые, формирующиеся новообразования в виде мажущих стяжений, пятен, примазок, потеков.

Таблица 3. Состав пластовых вод месторождения

Нефтеносные пласты, год опробования		Состав вод, г/л				
		Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	HCO ₃ ⁻	Ca ²⁺	Mg ²⁺
Нижний карбон (песчаники)	1960	141,4	0,40	0,04	16,4	3,08
	1972	168,4	6,10	0,14	18,9	4,60
Средний карбон (известняки)	1961	129,6	0,42	0,18	16,6	4,15
	1972	120,6	1,13	0,18	13,9	3,20

Примечание. Таблица составлена по данным В.Н. Иванова, взятым из работы И.Х. Абрикосова [1963], и материалам объединения Пермьнефть (1972 г.)

Состав вод, г/л					
Na ⁺ +K ⁺	Fe (общ.)	Br ₂	I ₂	H ₂ S	pH
67,3	Не опр.	0,75	0,007	Не опр.	
79,2	0,031	0,70	0,061	0,06	6,0
57,4	Не опр.	0,78	0,007	Не опр.	
56,6	0,0002	0,60	Не опр.	0,09	6,7

Таблица 4. Морфология дерново-подзолистых почв, загрязненных сточными минерализованными водами (южная тайга, Пермское Прикамье)

Микроморфологические признаки	Генетические			
	органогенные (АО)	гумусовые (A1)	гумусово-элювиальные (A1A2)	элювиальные (A2)
1	2	3	4	5
Цвет	Черно-коричневые, буровато-серые, иногда черно-серые с сизыми, ярко-оранжевыми, красно-бурыми пятнами (особенно в зоне максимального засоления)		Серые, светло-серые, часто с белесоватым оттенком; характерны темные гумусовые потеки	Светло-серые, белесовато-сизые, при высыхании совершенно белесые или белесовато-светло-палевые
Структура	Неяснокомковатая, иногда порошистая	Очень разнообразна: от порошисто-комковатой до комковато-зернистой	Комковато-плитчатая или плитчато-непрочно-комковатая	Тонкоплитчатая до бесструктурно-пластинчатой, реже комковато-плитчатая
Новообразования	Железистые (охристые) потеки по ходам корней			Ржавые пятна и примазки (мелкие). Очень большое количество конкреций; следует говорить о формировании специфических "конкреционных" горизонтов; размер конкреций 1,0—1,2 см
	Иногда слоистые тонкие ТГ наносы на поверхности почв; охристые пятна и потеки по ходам корней	Многочисленные ржавые пятна	Гумусово-железистые потеки по ходам корней	
		Конкреции разного размера		
		0,3—0,8 см	0,2—1,0 см	
	Возможно вскипание в отдельных участках горизонтов или по ходам корней			
Границы	Растянутые			Волнистые

горизонты			
элювиально-иллювиальные (A2B)	иллювиальные		переходные к почвообразующим породам (BC)
	(B1)	(B2)	
6	7	8	9
Пестроокрашенные: белесовато-серые с сизыми пятнами в сочетании со светло-бурыми, рыжевато-бурыми, палево-бурыми	Буро-коричневые с рыжеватыми или красноватыми оттенками, с многочисленными сизыми и ржавыми пятнами	Рыжевато-бурые или рыжие, возможны палевые оттенки, сизые пятна и потеки	Палево-рыжие, наиболее светлые в профиле
Ореховато-плитчатая, плитчато-ореховатая	Ореховатая, ореховато-призматическая	Крупноореховатая, реже глыбистая	Ореховато-глыбистая
Коллоидные пленки и "зеркала"			Пленки значительно менее мощные, чем в предыдущих горизонтах; марганцовистые пятна
Кремнеземистая присыпка		Железисто-марганцевые новообразования менее интенсивны, чем в предыдущих горизонтах	
ржавые пятна и примазки	железисто-марганцевые новообразования		
Количество конкреций резко падает, но все же существенно выше, чем в незагрязненных почвах; размер 0,1—0,2 см			
Языковатые	Растянутые		

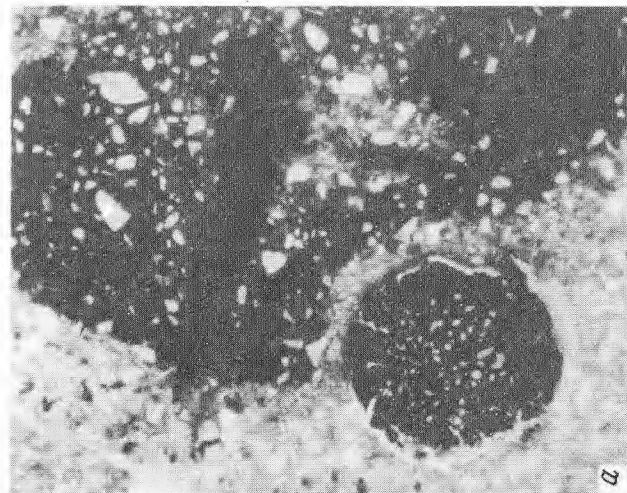
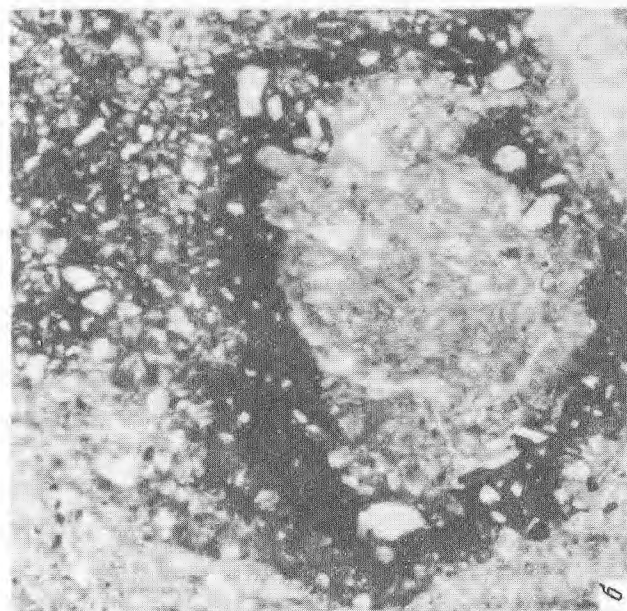


Рис. 5. Формы железистых новообразований в почвах, загрязненных высокоминерализованными водами хлор-натриевого состава
а — глубина 0–6 см, никели II, 2,5 × 4; б — глубина 6–14 см, никели II, 2,5 × 4

Таблица 5. Распределение обменного натрия в поглощающем комплексе почв, загрязненных минерализованными водами хлор-натриевого состава (через разные сроки после загрязнения)

№ разреза и время, прошедшее после загрязнения	Индекс горизонта	Глубина, см	Na ⁺ , мг-экв/100 г	Сумма катионов, мг-экв/100 г	Сухой остаток, %
1002 Через 2 недели	A1	3–10	3,13	22,45	1,093
	A2	14–23	1,87	11,61	0,724
	A2B	23–40	1,26	11,00	0,563
	B1	40–75	1,52	19,87	0,684
	B2	75–105	0,91	25,61	0,112
1001 Через 2 месяца	A1	6–14	3,26	—	0,930
	A2	18–26	4,61	17,81	1,250
	A2B	26–40	2,83	27,13	0,719
	B1	40–85	2,48	34,78	0,662
	B2	85–115	2,22	33,33	0,616
2301 Через год и два месяца	A1	3–7	3,80	27,05	0,144
	A2	12–24	4,90	—	0,156
	A2B	24–37	4,70	16,95	0,230
	B1	37–74	6,40	26,8	0,214
	B2	74–111	6,40	28,05	0,112
8213 Через 18 лет	A1	4–8	1,00	22,2	Не опр.
	A2	17–27 (31)	1,10	11,15	"
	A2B	27 (37) — 41 (53)	3,5	17,35	"
	B1	41 (53)–75	4,2	26,25	"
	B2	75–99	3,4	28,1	"

Заметно усиливается активность суспензионного переноса из-за усиления диспергации глинистого материала при внедрении натрия (табл. 5) в поглощающий комплекс. Это способствует отбеливанию верхних генетических горизонтов и усилению кутанообразования в нижних, в которых увеличиваются мощность и плотность кутан, изменяются их строение и цвет.

Мезо- и микроморфологические признаки трансформации почв. Под микроскопом отчетливо видна более интенсивная, чем в фоновых почвах, сегрегация железа в плотные микроортиштейны; характерна и изменчивость форм железистых стяжений по профилю. Если в верхней части это преимущественно конкреции самого разного размера, диффузионные кольца, узоры, морщины часто крупных размеров (рис. 5, а, б), то в нижней — это либо очень крупные узоры в плазме, чехлики около пор или железистые прослои в иллювирированной глине. Очень характерны колонии железобактерий, плотные, правильной сферической формы, иногда частично разрушенные. Под биноклем заметно увеличение признаков подвижности глинистых суспензий (особенно для горизонтов B1, B2). Но даже в исходных собственно элювиальных горизонтах имеет место заполнение части пор глинисто-пылеватым материалом. Идет также заполнение ходов корней и трещин серо-бурым глинисто-органическим материалом, несущим следы струйчатого перемещения. Отмечается и потечность тонкодисперсных

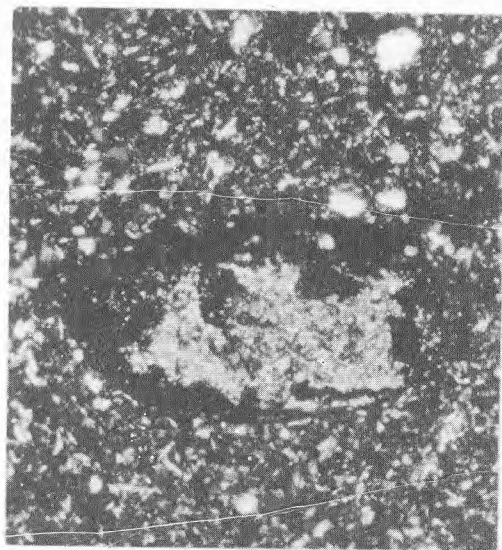


Рис. 6. Выцветы мелкозернистого кальцита в ожелезненной поре
Глубина 28–40 см, николи +,
6,5 X 4

органических веществ вплоть до горизонта ВС. В шлифах видно, что гумус светлый, аморфный, с большим количеством гумонов.

В верхних горизонтах плазма становится крайне неоднородной — это сочетание интенсивно обесцвеченных белесовато-буроватых обезыленных участков с потеками серовато-бурого пылевато-глинистого или тонкопылеватого материала, очень часто плотно упакованного.

Уменьшается количество пор, организация глинистого материала около пор значительно менее четкая, меньше интенсивно плеохроирующих гидрослюды. Формы организации глиен довольно разнообразны (струйчатые, околоскелетные, в нижних горизонтах — околоторовые, околосредные). Преобладают флюидальные натекли сложного строения, часто скорлуповато-слоистые.

Переувлажнение почв в условиях слабощелочной среды при разливах минерализованных вод приводит к резкому увеличению количества диатомовых водорослей в верхних горизонтах почв. Это ведет к некоторому "окремнению" верхних горизонтов, вероятно, как за счет разрушения части силикатов, так и за счет фиксации кремнезема из минеральных растворов. Происходящее своеобразное "осолодение" верхних горизонтов профиля, особенно исходного горизонта А1А2 (причем этот процесс повторяется периодически, вслед за разливами агрессивных вод), обнаруживается в шлифах по повышенному содержанию в почвенной массе скелетов диатомовых водорослей.

При подсыхании залитых минерализованными водами почв происходит выпадение простых солей из раствора. Выцветы солей в таких почвах, как отмечалось, видны и при обычном описании почвенного профиля, и в шлифах. В шлифах при этом могут фиксироваться выцветы микрозернистого кальцита как в порах и трещинах (рис. 6), так и в плазме. В данном случае эти новообразования кальцита приурочены преимущественно к микроучасткам, в которых одновременно отмечается и потечность материала; в отбеленных и обесцвеченных микроучастках кальцита мало или совсем нет. Наличие в почвах новообразований простых солей морфологически фиксирует стадию их временного техногенного засоления. Таким образом, разливы хлор-натриево-кальциевых вод вызывают достаточно глубокую трансформацию почв в зоне их влияния. Изменения касаются как общей организации профиля, так и отдельных морфологических признаков горизонтов.

Трансформация морфологии лесных почв под влиянием сырой нефти (пластовых жидкостей)

Перестройка морфологии почвенного профиля, та или иная выраженность признаков трансформации свойств почв, их яркость зависят от интенсивности проработки нефтью — времени с момента поступления загрязнителя, его количества, частоты случаев загрязнения и, как отмечалось выше, первоначального состояния почв. Еще одним важным моментом является характер поступления загрязнителя в почвы — на поверхность или внутрипочвенно. Ниже рассматриваются только случаи загрязнения почв при поверхностных разливах нефти. Разрезы, взятые для анализа, закладывались в пределах визуально видимых потоков нефти (и недавних, и старых).

Макроморфологические признаки трансформации почв при загрязнении их нефтью, зафиксированные во всех или большинстве изученных разрезов, сведены в табл. 6 и частично показаны на рис. 7.

Загрязнение почв нефтью вызывает достаточно характерные изменения морфологии почвенного профиля. Возможна полная деградация отдельных генетических горизонтов исходных почв вплоть до исчезновения их первичных признаков, хотя такие случаи редки и отмечаются только в пределах ореолов загрязнения, сформированных достаточно мощными потоками нефти. Отмечается общая тенденция к увеличению мощности гумусового профиля. Границы становятся языковатыми, карманообразными, значительно реже — сильноволнистыми, что происходит из-за активного формирования каналов миграции, которые часто становятся сквозными вплоть до горизонта В2. Возможны корки нефтепродуктов на поверхности почв.

Приведенные в табл. 6 морфологические особенности местных почв, загрязненных нефтью, являются осредненными. В реальных разрезах их сочетания и интенсивность проявления варьируют, что является функцией количества поступивших загрязнителей и времени с момента их поступления в почвенную массу. Некоторые признаки могут быть или не выражены совсем, или выражены недостаточно четко. Но эти частные отклонения не меняют общей весьма специфической картины перестройки морфологического профиля почв. Выявленные показатели могут служить индикаторными при анализе характера загрязненности лесных почв в районах нефтепромыслов.

Нефть, просачивающаяся в почвы, распределяется неравномерно. Количество битуминозных веществ изменяется не только при смене горизонтов, но и в различных фрагментах одного и того же горизонта, что подтверждается и аналитически (рис. 8). Этим определяется фрагментарность перестройки морфологии профиля, что хорошо видно также и при анализе проб под биноклем и в шлифах.

Цвет становится более темным, чем в фоновых аналогах, с преобладанием черных, серо-коричневых и темно-коричневых оттенков; типичны пятна сизовато-зеленоватых тонов. Очень характерна неоднородность и даже контрастность прокраски в пределах одних и тех же генетических горизонтов, что связано, как уже было сказано, с характером и интенсивностью поступлений нефти в отдельные почвенные горизонты.

Так, в верхних горизонтах (А1, А1А2) отмечается интенсивная и довольно равномерная пропитка нефтью, но все же максимальное количество

распределена
нефть
по
поверхности
профиль

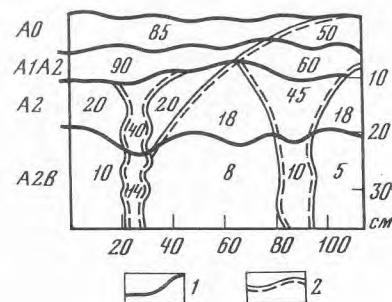


Рис. 8. Поле распределения битуминозных веществ (в $\% \cdot 10^{-1}$) в почвенной массе (фрагмент, разрез 3138)

1 — границы генетических горизонтов; 2 — границы между отдельными почвенными блоками в пределах горизонта; 3 — цифры на графике — содержание битуминозных веществ, извлекаемых гексановой и хлороформенной вытяжками (сумма)

привнесенных органических веществ концентрируется по ходам корней и трещинам. Ясно видно расположение загрязнителя в почвенной массе в стороны от этих морфологических элементов.

Для элювиальных горизонтов и интенсивно оподзоленных блоков горизонта A1A2 характерно полосчатое распределение загрязнителя. Его концентрация между структурными отдельностями разная; различается, вероятно, и фракционный состав, о чем свидетельствует переслаивание темных, как правило, узких маслянистых прослоев и более широких полос — серых, буровато-серых с зеленоватым оттенком (под бинокляром напоминающих мармелад).

В нижних горизонтах формы распределения загрязнителя в почвенной массе и цветовые эффекты меняются. Хотя цвет остается более темным, чем в соответствующих горизонтах незагрязненных почв, но черных и темно-коричневых участков становится меньше. Преобладают коричневатобурые, темно-бурые, буро-охристые тона.

В ряде случаев отмечается фронтальная пропитка педов железисто-органическим материалом, сопровождающаяся темно-бурыми или черными оторочками по граням таких педов. Такой же темный коллоидный материал фиксируется по трещинам и углублениям. Это отражает естественное фракционирование загрязнителя в почвенной массе, что хорошо видно не только в шлифах или под бинокляром, но также и при обычных полевых описаниях почвенного профиля.

Неоднородность распределения загрязнителей в почвенной массе определяет также и неоднородность изменений структурных агрегатов в разных блоках одного и того же почвенного горизонта: характерно сочетание участков с разными типами структурных отдельностей. Общие тенденции для верхних горизонтов (A1, A1A2, A2) — укрупнение педов, а также возникновение зернисто-комковатой структуры в горизонтах A1, A1A2, грубо- и крупно-плитчатой — в горизонте A2 (за счет склеивания педов низких порядков); для иллювиальных горизонтов (B1, BC) — распад педов высоких порядков на более мелкие агрегаты, сглаживание граней вплоть до образования комковатой структуры (см. рис. 7). Наиболее резко эти изменения происходят в пределах каналов миграции.

Изменяется характер ожелезнения — количество и формы железистых новообразований, их распределение по генетическому профилю, что фиксируется как макроморфологически, так под бинокляром и в шлифах (табл. 6, 7; рис. 9).

Типичны признаки усиления процессов оглеения и вторичного окисле-

Генетические горизонты	Загрязненные нефтью	Незагрязненные
A0		
A1A2		
A2		
A2B		
B		
BC		

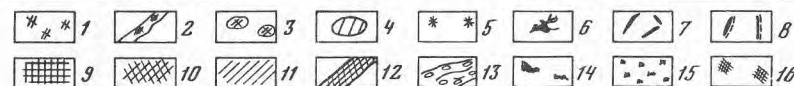


Рис. 7. Морфология педов из дерново-подзолистых суглинистых почв (в районе нефтепромысла)

Железистые новообразования: 1 — железистые пятна, примазки, потеки; 2 — железистые потеки по ходам корней и трещин; 3 — железисто-органические орштейны; 4 — оглеенные пленки и сизые пятна. Марганцовистые новообразования: 5 — марганцовистые примазки; 6 — дендровидные марганцовистые образования. Органические и органо-минеральные коллоидные образования: 7 — ржаво-бурый коллоидный материал в мелких трещинах и порах; 8 — черно-сизый коллоидный материал в мелких трещинах; 9 — потеки гумусовых веществ; 10 — органо-минеральные кутаны; 11 — участки равномерного пропитывания битуминозными веществами; 12 — темные битуминозные пленки и тонкие корочки на поверхности педов; 13 — выстилание полостей и трещин коллоидным материалом с большим количеством битуминозных веществ; 14 — черно-коричневые сгустки органических веществ в порах; 15 — кутаны сложного состава в полостях и трещинах; 16 — кутаны сложного состава с большим количеством битуминозных компонентов на поверхности педов

Таблица 7. Микроморфологические особенности лесных почв, загрязненных нефтью (южная тайга, Пермское Прикамье)

Микроморфологические признаки		Генетические горизонты				
		гумусовые и гумусово-элювиальные (A1, A1A2)	элювиальные (A2)	элювиально-иллювиальные (A2B)	иллювиальные	
					(B1)	(B2)
1	2	3	4	5	6	7
Микро-ортштейны	Микроморфологии железистых, железисто-марганцевых и железисто-органических образований	Во всех генетических горизонтах встречаются плотные железистые, железисто-органические или железисто-марганцевые нодулы:				
		а) плотные, крупные, с неровным краем (преимущественно в обесцвеченной части плазмы); б) частично разрушенные	Для этих горизонтов характерно максимальное разнообразие форм. Некоторые из них общие для двух горизонтов — составные и железисто-глинистые; кроме того, индивидуальные:		Преимущественно рыхлые, с нечетким контуром	
			а) с глобульным гало; б) плотные с четким контуром; в) размытым контуром; г) с окантовкой поляризующих глин.		а) рыхлые; б) с плотным центром, частично разрушенным внешним контуром; в) с окантовкой поляризующих глин.	
			Мелкие, очень плотные		Не обнаружены	
			Плотные железистые кольца вокруг пор (рошенштейны)		Диффузионные кольца, иногда к внутренней части их контура приурочены аморфные сгустки Fe	
Колонии Fe-бактерий	Диффузионные кольца	Узоры, пятна: железистые, органо-железистые пленки в порах, по граням педов; натеки в плазме	Железистые, органо-железистые узоры, пятна, морщины (главным образом в нижних горизонтах)	Железистые про-слои в глинистом материале вокруг пор	Почти чисто железистые (не поляризуют) натеки, в некоторых порах встречаются плотные стяжения внутри натека	
		Охристый материал ассоциирует со сгустками темно-бурого глинисто-органического материала	Чисто охристые натеки и сложные натеки Fe — Mn -органического материала в плазме		Интенсивные Fe —Mn — органические пленки по граням педов, на отдельных микроучастках прерывистые	

Органическое вещество	Интенсивные непрозрачные черно-бурые затеки в трещинах и порах, одинаковые в проходящем и отраженном свете, могут иметь струйчатую ориентацию или рисунок косы. Органический материал часто ассоциирует с Fe; многочисленные темные сгустки разного размера и формы	Очень большое количество диспергированного органического материала в плазме; темные, почти черные затеки и пятна в поляризующей глин	Возможна фронтальная пропитка отдельных педов и черные, черно-бурые органические и Fe —Mn — органические пленки по граням педов и в трещинах	
	Обрывки углефицированных тканей			
Формы организации глинистой плазмы	Формы ориентированных глин очень разнообразны, что является результатом педотурбации; типична натечность глинистой плазмы, четко видимая в шлифах			
	Глинисто-гумусовая, в отраженном свете матово-буровато-желтоватая с многочисленными темными пятнами и полосами	Гумусово-глинистая; глины неоднородны: а) на отдельных микроучастках фиксируется интенсивное отбеливание глинистого материала вплоть до светло-серых почти полностью отбеленных разностей; б) с очень большим количеством диспергированного органического вещества (преобладают); в) интенсивно ожелезненные (красно-желтые или буро-красные в отраженном свете)		
	Струйчатая	Отмечается по всему профилю, но интенсивность проявления таких форм в отдельных горизонтах разная		
	Околоскелетная	Косовая	Тонкоструйчатая	Струйчато-сетчатая
Отмечается во всех генетических горизонтах, различается интенсивностью, цветом и составом пленок				

Таблица 7 (окончание)

Микроморфологические признаки		Генетические горизонты				
		Гумусовые и гумусово-элювиальные (A1, A1A2)	-элювиальные (A2)	элювиально-иллювиальные (A2B)		иллювиальные
				(B1)	(B2)	
1	2	3	4	5	6	7
Формы органических соединений в почвах	Скорлуповато-слоистые натеки	Сложные пленки (скорлуповато-слоистые) с большим количеством диспергированного органического материала. Количество таких глин, интенсивность и формы органической составляющей неодинаковы в разных горизонтах.	Не характерны	Не характерны	Не характерны	Не характерны
	Флюидальные натеки	Преимущественно в порах, иногда их полное заполнение; органического вещества много, преимущественно в виде темных прослоев; отмечаются папулы в плазме	Не характерны	Не характерны	Не характерны	Не характерны
	Прочие особенности глинистой плазмы	Не характерны	Не характерны	Не характерны	Не характерны	Не характерны
	Прочие особенности глинистой плазмы	Не характерны	Не характерны	Не характерны	Не характерны	Не характерны

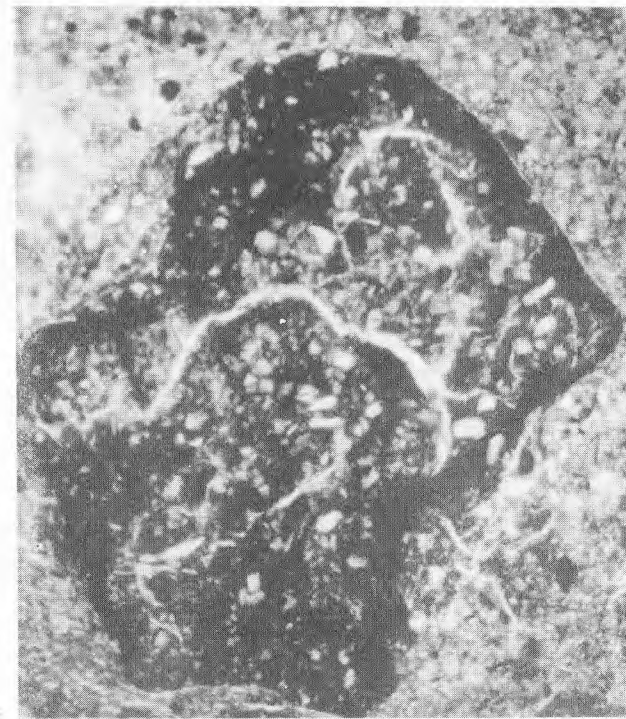


Рис. 9. Формы железисто-органических (с битуминозными веществами) новообразований в почвах, загрязненных нефтью
Горизонт A2B, николи ||, 2,5 X 4

ния — увеличение количества и площади зеленовато-серых и охристых участков (сравнительно с фоновыми аналогами).

Начиная с горизонта A1, отмечается более интенсивная, чем в аналогичных горизонтах фоновых почв, сегрегация железа в форме охристых пятен: часты охристые оторочки по краям серо-черных коллоидных пленок.

Морфологически оформленные железистые микроорштейны фиксируются во всех генетических горизонтах профиля в отличие от местных фоновых почв, где они сосредоточены в его верхней части (в нижних горизонтах незагрязненных почв морфологически видимые железистые новообразования отмечаются главным образом в ассоциации с подвижной глиной).

В гумусовых и гумусово-элювиальных горизонтах загрязненных почв содержится очень большое количество мелких (1–2 мм и мельче) довольно плотных шаровидных или овальной формы интенсивно-черных блестящих капсул. Эти стяжения легко препарируются из почвенной массы. В фоновых разрезах количество плотных стяжений, которые могут быть также извлечены, значительно меньше. Они мельче и имеют, как правило, более светлый (буро-охристый) цвет.

После обработки хлороформом плотных новообразований, извлеченных как из загрязненных, так и из чистых почв, они практически полностью

лишаются растворенных органических веществ, но сохраняют первоначальную форму и размеры.

Сравнение стяжений, извлеченных из загрязненных почв, с микроорштейнами из идентичных горизонтов фоновых почв показывает более слабую степень ожелезнения первых и относительно большую рыхлость их сложения. Под биноклем видна цементация зерен первичных минералов светлоохристым железистым и железисто-глинистым материалом; отмечается большое количество каверн по краям стяжений, являющихся, вероятно, камерами, включавшими битуминозные вещества. По всей видимости, такие образования являются модификациями микроорштейнов.

Эти данные позволяют говорить о том, что загрязнение почв нефтью вызывает существенное усиление сегрегации коллоидных соединений в плотные стяжения; идет активная фиксация битуминозных веществ (в частности, их наиболее тяжелых фракций) на ядрах конденсации, которыми являются первичные конкреции и рыхлые микростяжения железа. Это вызывает вторичное усиление сорбции гидроксидов железа на битуминизированных сгустках. Происходит как бы взаимная интенсификация сегрегирования разных веществ, в результате чего активизируются процессы образования конкреций. Усиление сегрегации железа, видимо, может быть связано с активизацией микробиологической деятельности и осаждением органо-минеральных соединений на микробарьерах — первичных стяжениях гидроксидов железа. Ассоциация железистых стяжений с битуминозными веществами отчетливо прослеживается начиная с горизонта A1A2. Иногда это железистая оторочка на битуминозной конкреции, местами часть черного органического материала замещена охрами.

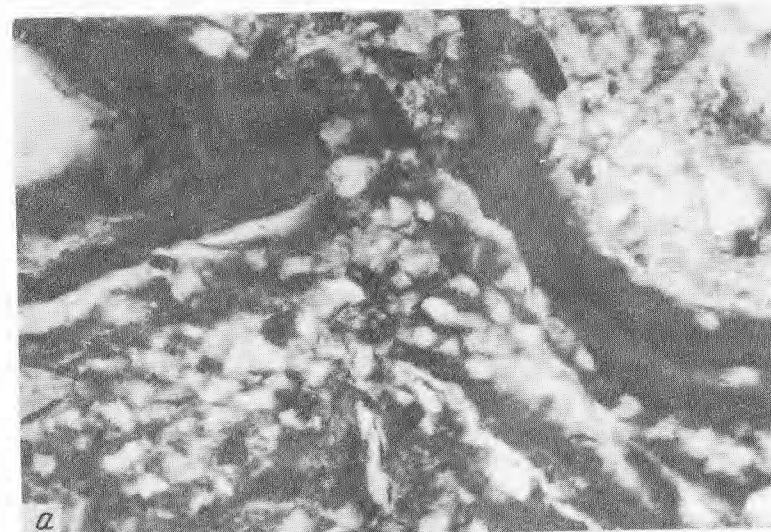
Таким образом, изменяются не только размеры, но и состав стяжений: увеличивается доля органического материала в ассоциации с железом в верхних горизонтах, в нижних в их составе, кроме железа, отмечается марганец, что хорошо видно в отраженном свете.

В загрязненных почвах очень широко распространены также диффузионные кольца, железистые узоры, пятна, морщины. Размеры этих микроморфологических элементов более крупные, чем в фоновых почвах, формы более разнообразны.

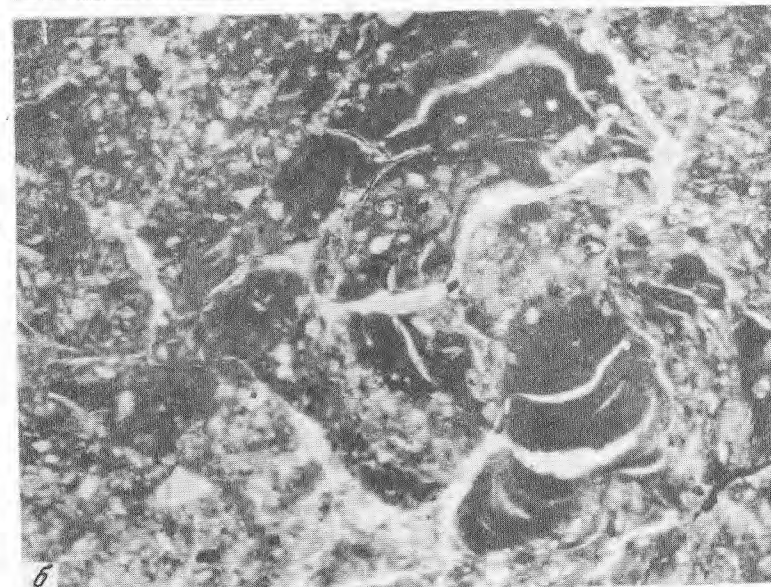
Происходит усиление кутанообразования. Состав кутан меняется вниз по профилю. Очень характерны (особенно для иллювиальных горизонтов) темные, вплоть до иссиня-черных, дендровидные образования (см. рис. 7), чаще всего формирующиеся по граням педов высоких порядков.

В средних и нижних частях профиля загрязненных почв поры и трещины заполнены материалом, имеющим специфический морфологический облик. Это серо-бурое или сизо-серое коллоидное вещество. Под биноклем отчетливо видна потечность этого глинисто-органического материала — своеобразная микропедотурбация, создающая специфический рисунок натека (рисунок "волны").

Достаточно характерны также и особенности трансформации глинистой плазмы. Глины очень неоднородны, на отдельных микроучастках они могут быть интенсивно ожелезнены. Часто глинистая плазма характеризуется интенсивным осветлением, вплоть до формирования светло-серых, почти полностью обесцвеченных разностей. Осветление наблюдается преимущественно вдоль путей миграции растворов. В шлифах глины в таких



а



б

Рис. 10. Битуминозно-глинистые ожелезненные натеки в порах и плазме
а — глубина 7–8 см, николи II, 2,3 X 4; б — глубина 145–187 см, николи II, 6,5 X 4

микроучастках характеризуются очень низким двупреломлением. Осветление глинистой плазмы свидетельствует о довольно интенсивных процессах оглеения натеков, что соответствует видимому и макроскопически оглеению кутан по граням педов (наличию сизых пятен и потеков). Как правило, в глинистой плазме отмечается очень большое количество диспергированного органического вещества; на отдельных микроучастках имеет

место включение в глинистый материал органических веществ в виде темных, почти черных полос и пятен (рис. 10). Формы ориентированных глин в загрязненных почвах весьма разнообразны, но преобладающими являются струйчатые, а также флюидальные натеки в плазме и сложные натеки в порах.

Главными морфологическими особенностями подвижных глин в загрязненных почвах являются трансформация их морфологии и изменение состава, что очень наглядно видно при сравнении новообразованных натеков с обрывками слабо измененного полинита, включенного в натеки.

Полученные материалы свидетельствуют о том, что морфологические признаки обладают достаточно большой информативностью относительно состояния почв — являются хорошими диагностическими показателями для выявления загрязнения.

Изменения, возникающие в почвах при загрязнении, касаются практически всех основных ее морфологических признаков.

Наиболее консервативным оказался механический состав, изменения которого минимальны и выявляются лишь при очень дифференцированном опробовании.

Наиболее показательными характеристиками, индицирующими почвы, загрязненные нефтью, являются следующие.

1. Резкая фрагментарность изменений морфологических признаков почв на самых близких расстояниях из-за неравномерности распределения загрязнителя в почвенной массе.

2. Увеличение общего числа железистых новообразований, начиная с самых верхних горизонтов. Наиболее морфологически ярко выражено ожелезнение средних и нижних горизонтов почв. Одной из причин повышенной ожелезненности является, вероятно, дополнительное поступление железа из нефтяной эмульсии.

3. Заметное увеличение плотных новообразований органо-минеральной природы. Количество их на 1 см^2 в элювиальных горизонтах загрязненных почв составляет 14–20 при 4–6 в незагрязненных аналогах. Средние размеры стяжений различаются в 2–4 раза. Соотношение количества стяжений и их размеров для загрязненных и чистых почв сохраняется приблизительно одинаковым для всех верхних горизонтов генетического профиля. Состав этих образований закономерно меняется вниз по профилю: увеличивается минеральная составляющая, уменьшается количество битуминозных веществ.

4. Имеет место усиление суспензионного переноса — потечность глинисто-органической массы и микрopedотурбация материала, создающая характерный рисунок этих натечных образований.

Механизм воздействия нефти на трансформацию некоторых морфологических признаков почв

Анализ морфологии дерново-подзолистых почв, загрязненных нефтью, и полевые наблюдения за особенностями ее миграции в момент аварийных разливов позволили сделать некоторые предположения о механизме изменений отдельных морфологических признаков, в частности о механизме формирования каналов миграции и способах трансформации структурных агрегатов — форм и размеров педов.

Механизм воздействия нефти на трансформацию некоторых морфологических признаков почв

Формирование каналов миграции. Наблюдения показали, что в почвах имеют место два типа миграции нефти, обладающие разным характером взаимодействия с почвенной массой: а) фронтальное просачивание; б) капельно-струйчатое стекание вдоль ослабленных зон. В процессе загрязнения верхние горизонты (гумусовые, элювиальные) могут полностью насыщаться загрязнителем, не создавая очень резких различий в его концентрациях между отдельными почвенными блоками. Основным механизмом проникновения нефти в более глубокие горизонты суглинистых почв является гравитационное стекание вдоль ослабленных зон — каналов миграции. При этом основная масса нефти, поступающей на поверхность дерново-подзолистой суглинистой почвы, фильтруется преимущественно по системам трещин, корневых ходов и другим ослабленным зонам, в меньшей степени фронтально. Миграция загрязнителя по существующим в почвах ослабленным зонам происходит более активно, что позволяет поступающим веществам распространяться здесь на максимально возможную глубину, что сопровождается насыщением нефтью объемов магистральных каналов, активным всасыванием в межпедные плоскости и диффузией в межтрещинную массу. Поэтому именно для иллювиальной части профиля характерна максимальная неоднородность и даже контрастность в распределении загрязнителя между отдельными почвенными блоками. Наличие почвенных барьеров усложняет распределение битуминозных веществ и неоднородность типов взаимодействия с почвенной массой.

Концентрация битуминозных компонентов в этих зонах наиболее велика, что отражается в цветовых характеристиках, распределении и формах новообразований. Здесь типичны черные, черно-серые, черно-бурые пятна, потеки и сгустки разной конфигурации. С прекращением дополнительных поступлений загрязнителя (после ликвидации аварий) несколько лучшая аэрация ослабленных зон ведет к относительно более быстрой минерализации поступивших в них веществ. Как показали полевые наблюдения, при восстановлении растительного покрова, вероятно, из-за наличия легкодоступных питательных веществ, именно в этих ослабленных участках создаются предпосылки для лучшего развития в них корневых систем. Количество корней и глубина их проникновения вдоль каналов, заполнявшихся битуминозными веществами, значительно больше, чем в соответствующих разностях незагрязненных почв. Даже в самых нижних горизонтах почв (В, ВС), на глубинах 160–190 см, все еще фиксируется большое количество тонких корней. В отдельных случаях корни создают довольно плотную сеть, полностью охватывающую все грани структурных агрегатов (см. рис. 7). В результате происходит как бы вторичное расшатывание ослабленных зон и их дальнейшее изменение. Такие участки становятся наиболее активными проводниками почвенных растворов, что, в свою очередь, вызывает усиление здесь процессов перемещения и выноса веществ. Формируются мощные осветленные языки, рассекающие почвенную толщу вплоть до нижних иллювиальных горизонтов. Таким образом, формируются вертикальные или слабонаклонные внутрисочвенные линеаменты — каналы миграции, выделяющиеся в почвенном профиле интенсивным осветлением, своеобразной структурой, несколько более легким механическим составом, формами и распределением новообразований.

Прямые полевые наблюдения показали также, что при повторных по-

ступлениях нефти (при новых сливах) именно здесь, в зонах каналов миграции, происходит наиболее активное проникновение загрязнителя, фиксирующееся по интенсивному капельно-струйчатому стеканию нефти вдоль канала. Происходят повторная активизация суспензионного переноса частиц, новое расшатывание и углубление почвенных линеаментов.

Трансформация форм и размеров педов. Миграция нефти в почвенном профиле сопровождается естественным фракционированием загрязнителя, при котором наименее подвижные его компоненты осаждаются первыми с опережением по фронту движения некоторых более подвижных и менее вязких составляющих¹. Вертикальная дифференциация битуминозных веществ определяет в некоторой степени характер их взаимодействия с почвенной массой. Количество поступающих веществ, формы их поступления, состав, распределение в почве, как было показано выше, весьма неоднородны. В верхних горизонтах (A0, A1) имеет место преимущественно фронтальная пропитка битуминозными веществами всей массы горизонта; в средней части профиля (горизонты A2, A2B) преобладает передвижение по магистральным каналам миграции и в меньшей степени по межпедным каналам, в иллювиальных горизонтах — растекание загрязнителя по межпедным каналам.

Макроморфологический анализ почвенных профилей совместно с анализом шлифов и проб почв под биноклем позволил сделать следующие предположения о механизме трансформации нефтью форм и размеров структурных отдельностей.

Неодинаковый характер поступления загрязнителя (количество, состав, распределение в почвенной массе) в сочетании с неоднозначностью геохимических свойств исходных почвенных горизонтов определяют и различия в характере изменений структурных отдельностей. Так, основным структурообразователем в верхних почвенных горизонтах (особенно гумусово-аккумулятивных) являются органические соединения. Поэтому фронтальное поступление битуминозных веществ при достаточно хорошей аэрации этих горизонтов способствует усилению формирования типичных для них изометричных агрегатов — формированию прочной комковатой или даже комковато-зернистой структуры. Даже в оподзоленных блоках горизонта A1A2 четко проявляется тенденция к преобладанию комковатости. Общее направление структурообразовательных процессов в этих горизонтах не меняется.

Для элювиальных горизонтов (A2) характерно возникновение более прочных, чем в фоновых аналогах, структурных агрегатов и некоторое изменение их формы. Битуминозные вещества концентрируются в этих горизонтах между плоскостями педов. Под биноклем видно, что поступившее в почвы органическое вещество склеивает элементарные почвенные агрегаты. Первичная листоватая или тонкоплитчатая структура замещается грубо и прочно плитчатой, а иногда и комковато-плитчатой. Таким образом, поступление нефти в элювиальные горизонты частично изменяет характер структурообразовательных процессов: меняются форма и размеры

¹ Фракционирование нефти может быть связано и с разной растворимостью битуминозных веществ в природных водах. Так, возможность растворения и миграции фенолов, бензола и некоторых других компонентов нефти в водах показана в работе В.К. Васильева и Г.М. Шпейзера [1977].

элементарных педов как в межтрещинной массе, так и в пределах каналов миграции.

В нижних горизонтах загрязненных почв отмечается распад педов высоких порядков из-за частичного оглеения межпедных кутан, чему способствует преобладающее в этих горизонтах распределение загрязнителя по межпедным каналам. Увеличение количества органических соединений и ухудшение аэрации этих горизонтов вызывают геохимическую трансформацию одного из основных структурообразователей: переход склеивающего педы окисного железа в закисное. Еще одним возможным фактором, определяющим распад педов и усиление подвижности глинистой плазмы, может быть внедрение натрия из нефтяной эмульсии в почвенный поглощающий комплекс, что подтверждается аналитически.

Информативность разных морфологических признаков для диагностики форм загрязнения

Полученные материалы свидетельствуют о том, что морфологические признаки обладают достаточно большой информативностью относительно состояния загрязненных почв — форм и интенсивности загрязнения. Изменения, возникающие в почвах при загрязнении, как было показано выше, касаются практически всех основных морфологических показателей.

Сравнительный анализ изменений морфологии загрязненных почв на каждом уровне (при макро-, мезо- и микродиагностике) показывает, что при разных типах техногенных нагрузок соответствующие им морфологические формы трансформации почв имеют разное информативное отражение в почвенном профиле.

Так, наиболее важные диагностические признаки трансформации почв при строительстве промыслов (механические нагрузки) отражены в самой структуре генетического профиля. В этом случае наиболее информативным является обычное полевое макроморфологическое описание разреза.

В случаях геохимического загрязнения почв в процессе строительства скважин наибольшую информацию о их состоянии дает микроморфологический анализ, так как главными диагностическими признаками изменений свойств почв при этих нагрузках, как отмечалось выше, являются их минералогический состав, особенности глинистой плазмы, формы новообразований, что наиболее ярко выявляется в шлифах.

Для диагностики трансформации почв при загрязнении их нефтью наиболее информативным является просмотр почв под биноклем. Такие исследования могут быть выполнены непосредственно в полевых условиях и не требуют особой подготовки материала.

В случае загрязнения почв минерализованными водами степень информативности тех или иных морфологических признаков определяется составом сточных вод и временем с момента аварийного слива (т.е. стадии трансформации). В общем случае наиболее информативными для диагностики таких загрязнений являются: а) для зон максимального загрязнения (вокруг скважин и по ложбинам стока) — макроморфологический анализ, позволяющий выявить характер границ, степень осветления профиля, особенности ожелезнения (в частности, выявить наличие конкреционных горизонтов), вскипание от HCl и т.д. Весьма большую информацию дает

анализ шлифов, позволяющий выявить не только общую микроморфологическую структуру горизонтов, но и особые формы новообразований — наличие кристаллов простых солей в порах, трещинах и плазме, формы и количество железистых новообразований и другие признаки; б) для внешней части зоны загрязнения (или при длительно протекающих процессах освобождения от поступивших веществ) наиболее информативным является, вероятно, микроморфологический анализ, так как особенности ожелезнения почв и характер трансформации глинистого материала являются достаточно "чуткими" индикаторами даже для относительно слабых форм загрязнения.

Устойчивость морфологической трансформации загрязненных почв

Анализ особенностей трансформации морфологии дерново-подзолистых почв в районах нефтепромыслов свидетельствует о том, что возможная устойчивость возникающих изменений неодинакова. Некоторые из новообразованных признаков очень динамичны и обладают малой устойчивостью в местных условиях. В рассматриваемом случае это, например, выцветы мелкозернистого кальцита в почвах при ее химическом загрязнении в процессе строительства скважин. Другие новообразованные морфологические признаки будут значительно более устойчивы и, следовательно, должны фиксироваться в почвах длительное время. Но и в этом случае их относительная устойчивость разная. Некоторые из них в течение длительного срока после поступления загрязнителя продолжают видоизменяться, чему соответствует ряд последовательных изменений их морфологии: происходит последовательная смена определенных морфологических форм. Например, увеличение размеров и общего количества железистых новообразований в загрязненных нефтью почвах является достаточно устойчивой их характеристикой, так как окисные формы железа, преобладающие в них, малоподвижны в местных условиях. В то же время состав этих образований будет постоянно меняться за счет минерализации привнесенных битуминозных веществ и замещения их глинисто-железистым материалом.

Исходя из сказанного сделана попытка определить степень относительной устойчивости тех или иных морфологических изменений, возникающих в почвах при загрязнении.

Основные диагностические признаки, индицирующие трансформацию дерново-подзолистых суглинистых почв в районах нефтедобычи, сведены в табл. 8. Здесь же сделана попытка оценить степень устойчивости этих признаков.

К наиболее устойчивым морфологическим признакам ТГ трансформации почв отнесены изменения общей структуры профиля — соотношения верхних и нижних горизонтов, двучленность, изменения характера границ между горизонтами, усиление сегрегации железа при общем увеличении ожелезненности почв относительно фоновых аналогов, формирование сквозных каналов миграции, микропедотурбация глинистой плазмы, изменения минералогического состава верхних почвенных горизонтов. К менее устойчивым изменениям морфологии почв (для данных природных условий) отнесены увеличение мощности гумусового профиля, частичное изме-

нение первичных признаков элювиальных горизонтов, карбонатно-глинистый состав плазмы, выцветы легкорастворимых солей, интенсификация процессов оглеения, включение большого количества органического материала в глинистую плазму.

Одним из важнейших результатов изменений геохимии почвенных процессов, четко фиксируемых морфологически, является перестройка структуры почвенного покрова: формирование ареалов почв с необычными для зональных условий геохимическими чертами, возникновение необычных почвенных сочетаний или пятнистостей. Происходит резкое усиление контрастности почвенного покрова. Изменение структуры почвенного покрова в районах нефтепромыслов хотя и имеет ряд стадий, является устойчивой общей новообразованной характеристикой этих территорий.

Выводы

1. Выявлены диагностические признаки трансформации морфологии почв при нефтедобыче: а) специфические для определенного класса геохимических нагрузок, что позволяет однозначно их индицировать; б) характерные для любых трансформированных почв в районах нефтепромыслов, не зависящие от геохимического типа ТГ нагрузок. Некоторые из таких не специфических показателей должны быть характерны не только для районов нефтедобычи, но также для почв, находящихся в сфере влияния других типов добывающей промышленности. Такими признаками являются: двучленность профиля (погребение исходных почв), уменьшение верхней части профиля, изменение характера границ между горизонтами, уплотнение почвенной массы.

2. Разнообразие техногенных объектов: множественность технических источников воздействия в пределах нефтепромыслов определяет разную химическую активность, разновременность и неодинаковую интенсивность их возможного действия на среду. Этим определяется перемежаемость ареалов почв, находящихся на разных стадиях ТГ трансформации и обладающих существенно разными морфохимическими признаками.

3. Особенности морфологии почв в районах нефтедобычи — формы и глубина трансформации — определяются не только свойствами поступающих загрязнителей, но также исходным состоянием почв — предшествующей историей их техногенной трансформации.

4. Морфология почв в районах нефтедобычи характеризуется изменчивостью в пространстве и во времени и в каждом случае отражает определенное их состояние. Каждому состоянию почв соответствуют особые группы морфологических изменений — особые комбинации диагностических признаков. При этом конкретные соотношения в почвах устойчивых и относительно неустойчивых морфологических изменений служат достаточно надежным критерием для определения стадии трансформации почвенных процессов.

5. Стадийность перестройки морфологии почв под влиянием ТГ факторов отражает определенные стадии изменений почвенно-геохимических процессов. В свою очередь, каждому типу трансформации геохимии почв соответствует определенное состояние экосистем — определенные стадии их трансформации: а) стадии угнетения экосистем, вплоть до полного раз-

Таблица 8. Устойчивость новообразованных морфологических признаков трансформированных почв в районах нефтедобычи

Элементы морфологии почв	Техногенные воздействия	Диагностические признаки			
		не специфические		специфические	
		относительно устойчивые	относительно неустойчивые	относительно устойчивые	относительно неустойчивые
1	2	3	4	5	6
Общая организация почвенного профиля	Механические	а) двуучленность почвенного профиля; б) изменение соотношений мощностей верхних и нижних горизонтов	Слабая дифференциация на генетические горизонты верхней части профиля	—	—
	Буровые реагенты, промывочные жидкости	—	—	Изменение минералогического состава верхних почвенных горизонтов, наиболее четко диагностируемое в шлифах	Корки, подушки от буровых растворов на поверхности почв или под горизонтами АО, АОА1. Вскипание от HCl в отдельных фрагментах верхних горизонтов (включая исходные горизонты A2, A2B)
	Нефть и нефтепродукты	Изменение характера границ между горизонтами: возникновение языковатых, карманообразных, волнистых границ, формирование сквозных каналов миграции	—	Резкое изменение морфологических признаков на самых близких расстояниях — фрагментарность морфологии генетических горизонтов	Увеличение мощности гумусового профиля, исчезновение первичных признаков элювиальных горизонтов, вплоть до их полной деградации
Горизонтов	Минерализованные воды	—	—	—	Вскипание от HCl в отдельных фрагментах верхних почвенных горизонтов, часто по ходам корней
	Нефть и нефтепродукты	—	—	Более темный, чем у соответствующих фоновых аналогов; цветовые эффекты специфичны для каждого горизонта и соответствуют особенностям распределения загрязнителя. Характерна не-	Преобладание темно-коричневых, темно-серых и сизо-коричневых оттенков (на первых этапах трансформации)

Цвет	Минерализованные воды	Неоднородны даже в пределах одного горизонта	?	однородность и даже контрастность прокраски в разных блоках одних и тех же генетических горизонтов	Отсутствие палевых оттенков в элювиальных горизонтах
Типы структурных особенностей	Нефть и нефтепродукты	Неоднородны даже в пределах одного горизонта	?	а) укрупнение структуры верхних горизонтов (формирование прочной комковатой и зернисто-комковатой структуры); б) распад структурных агрегатов высоких порядков до элементарных пелов в нижних горизонтах профиля	—
	Минерализованные воды	—	?	?	—
Состояние глинистой плазмы и типы ориентированных глин	Нефть и нефтепродукты	Формирование мощных и сложных кутан в иллювиальных горизонтах. Микропедотурбация глинистой плазмы	Усиление иллювиирования суспензий. Интенсификация процессов оглеения. Трансформация состава глин	Специфический рисунок натечных глин (рисунок "волны"). Преобладание струйчатых форм ориентированных глин и флюидальных натечков	Неоднородность глин, преобладание осветленных (оглеенных) разностей с низким дупреломлением; большое количество диспергированного органического материала в глинистой плазме
	Минерализованные воды	—	—	Довольно интенсивное ожелезнение глинистого материала, железистые образования в виде четко выраженных прослоев в глинистой плазме	?
	Буровые реагенты	—	—	—	Карбонатно-глинистый состав плазмы. Облаковидные формы ориентированных глин

Таблица 8 (окончание)

Элементы морфологии почв	Техногенные воздействия	Диагностические признаки			
		не специфические		специфические	
		относительно устойчивые	относительно неустойчивые	относительно устойчивые	относительно неустойчивые
1	2	3	4	5	6
Новообразовани-	Нефть и нефте- продукты	Усиление сегрегации железа в микрооршштейны. Общее ожелезнение почв выше, чем в соответствующих фоновых аналогах		Увеличение размеров микрооршштейнов в 3-4 раза и их количества 2,5-3 раза против фона. Увеличение количества и размеров железистых пятен, примазок, потеков. Распределение морфологически выраженных форм железа по всему почвенному профилю (а не только в верхних горизонтах, как в местных фоновых аналогах)	Качественное изменение состава плотных стяжений — резкое увеличение органической составляющей
	Минерализованные воды			Очень резкое увеличение количества плотных конкреций в верхней части профиля (горизонты А1А2, А2) вплоть до формирования "конкреционных" горизонтов или прослоев. Увеличение размеров стяжений до 1,0-1,5 см. Большое количество диатомовых	Выщелы очень мелкозернистого кальцита в отдельных порах
	Буровые реагенты				Выщелы легкорастворимых солей (в частности, мелкозернистого кальцита) в порах и трещинах плазмы. Заполнение части пор смешанным карбонатно-силикатным материалом

рушения почв и гибели исходных природных ландшафтов (территории недавних аварий, новые буровые площадки и т.д.); б) первичного восстановления — стадии пионерных поселений и первичного восстановления почвенного покрова; в) активного восстановления — активное восстановление почвенного покрова при полном восстановлении травянистого покрова; г) временной активизации — стимуляции биопродуктивности напочвенного покрова, вплоть до гигантизма отдельных растений; д) стабилизации состояния, когда приобретенные признаки приходят в относительное равновесие с местной ландшафтно-геохимической обстановкой.

Литература

- Абрикосов И.Х. Нефтегазоносность Пермской области. М., 1963.
 Васильев Ю.К., Шнейзер Г.М. Применение прямых геохимических методов при поисках нефтяных и газовых месторождений. — В кн.: Повышение эффективности геохимических поисков на территории притрассовой полосы БАМ. Улан-Удэ, 1977, сб. 3.
 Герасимова М.И. Особенности морфологии лесных дерново-подзолистых почв южной тайги лесной зоны. — Вестн. МГУ. Сер. 5, География, 1976, № 5.
 Глазовская М.А., Лебедев Н.П., Геннадиев А.Н. Опыт анализа генетического профиля дерново-сильноподзолистой почвы на покровных суглинках. — В кн.: Геохимические и почвенные аспекты в изучении ландшафта. М.: Изд-во МГУ, 1974.
 Глазовская М.А. Способность окружающей среды к самоочищению. — Природа, 1979, № 3.
 Денисова Т.Б. Исследование воздействия горнодобывающей промышленности на окружающую среду. — Изв. АН СССР. Сер. геогр., 1976, № 6.
 Ильин Н.П. Роль фотохимических реакций в образовании почвенного гумуса: Автореф. дис. ... канд. биол. наук. М., 1975.
 Коротаев Н.Я. Почвы Пермской области. Пермь, 1962.
 Парфенова Е.И., Ярлова Е.А. Руководство к морфологическим исследованиям в почвоведении. М.: Наука, 1977.
 Ромашкевич А.И., Герасимова М.И., Турсина Т.В. Особенности элювиально-поверхностного процесса в разных зонах. — В кн.: Тез. докл. V делегат. съезда Всесоюз. о-ва почвоведов. Минск, 1977, вып. 4.
 Солнцева Н.П., Касимов Н.С. Геохимические барьеры в ландшафтах и техногенез. — В кн.: Охрана природы окултуренных ландшафтов. Тарту, 1979. (Тр. по охране природы; № 2).
 Таргульян В.О., Бирин А.Г., Куликов А.В. и др. Организация, состав и генезис дерново-палеоподзолистой почвы на покровных суглинках. М.: Наука, 1974.
 Тонконогов В.Д. О пространственном соотношении почв с различным типом осветленного элювиального горизонта в почвенном покрове лесной зоны ЕТС: — В кн.: Тез. докл. 3-го совещ. по структуре почв. покрова. М., 1976.
 Шоба С.А. Микроморфологические особенности почв. — В кн.: Генезис и экология почв Центрально-лесного государственного заповедника. М., 1979.

N.P. SOLNTSEVA

Impact of technogenic flows in the oil mining regions on the morphology of forest soils

Regularities in soil morphology changes due to technogenic flows of different composition (highly mineralized waste waters, oil) are discussed at macro-, meso- and microlevels. Diagnostic features of soil transformation due to oil mining have been revealed: a) specific for a certain class of geochemical impacts; b) typical for all transformed soils in the oil mining regions. The forms of soil morphological transformation proved to be of different stability in time. Actual ratios between stable and unstable morphological transformations in the soils affected by oil mining may serve as reliable criteria to show various stages of soil transformation processes.

Ю.К. ШУЙЦЕВ

Деградация и восстановление растительных сообществ тайги в сфере влияния нефтедобычи

Задача настоящей работы — изучение влияния нефтедобывающего производства на природные комплексы в зоне нефтедобычи и оценка силы воздействия на отдельные компоненты природной среды, в частности на растительный покров. Полевые работы проводились в период с 1976 по 1980 г. в двух нефтедобывающих районах — в Пермской и Тюменской областях. Изучались нарушения растительного покрова, связанные с механическими воздействиями, поверхностными и внутрипочвенными разливами нефти и минерализованных вод, а также влияние предприятий первичной обработки нефти.

Зональная растительность Пермской области представлена пихтово-еловыми лесами зеленомошной группы, для которых характерно господство ельников зеленомошников, черничников, кисличников, а также различных вариантов папоротниково-хвощевой ассоциации. В местах затрудненного стока и высокого стояния грунтовых вод распространены ельники долгомошники. Вырубки способствуют смене указанных группировок на разнотравные. Довольно четко в пределах области проявляется специфическая особенность растительности южной тайги — появление в древостое широколиственных пород, и в первую очередь липы. При этом формируются сложные кустарничково-разнотравные и широколиственные насаждения с елью и пихтой. В районе работ отмечались дерново-подзолистые почвы суглинистого механического состава. Непосредственным объектом исследований в пределах Пермской области были нарушенные при нефтедобыче производные березовые и березово-осиновые разнотравные леса с примесью пихты и ели.

В Тюменской области широко распространены верховые болота с характерным для указанных сообществ набором видов травяно-кустарничкового яруса и мохового покрова. На положительных формах рельефа доминируют сосняки зеленомошной группы. Здесь объектами изучения были нарушенные в связи с нефтедобычей коренные сосняки черничники и сосняки сфагновые. Почвы района подзолистые (разной степени оподзоленности) легкого механического состава.

Механические нарушения и последующее восстановление растительности

Как известно, на самых первых стадиях разработки месторождений растительный покров прежде всего подвергается механическому воздействию, при котором он либо полностью уничтожается, либо очень сильно нарушается. К этому приводят вырубка древостоя, последующая раскорчевка, уничтожение напочвенного покрова при планировке буровой площадки. В период строительно-буровых работ значительным изменениям подвержен почвенный покров, в котором укорачивается верхняя часть профиля, про-

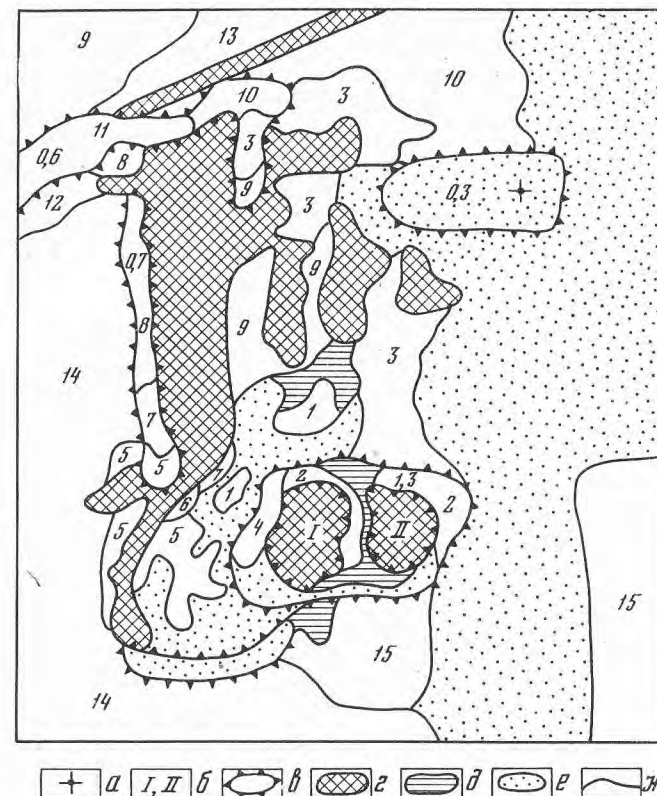


Рис. 1. Формирование растительного покрова на техногенной площадке нефтяной скважины в Тюменской области

а — скважина; б — нефтяные амбары; в — насыпь, высота в м; г — участки, затопленные водой; д — то же, покрытые нефтяной коркой; е — то же, не покрытые растительностью; ж — границы сообществ

Сообщества: 1 — ситниково-пушицевое; 2 — хвощевое; 3 — хвощово-злаковое; 4 — кипреевое; 5 — пушицево-кипреевое; 6 — вейниковое; 7 — осоково-злаковое; 8 — осоково-багульниковое; 9 — вейниково-пушицевое; 10 — пушицево-осоковое; 11 — пушицево-разнотравное; 12 — осоково-пушицевое; 13 — осоковое болото; 14 — сфагновое клюквенно-пушицевое болото; 15 — сосняк багульниковый

исходит его перестройка. Почвы уплотняются, ухудшаются их водно-физические свойства (аэрация и водопроницаемость). В почвенную массу включаются техногенные компоненты, ведущую роль среди которых играют силикатно-карбонатные буровые растворы. Наши исследования показали, что последующее формирование растительного покрова в пределах буровых площадок происходит в различных регионах страны неодинаково и для каждого из них отмечаются свои специфические черты. Установлено, что в Пермской области после проведения первичных мероприятий по подготовке скважин к бурению в период последующей их эксплуатации на насыпях и валах формируется разреженный растительный покров, где пионерными видами являются мать-мачеха (*Tussilago farfara* L.), осот полевой (*Sonchus arvensis* L.), василек шероховатый (*Centaurea*

scabiosa L.). Внешне они не несут каких-либо признаков угнетения, однако изменены некоторые их свойства. Так, у мать-мачехи, произрастающей в пределах техногенной площадки, листья и черешки стали более упругими и устойчивыми к механическим воздействиям, чем у растений того же вида, растущих вне буровой площадки. Наиболее вероятно, что это связано с обогащенностью субстрата кальцием, который поступил в почву с буровым раствором. В Западной Сибири пионерными видами являются иван-чай (*Chamaenerion angustifolium* (L.), Scop.) и хвощ луговой (*Equisetum pratense* Ehrh.), которые и служат основой растительных сообществ, формирующихся на насыпях в пределах буровых площадок.

На выровненных участках буровых площадок формируются сообщества с иным набором видов, нежели на валах. Так, для Пермской области наиболее характерны разнотравно-злаковые группировки, где широко представлены луговик дернистый (*Deschampsia caespitosa* (L.), Beauv.), мятлик луговой (*Poa pratensis* L.), подорожники, тысячелистник (*Achillea millefolium* L.), одуванчик аптечный (*Taraxacum officinale* Web. ex Wigg.). Степень проективного покрытия, как правило, не превышает 40–60%. Растения низкорослы, что, по-видимому, связано прежде всего с неблагоприятными условиями местообитания, где почвы нарушены, ухудшились их водно-физические свойства и присутствуют различные техногенные загрязнители.

В Тюменской области на выровненных участках буровых площадок формируется чаще всего пятнистый растительный покров, степень проективного покрытия которого колеблется от 10 до 60% (рис. 1). Доминируют хвощ луговой, пушица влагалищная (*Eriophorum vaginatum* L.), различные виды осок; встречаются частуха подорожниковая (*Alisma plantago-aquatica* L.), иван-чай и ряд злаков. Отмечаются небольшие пятна кукушкина льна. Наблюдается возобновление древесных пород — осины, березы, сосны, ивы, что практически не отмечалось нами в Пермской области.

Минерализованные воды и их влияние на растительность

Характер воздействия минерализованных вод мы проследим на примере одной из водных скважин, из которой минерализованные воды вследствие аварии поступили на земную поверхность. Участок, на котором расположена скважина, мало отличается по своему рельефу от прилегающих территорий. Этот участок имеет ровную не расчлененную эрозией поверхность. Ненарушенная лесная растительность на примыкающих к скважине участках представлена производными сообществами с преобладанием в древостое липы и березы; примесь хвойных пород колеблется от 30 до 40%, где представительство пихты и ели примерно одинаково. В подросте встречаются единичные экземпляры липы, березы, ели и пихты, высота которых не превышает 2 м. Травяной покров разреженный, проективное покрытие колеблется от 50 до 60%, отмечается господство папоротников (*Dryopteris Linneana* Christens, *Athyrium filix-femina* L.), сныти (*Aegopodium podagraria* L.) и кислицы (*Oxalis acetosella* L.). Довольно часто встречаются звездчатка ланцетовидная (*Stellaria holostea* L.), копытень европейский (*Asarum europaeum* L.). Такие виды, как хвощ лесной (*Equi-*

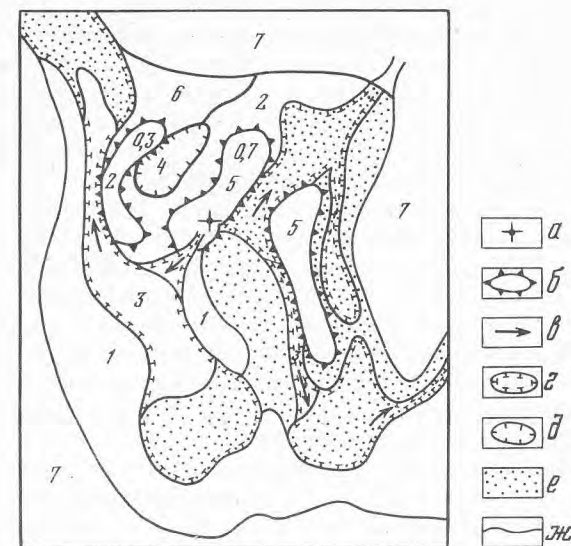


Рис. 2. Растительный покров в зоне аварийного разлива минерализованных вод на месторождении нефти в Пермской области

а — скважина; б — насыпь, высота насыпи в м; в — направление потоков воды; г — участки, залитые минерализованной водой; д — то же, залитые пресной водой; е — то же, без растительного покрова; ж — границы сообществ. Сообщества: 1 — злаковое разнотравье; 2 — мать-мачеха-злаковое; 3 — ситниковое; 4 — рогозово-частуховое; 5 — мать-мачеховое; 6 — березняк хвощево-мать-мачеховый; 7 — фоновые лесные сообщества (ненарушенные)

setum silvaticum L.), майник двулистный (*Maianthemum bifolium* (L.) F.W.), плаун годичный (*Lycopodium annotinum* L.) и ряд других — встречаются в очень незначительном количестве. Моховой покров отсутствует. Растительность просеки, идущей от скважины, представлена злаковым разнотравьем.

После аварии, происшедшей летом 1976 г., минерализованные Cl—Na—Ca-воды заполнили все имеющиеся микропонижения и несколькими потоками стали растекаться от скважины (рис. 2). Поступление указанных вод привело к высокой концентрации солей в почвенных горизонтах. На первых этапах соли в наибольших количествах концентрируются в верхних почвенных горизонтах, затем концентрация солей увеличивается и в более глубоких горизонтах. В дальнейшем они мигрируют с грунтовыми водами. В зоне максимальных солевых нагрузок возникают техногенные хлоридно-натриевые солончаки. Возникновению очень плотных солонцовых горизонтов, которые могут служить водоупорами, способствует присутствие в водах закисных соединений железа, выпадающих в зоне аэрации в форме гидроксидов [Солнцева, 1981].

В растительном покрове в связи с отсутствием площадного растекания вод их отрицательное влияние проявилось только в зоне потока на непосредственно залитых водой и прилегающих к водотокам участках. В зоне, прилегающей к ложбинам стока, отрицательное влияние минерализованных вод очень четко выражено на расстоянии до 5 м от потока. Вблизи от

залитых водой понижений полностью или частично отмирает напочвенный покров. У хвойных пород древостоя наблюдается пожелтение хвои и побегов текущего года, у лиственных — либо полное, либо частичное пожелтение листьев по краю листовой пластины. Наиболее сильно реагирует подрост, который во многих случаях погибает. В то же время в сообществах открытых пространств (злаковое разнотравье просеки), на кочках и других положительных формах микрорельефа признаки отрицательного влияния не выражены. Растительность сохраняет близкий к ненарушенному ценозу набор видов (луговик дернистый, мятлики, полевицы и другие злаки), видимые признаки угнетения отсутствуют. На заливаемых же участках просеки все злаки погибли и жизнеспособными оказались лишь некоторые экземпляры подорожника среднего (*Plantago media* L.) и лапчатки гусиной (*Potentilla anserina* L.). Устойчивым видом является также ситник сплюснутый (*Juncus compressus* Jacq.), который растет в понижениях, заполненных минерализованной водой, и не гибнет.

При исследовании влияния минерализованных вод на фоновую лесную растительность установлено, что в напочвенном покрове при поступлении указанных вод почти все растения погибают. Среди устойчивых видов можно назвать скерду сибирскую (*Crepis sibirica* L.), крапиву двудомную (*Urtica dioica* L.), чемерицу Лобеля (*Veratrum Lobelianum* Bernh.), но они несут на себе признаки угнетения, выразившиеся в уменьшении их размеров. В древостое молодые деревья повреждаются сильнее, чем старые и более зрелые, что связано с наличием более глубокой корневой системы у старых деревьев; это в какой-то степени ограничивает вредное влияние минерализованных вод. Возможны и другие причины более высокой устойчивости зрелых деревьев. Все указанные признаки были отмечены в период, когда авария еще не была устранена и воды постоянно поступали на земную поверхность.

Повторное обследование скважины летом 1977 г. показало, что ситуация ощутимо изменилась. Очень большие перемены произошли на просеке, где летом 1976 г. почти вся растительность погибла. На участках, где отмечалась полная гибель растений, наблюдается очень интенсивное возобновление (степень проективного покрытия до 80%) с господством подорожника среднего, лапчатки гусиной, лисохвоста равного (*Alopecurus aequalis* Sobol.) и горца птичьего (*Polygonum aviculare* L.). Встречаются кульбаба копелистная (*Leontodon hastilis* L.), одуванчик аптечный, ситник лягушечный (*Juncus bifonius* L.). В то же время, несмотря на хорошее восстановление, все указанные виды растений имеют небольшие размеры по сравнению с теми же видами, растущими в нормальных условиях. В русле ранее существовавшего потока сильно разросся ситник растопыренный. Нормальный рост имеют растения, растущие на микроповышениях, где господствуют луговик дернистый, мать-мачеха, осот и василек. В лесу на поврежденных участках за год практически никаких изменений не произошло. Однако при обследовании этих участков в 1980 г. было установлено, что и в лесу по истечении четырех лет восстановился напочвенный покров, близкий к фоновому.

Довольно сильно изменился растительный покров вблизи скважины, т.е. непосредственно на техногенной площадке. Здесь наблюдается следующая картина:

1) в микропонижениях, ранее залитых минерализованной водой, на участках, где растительность отсутствовала, формируется злаково-разнотравная группировка;

2) в микропонижениях, также ранее залитых минерализованными водами, но где уже имелся растительный покров (ситниковая ассоциация), отмечается перестройка сообщества в сторону злаково-ситниковой;

3) на техногенных солончаках в западинах, залитых в настоящее время пресной водой, сформировалось рогозово-частуховое сообщество;

4) на микроповышениях, ранее занятых мать-мачехово-злаковой группировкой, доминантами стали злаки;

5) на участках, где ранее наблюдались сообщества с абсолютным господством мать-мачехи, никаких изменений не отмечено;

6) на участках, где ранее отсутствовала какая-либо растительность и они не заливались минерализованными водами, формируется разнотравная группировка, где в доминанты вновь выходят злаки.

Таким образом, на основе имеющихся материалов можно сделать следующие предварительные выводы относительно воздействия минерализованных вод на растительность:

а) хлор-натриево-кальциевые воды отрицательно влияют почти на все виды растений, произрастающие в ненарушенных естественных фитоценозах, и их поступление на поверхность приводит к гибели основной массы растений в зоне разлива вод и вблизи нее;

б) внешними признаками, указывающими на угнетенность растений, являются частичное или полное пожелтение фотосинтезирующих органов древесных растений и уменьшение размеров растений травяного яруса;

в) наиболее быстро восстановление растительного покрова происходит на открытых участках путем заселения злаками и видами, относительно устойчивыми к данному загрязнителю; более длительный период необходим для восстановления напочвенного покрова лесных фитоценозов; при наличии избыточного увлажнения на техногенных солончаках формируются рогозовые ценозы;

г) признаками деградации лесных фитоценозов являются уменьшение количества видов растений травяного покрова по сравнению с фоновыми ценозами и значительное уменьшение проективного покрытия яруса.

Влияние на растительный покров разливов нефти

Иной характер имеют нарушения растительного покрова при воздействии на него излившейся нефти, что мы имеем возможность проследить на примере одной из скважин месторождения, расположенного в Пермской области, где в 1970 г. произошел разлив нефти. Поступившая на поверхность нефть и существенно-сульфатные минерализованные воды в смеси с нефтепродуктами разлились по поверхности, захватив при этом участок прилегающего к буровой площадке леса. Результатом разлива была полная гибель липняка снытьево-ясменникового. Изучение характера формирования растительного покрова на участках разлива и изменений, происшедших в почвенном покрове, было начато летом 1976 г.

Исследования почвенного покрова показали, что при указанном загряз-

нении в почвах, так же как и при разливах минерализованных вод, происходит хлоридно-натриевое засоление, нейтральное по щелочно-кислотным условиям. Хотя распределение солей в вертикальном профиле неоднородно, прослеживается следующая общая тенденция: до глубины 25 см преобладают сульфаты кальция и магния, ниже — карбонаты и хлориды магния и натрия и в самых нижних горизонтах — соли натрия (карбонаты и хлориды). Рассоление почв происходит довольно долго. Так, через 10 лет в зоне загрязнения произошло определенное рассоление лишь элювиальных горизонтов (до 40 см), но количество водорастворимых соединений все еще превышает фон в 2–5 раз. Высокая концентрация солей в корнеобитаемом слое сохраняется и через 20 лет [Солнцева, 1981], поэтому почвенно-грунтовые условия еще далеко не благоприятны для восстановления исходных естественных фитоценозов.

О характере восстановления растительного покрова в зоне загрязнения можно судить по рис. 3. Как видим, на месте погибшего фитоценоза сформировалось злаково-мать-мачеховое сообщество, которое расчленяется на три группировки. В первой, ближайшей к скважине и расположенной на расстоянии 15–20 м от нее, господствует мать-мачеха, второе место по обилию принадлежит иван-чаю. Значительно меньшее обилие имеют сныть, василек, луговик дернистый, тимopheевка луговая (*Phleum pratense* L.). Встречаются единичные экземпляры звездчатки ланцетовидной, ясенника душистого (*Asperula odorata* L.), герани лесной (*Geranium silvaticum* L.). На расстоянии 20–30 м от скважины роль мать-мачехи уменьшается, она становится содоминантом с луговиком дернистым, кипреем и васильком. Здесь также встречаются ясенник, звездчатка, подорожник средний, крапива и некоторые другие виды. Проективное покрытие как на первом, так и на втором участке очень высокое и колеблется от 80 до 100%. Переход между ними постепенный. На наиболее удаленных от скважины участках растительность представлена злаковой группировкой, где широко распространены луговик дернистый, тимopheевка, а также ряд видов полевиц и вейников. Проективное покрытие 100%, средняя высота растений 100–120 см. Возобновление древесных видов выражено слабо и представлено отдельными экземплярами березы пушистой.

Как видим, на участках погибшего леса возобновление растительности идет различными путями. По всей вероятности, это связано с характером загрязнения, так как установлено, что в зоне, наиболее близкой к скважине, загрязнение было преимущественно нефтяным, в то время как в более отдаленных зонах основным загрязнителем были сопутствующие минерализованные воды.

Внешний вид растений, формирующих сообщества указанных зон, далеко не одинаков. Так, в первой, наиболее близкой к скважине зоне явные признаки угнетения растений отмечаются на участках, где происходило скопление значительных количеств нефти, о чем можно судить по наличию корок нефти. На этих участках распространение растений диффузное, а отдельные виды растений (иван-чай, осот) имеют очень незначительные размеры. У этих же видов встречаются морфологические нарушения: искривление стеблей, скрученность листьев, наличие опухолей. В то же время у мать-мачехи отмечается некоторое увеличение листовых пластин. На участках, где, по нашему мнению, не происходило скопления больших

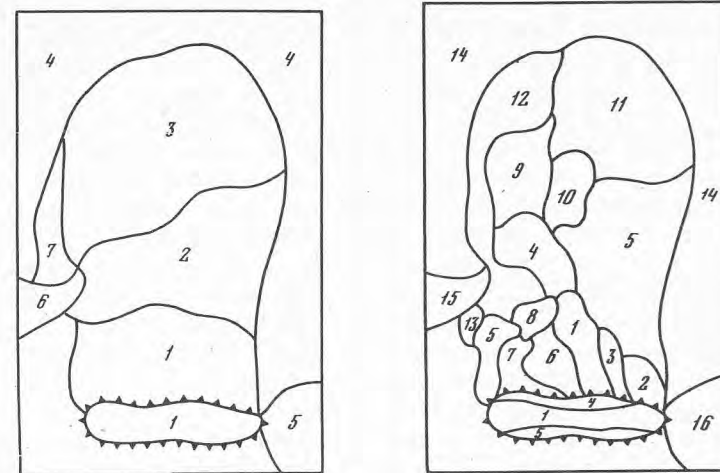


Рис. 3. Восстановление растительного покрова в зоне разлива нефти (Пермская область)

Сообщества: 1 — мать-мачеховое; 2 — мать-мачехово-кипreeвое; 3 — овсяничево-щучковое; 4 — осинник снытьево-разнотравный с участием березы, липы и ели в древостое; 5 — злаковое разнотравье; 6 — осинник разнотравный; 7 — кипreeвое. Остальные условные обозначения см. на рис. 1

Рис. 4. Перестройка растительности в зоне разлива нефти к 1980 г. (Пермская область)

Сообщества: 1 — мать-мачеховое; 2 — пырейное; 3 — полевицевое; 4 — кипreeво-разнотравное; 5 — злаково-разнотравное; 6 — васильково-дудниково; 7 — кипreeво-васильковое; 8 — дудниково-кипreeвое; 9 — овсяничево; 10 — щучковое; 11 — кипreeво-злаковое; 12 — кипreeвое; 13 — рогозник; 14 — осинник снытьево-разнотравный с участием березы, липы и ели в древостое; 15 — участки отмершего леса (осинник разнотравный); 16 — злаковое разнотравье. Остальные условные обозначения см. на рис. 1

количеств нефти, т.е. во второй и третьей зонах, явные признаки угнетения отсутствуют, лишь изредка на листьях появляются некрозы.

Несколько иной характер имеет растительность логов, по которым двигались потоки нефти и минерализованных вод. Рассматриваемые лога довольно значительно отличаются друг от друга по характеру увлажнения и растительному покрову. По характеру увлажнения мы условно дифференцировали лога на сухие и переувлажненные. Растительность сухих логов злаково-разнотравная. В верхних частях этих логов она имеет пятнистый характер; наблюдаются карликовость у растущих в этих условиях растений, а также некрозы и искривления побегов. При наличии на поверхности почвы нефтяной корки растительность отсутствует. На участках, где произошел смыв нефтепродуктов и режим увлажнения благоприятен для роста растений, отмечается гигантизм растений (мать-мачеха, осот, подорожник), которому вновь сопутствуют некрозы на листьях. Во влажных логах с избыточным увлажнением, где почвы постоянно перенасыщены влагой, основным признаком, характерным для большинства видов, произрастающих в указанных условиях, является увеличение размеров растений по сравнению с экземплярами, растущими в ненарушенных фоновых фитоценозах.

Обследование зоны восстановления, проведенное в 1980 г., показало, что за прошедший период произошли определенные изменения (рис. 4). Так, наблюдается дальнейшая дифференциация растительности на более компактные и однородные сообщества. В ближайшей к скважине зоне ранее относительно однородное мать-мачеховое сообщество расчленилось на шесть более мелких группировок, причем только в одном из них она осталась доминантом. Доминирует она и в сообществе, приуроченном к валу. В остальных случаях доминантами стали злаки, иван-чай, осот. В двух наиболее крупных зонах дифференциация была менее значительной (см. рис. 3, 4). Здесь на отдельных участках произошло увеличение роли иван-чая и злакового разнотравья, а также вновь отмечается вытеснение из сообществ предыдущего доминанта — мать-мачехи. В одном из понижений, которое заполнила пресная вода, возник рогозовый ценоз. Более заметным стало возобновление древесных пород.

Загрязнение нефтью происходит не только при поверхностных разливах, но и при авариях подземных коммуникаций, т.е. трубопроводов, по которым происходит перекачка нефти. Влияние внутрипочвенного загрязнения изучено нами также в одном из месторождений Пермской области. Поскольку дата произошедшей аварии трубопровода не установлена, нам остается лишь констатировать изменения, возникшие в растительном покрове, без рассмотрения динамики самого процесса. Данный тип загрязнения прослеживается на участке пересечения нефтепроводом лога. Верхняя и средняя части лога залесены, в нижней выположенной части, упирающейся в русло протекающего мимо ручья, древесной растительности нет. Перепад высот между участком прорыва нефтепровода и нижней частью лога 6 м, длина этого участка около 80 м. Очень четко наличие нефти в почве прослеживается в месте прорыва, где следы нефтепродуктов, и в частности легкие фракции нефти, фиксируются с глубины 0,5–0,6 м и в нижней части лога — на глубине 0,6–0,7 м. В верхних почвенных горизонтах (до 50 см) по всему логу явных признаков загрязнения нефтью нет, однако при проведении люминесцентного анализа практически все образцы почв, взятые в логу, независимо от глубины отбора и местонахождения разреза в логу, оказались в той или иной мере загрязненными нефтепродуктами. В растительном покрове от верхней части лога, где расположен источник загрязнения, видовой состав травяного покрова изменяется следующим образом: в верхней части лога, т.е. на участке источника загрязнения, располагается мать-мачехово-гравилатовое сообщество, ниже по логу оно сменяется папоротниково-разнотравным, еще ниже — снытьево-аконитовым. Все эти переходы прослеживаются в залесенной части лога до выровненного участка в его нижней части, где древесная растительность отсутствует. Растения на рассмотренном участке лога каких-либо признаков угнетения не имеют, однако довольно четко выражена тенденция к увеличению их размеров.

На выположенном участке лога в травяном покрове господствуют мать-мачеха, иван-чай, таволга, подорожник; все виды имеют крупные размеры. Ниже по логу, на участке, прилегающем к ручью, видовой состав меняется незначительно, но очень ярко проявляются признаки угнетения. В первую очередь это появление некрозов на листьях мать-мачехи, иван-чая и таволги. Довольно четко выражены уменьшение размеров расте-

Восстановление растительного покрова в зоне влияния нефтедобывающего производства (Пермская область)

Характер воздействия и режим увлажнения	Первичное сообщество, зафиксированное в 1976 г.	Характер изменений за период с 1976 по 1980 г.	Тенденции развития на будущее (предполагаемое сообщество)
Загрязнение минерализованными водами	Ситниковое	Появление злаковых содоминантов	Злаковое разнотравье
	Разнотравно-снытьевый осиново-березово-пихтовый лес	Восстановление напочвенного покрова	Восстановление исходного сообщества
	Без растительности	Формирование злаково-разнотравного ценоза	Злаковое разнотравье
Механические нарушения	Переувлажненные местообитания	Рогозово-чащучное	Без изменений
		Без растительности	Формирование рогозника
		Мать-мачеховое	Без изменений
	Местообитания с нормальным увлажнением	Мать-мачехово-злаковое	Смена доминанта
		Без растительности	Формирование разнотравно-злакового сообщества
Загрязнение нефтью	Мать-мачеховые, злаково-разнотравные, кипреевые	Злаково-разнотравные и кипреевые (с древесным подростом) сообщества	Злаковое разнотравье; после формирования древесного яруса — смешанный разнотравный или широколиственный лес

ний, искривление побегов и изменение окраски листовых пластин. Признаки угнетения были четко выражены на участках, где загрязняющие нефтепродукты появились на глубинах около 60–70 см, причем для их определения не требуется проведение каких-либо аналитических работ: отмечался интенсивный запах нефти, а нижние почвенные горизонты имели более темную серую окраску. Во всех других сообществах (за исключением фитоценозов верхней части лога) заметных признаков присутствия нефти не было, так как передвижение нефти происходило в нижних горизонтах почвы, не достигнутых нами при заложении разрезов.

Повторное посещение лога в 1980 г., после устранения прорыва нефтепровода, показало, что в общем характер растительности не изменился, но растения уже не носили на себе каких-либо признаков угнетения: раз-

меры их не выходили за пределы нормы, некрозы отсутствовали. Не наблюдалось и других морфологических изменений.

Таким образом, изучение динамики восстановления растительного покрова, нарушенного механическим путем или путем поступления загрязнителей (нефть, минерализованные воды), показывает наличие общей тенденции для всех указанных случаев, заключающейся в формировании на всех участках по прошествии определенного периода времени (от 3 до 10 лет) травянистых фитоценозов с господством злаков. В западинах и техногенных солончаках, где возникает постоянное избыточное увлажнение пресными водами, формируются рогушники (см. таблицу).

Влияние на растения производства по первичной переработке нефти

Для месторождений Пермской области влияние производств, непосредственно связанных с нефтедобычей, довольно значительно, и растительность, как и другие компоненты природной среды, несет на себе отпечатки этого влияния. Один из источников загрязнения — насосные станции, занимающиеся перекачкой нефти. Вблизи них располагаются факелы сжигания попутного газа. Станции также являются источником загрязнения нефтепродуктами вод. Влияние факелов и сточных вод имеет различный характер. У факелов более значительная сфера воздействия, поскольку газообразные загрязнители переносятся на большие территории и имеют площадное распределение. Сточные воды имеют более ограниченную зону влияния, расположенную вдоль водотоков, и линейный характер распространения, правда, и в этом случае с водой нефтепродукты могут переноситься на значительные расстояния. Влияние факелов проявляется в их тепловом воздействии: на многолетних растениях, растущих вблизи них, очень четко выражены ожоги. Расстояние, на котором имеет место тепловой эффект, не превышает 60–70 м. В пределах этого же расстояния фоновый растительный покров нарушен и в нем значительное место занимают такие виды, как иван-чай и малина. На участках, более удаленных от факелов (200–300 м), признаки их воздействия на растения иные, причем проявляются они в основном у древесных видов. В первую очередь это повреждения листовых пластин (наличие мелких отверстий, некоторое изменение окраски, деформация листьев, некрозы), у хвойных пород — значительная укороченность побегов и скрученность хвои. У древесных растений, произрастающих на открытых пространствах, четко выражены ажурность крон, искривление стволов и ветвей. Рост растений ограничен. Указанные признаки проявляются у всех древесных пород (ель, пихта, береза, липа, осина) и ряда кустарниковых видов. Однако встречаются древесные породы (вяз шершавый), у которых практически отсутствуют какие-либо признаки угнетения или отрицательного влияния газообразных загрязнителей.

Представленный материал показывает многообразие изменений, возникающих в растительном покрове при воздействии на него нефтедобывающего производства. Как видим, характер ответной реакции растений и фитоценозов зависит от условий местообитания, вида загрязнителя и путей загрязнения. Однако некоторые общие черты проявляются довольно четко:

1. При поверхностных разливах нефти практически вся растительность гибнет и восстановление ее начинается через два-три года через сообщества, набор видов которых зависит от зонального типа растительности. Растениями-пионерами в Пермской области (подзона южной тайги) являются мать-мачеха, осот полевой, василек шероховатый, иван-чай, в Тюменской области (средняя тайга) — иван-чай, пушица влагалищная и хвощ луговой.

2. Внешними признаками, указывающими на влияние нефти и продуктов ее распада на растения, можно считать изменение анатомо-морфологических показателей растений, появление некрозов, опухолей и изменение окраски; наличие указанных изменений отдельных растений можно использовать в качестве индицирующих внутрипочвенное загрязнение нефтью.

3. При внутрипочвенном загрязнении нефтью видовой состав травяного покрова меняется аналогично тому, как это происходит при поверхностном загрязнении.

4. Влияние продуктов сжигания попутного газа наиболее четко прослеживается на древесных породах и кустарниках. Отмечаемые при этом признаки — появление некрозов, изменение окраски листьев, наличие на них мелких отверстий, у хвойных пород — скрученность хвои и укороченность побегов, в некоторых случаях — ажурность крон.

Литература

Солнцева Н.П. Геохимическая трансформация почв южной тайги под воздействием техногенных потоков (на примере нефтедобычи): Автореф. дис. ... канд. геогр. наук. М., 1981. 22 с.

Yu.K. SHUITSEV

Degradation and recovery of the taiga phytocoenoses in the areas affected by oil mining

The author presents the results of his research in the oil mining regions of the Perm' and Tyumen' districts. The basic regularities in the recovery of the disturbed vegetation cover have been revealed as function of the vegetation in adjacent areas, soil- hydrological conditions, type of technogenic impact, type of the pollutant and ways it comes to the landscape.

When the vegetation cover is completely destroyed mechanically, associations dominated by coltsfoot, fireweed and herbs develop first. They are later replaced by herb coenoses. When the vegetation cover is destroyed by the mineralized waste waters or oil, which kill the bulk of plants, the recovery is chiefly owing to forbs. Oil pollution also results in the anatomic-morphological transformations in plants, which become dwarfish or gigantic, develop tumours and necroses and change their colour.

Н.П. СОЛНЦЕВА, Е.М. НИКИФОРОВА

Влияние техногенных потоков на геохимию лесных почв (в связи с угледобычей)

Угледобывающая промышленность оказывает сильное воздействие на окружающую среду. Согласно некоторым оценкам [Денисова, 1976; Овчинников, Федосеева, 1972], площади, занятые отвалами вскрышных пород и карьерами, составляют на территории СССР несколько миллионов гектаров. Если учесть, что активное загрязнение атмосферы от горящих отвалов (при их самовозгорании) наблюдается на расстоянии до 2,5 км, а максимальная дальность обнаружения ряда загрязнителей, например тяжелых металлов, в почвах составляет 30–50 км [Моторина, Овчинников, 1975], понятно, насколько актуальна для горнодобывающих районов проблема охраны среды не только от механического разрушения, но и от загрязнения токсичными компонентами.

До настоящего времени основное внимание исследователей было сосредоточено главным образом на изучении самих отвалов вскрышных пород: их гранулометрического и минералогического составов, агрохимических свойств, степени фитотоксичности для оценки возможности и эффективности биологической рекультивации. Наиболее полно эти вопросы рассмотрены для Донецкого, Подмосковного и Кузнецкого угольных бассейнов [Почвообразование в техногенных ландшафтах, 1979]. Для Предуралья подобные работы только начаты [Махонина, Чибрик, 1978].

Не подвергая сомнению необходимость и важность изучения свойств отвалов пород, представляется, однако, что проблеме охраны среды в районах добычи полезных ископаемых нельзя свести только к вопросам рекультивации самих отвалов. Анализ аэрофотоматериалов, аэровоздушные наблюдения и полевые ландшафтно-геохимические исследования в районах угледобычи (Кизеловский и Подмосковный угольные бассейны) показывают, что площади с морфологически видимыми повреждениями ландшафтов (не считая территорий со скрытыми химическими изменениями, выявляемыми аналитически) часто во много раз превышают площади самих отвалов. Это определяет необходимость комплексного изучения особенностей геохимических изменений природных объектов (почв, вод, растительности, ландшафтов в целом), испытывающих в районах угледобычи воздействия техногенных (ТГ) факторов, особенно попадающих в сферу влияния ТГ потоков от отвалов вскрышных пород.

В районах добычи полезных ископаемых (и угледобычи в том числе) выделяются несколько основных типов ТГ потоков. Одним из критериев для группировки ТГ воздействий может служить характер (фаза) поступления вещества в природную среду. Так, по аналогии с принятыми при геохимических поисках полезных ископаемых определениями можно выделить: а) литохимические потоки — поступление веществ в твердой фазе; б) гидрохимические потоки — поступление веществ в жидкой фазе; в) атмосферические потоки — поступление веществ в газообразном виде.

Выведенные на дневную поверхность при добыче полезных ископаемых

вещества, оказываясь в зоне гипергенеза, претерпевают существенные изменения. В результате в природные миграционные потоки вещества поступают как в "первичных", так и "вторичных" формах. При этом геохимическая агрессивность и миграционная активность вторичных соединений может существенно отличаться от первичных, техногенно-обусловленных соединений. В зависимости от характера поступления веществ в природные системы следует выделять "первичные" и вторичные" ТГ потоки.

Вещества, поступающие в ландшафты в процессе эксплуатации месторождения и соответствующие техническому этапу трансформации территории, формируют первичные ТГ потоки загрязнителей. К таким первичным потокам в районах угледобычи относятся (при закрытом способе добычи) вскрышные и вмещающие породы, представляющие первичные ТГ литохимические потоки, шахтные воды — первичные ТГ гидрохимические потоки; дымы, пыль, аэрозоли от технических объектов (энергоотопительных систем, обогатительных и коксохимических предприятий) — первичные ТГ атмосферические потоки.

В местах аккумуляции этих потоков формируются первичные ореолы загрязнения. Их расположение в пространстве, морфология и структура обуславливаются техническими и ландшафтно-геохимическими факторами. При этом наиболее характерный морфологический облик угледобывающих территорий создают первичные ТГ литохимические ореолы — все виды отвалов вскрышных пород.

Свойства ТГ потоков и связанных с ними ореолов загрязнения не остаются постоянными во времени: происходит направленная геологическая трансформация поступающих компонентов-загрязнителей в зависимости от соотношений их состава и геохимии вмещающих их природных систем.

При этом вскрышные породы, составляющие грунтосмеси отвалов (т.е. первичные литохимические ореолы и потоки загрязнения), являются причиной и источником формирования вторичных ТГ потоков загрязнителей: атмо-, лито- и гидрохимических. Механизм формирования и площади воздействия этих вторичных ТГ потоков, состав и миграционная активность составляющих их компонентов достаточно различны.

Наиболее широкие вторичные ореолы загрязнения соответствуют вторичным атмогеохимическим потокам, формирующимся при горении отвалов, когда в воздух поступают соединения серы, оксиды углерода, канцерогенные углеводороды, сажа и другие токсичные компоненты.

Вторичные лито- и гидрохимические ТГ потоки загрязнителей связаны с фильтрационными (подотвальными) водами и площадным поверхностным стоком с отвалов вскрышных пород. При этом дождевые и талые воды, стекая по поверхности отвалов и фильтруясь через их толщу, обогащаются геохимически активными продуктами выветривания пород, входящих в состав грунтосмесей, а также механическими взвесями и коллоидами. Происходит трансформация слабоминерализованных атмосферных вод в химически активные многокомпонентные вторичные ТГ потоки.

Многокомпонентность вторичных ТГ потоков представляет большие трудности при их изучении, так как каждая их составляющая (растворенные соединения, коллоиды, взвеси) обладает не только специфическим

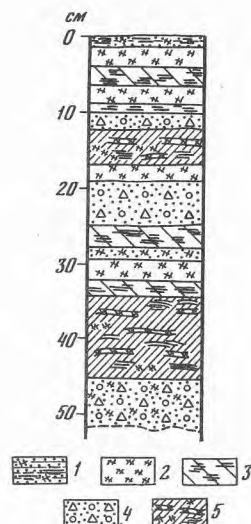


Рис. 1. Морфология вертикального профиля техногенного наноса. Кизеловский угольный бассейн (обобщенный профиль по 20 разрезам)

1 — песчано-охристый материал с включением углистых частиц; 2 — существенно охристый пылеватый материал (конечные продукты окисления сульфидов, выпадающие из растворов); 3 — углистый материал; 4 — песчаный и песчано-гравийный материал; 5 — частое и невыдержанное по простиранию переслаивание черно-сизого преимущественно углистого материала, ярко-охристого (часто опесчаненного) и зеленовато-желтоватого существенно оглеенного материала

Рис. 2. Микрозональность техногенного наноса

а, в — ожеженный песчаный материал с большим количеством углистых частиц; б — охристый и оглеенный опесчаненный материал с редкими углистыми включениями; г — мелкодревянистый материал с крупными углистыми частицами

составом, но и особой миграционной активностью — собственными параметрами миграции и аккумуляции входящих в их состав соединений.

Еще одной трудностью при их изучении является непостоянство состава и концентраций соединений, составляющих ТГ потоки. Это обусловлено главным образом характером поступления осадков — свойствами потокообразующей среды. Особенно большую роль играет этот фактор в гумидных районах. От характера выпадения осадков зависит дальность разноса веществ-загрязнителей, т.е. площади вторичных ТГ ореолов, от количества переносимых веществ — мощность и контрастность этих ТГ ореолов.

Изменчивость количества поступающих на дневную поверхность осадков (различная интенсивность по сезонам и соответственно разная интенсивность и динамика схода талых вод) во многом определяет своеобразие геохимической "зональности" вторичных ТГ ореолов. Это относится как

к растворимым компонентам ТГ потоков (собственно гидрохимической составляющей ТГ потока), так и к механическим взвешам (литохимической составляющей ТГ потока).

Вещества, поступающие в природные системы с вторичными лито- и гидрохимическими ТГ потоками, образуют специфические наносы на поверхности почв — "ТГ делювий", состав, мощность и морфология которого определяются многими факторами, расстоянием от источника поступления, мощностью отложившего его потока, литологией и геохимией составляющих грунтосмеси пород и их продуктов выветривания и т.д.

Для территории Кизеловского каменноугольного бассейна мощность ТГ делювия меняется от нескольких сантиметров до полуметра. Его состав и строение показаны на рис. 1, 2.

Таким образом, сфера воздействия вторичных ТГ потоков — вторичные ореолы загрязнения — достаточно четко проявляется морфологически по состоянию почвенного и растительного покровов, что хорошо отражается на аэроснимках и облегчает картографирование деградированных территорий. В связи с тем, что новообразованные наносы являются продуктами отложения вторичных ТГ потоков, изучение ТГ делювия дает четкое представление о составе и свойствах этих потоков.

Генетическая связь вторичных ТГ потоков с первичными ТГ ореолами (отвалами вскрышных пород) определяет необходимость их совместного изучения.

Проведенные исследования включали следующие основные задачи:

1) геохимический анализ отвалов вскрышных пород — первичных ТГ потоков и связанной с этим "зональности" вторичных ореолов загрязнения;

2) изучение геохимических свойств вторичных (лито- и гидрохимических) ТГ потоков, связанных с разновозрастными отвалами вмещающих пород;

3) выявление пространственной изменчивости геохимии вторичных ТГ потоков и связанной с этим "зональности", вторичных ореолов загрязнения;

4) изучение особенностей геохимической трансформации лесных почв, попадающих в сферу влияния ТГ потоков от отвалов разного времени отсыпки;

5) выявление пространственной изменчивости геохимических свойств почв в зависимости от положения почвенного тела относительно источника загрязнения.

Методика исследований¹ включала: 1) детальное изучение материала отвалов вскрышных пород (послойное опробование грунтосмесей и опро-

¹Анализировался макро- и микрокомпонентный состав грунтосмесей отвалов, ТГ делювия и почв (фоновых и загрязненных). Общие анализы (рН, органический углерод, поглощенные катионы) выполнены в химической лаборатории Пермской станции химизации сельского хозяйства; водная вытяжка получена в лаборатории института "Гипроторфразведка". Приблизительно-количественное определение содержания микроэлементов в почвах и грунтосмесях произведено в Спектральной лаборатории Геохимической экспедиции ЦГФТ на спектрографе ДФС-13 с инструментальной расфировкой. Содержание микроэлементов в водах техногенных потоков и вытяжке Тамма определялось на атомно-абсорбционном спектрофотометре Сатурн-1 в Ландшафтно-геохимической лаборатории кафедры геохимии ландшафтов МГУ.

бование в нескольких повторностях индивидуальных литологических разностей пород, входящих в состав горной массы отвалов); 2) изучение пространственной дифференциации вертикального профиля почв и ТГ делювия в пределах вторичных ТГ ореолов (на разном расстоянии от источников воздействия).

В качестве эталонов сравнения рассматривались геохимические особенности местных незагрязненных (фоновых) почв, развитых под пологом коренного елово-пихтового леса в аналогичных ландшафтно-геохимических позициях.

Природные условия района исследований и химический состав ненарушенных лесных почв — эталонных сравнения

Кизеловский каменноугольный бассейн приурочен к западному склону Уральского хребта (зона краевого прогиба). Геологическое строение бассейна и условия угленакопления достаточно хорошо изучены [Пахомов, 1957].

Рельеф холмисто-увалистый с абсолютными отметками около 360 м, осложнен ложбинно-балочной сетью, привязанной к местной речной сети. Почвообразующими породами служат темно-бурые, местами желто-бурые суглинки, часто с большим количеством грубообломочного материала. Мощность их в среднем составляет 1,5–2,0 м, но она достаточно сильно варьирует по элементам рельефа.

Основной растительный фон территории представлен южнотаяжными пихтово-еловыми лесами с примесью мелколиственных пород. Широко развиты вторичные пихтово-березовые и елово-мелколиственные леса со злаково-разнотравным травостоем и большой примесью в нем широколиственных.

Согласно физико-географическому районированию [Чазов, Девяткова, 1975], территория исследований входит в Волжско-Камскую ландшафтную подпровинцию южной тайги. Основную роль в ее почвенном покрове играют средне- и тяжелосуглинистые дерново-подзолистые почвы (почему они и приняты в качестве эталонов сравнения) преимущественно средней степени оподзоливания. Их морфологические и химические особенности рассматривались Н.Я. Коротаяевым [1962], В.П. Черновым [1965], В.В. Тюлиным [1973]. Почвы кислые, повышено гумусированные; содержание гумуса в горизонте А1 составляет 3,8–5,4%, реакция среды колеблется в пределах 4,2–5,6. Незагрязненные дерново-подзолистые почвы Кизеловского бассейна также характеризуются кислой реакцией среды (рН водных суспензий в верхних горизонтах — 3,0), обусловленной поглощенным алюминием. Содержание гумуса в верхней части профиля (до глубины 18 см) — 3,2–5,3%. Валовые содержания железа в почве изменяются от 3,5 до 4,8%, марганца — от 0,040 до 0,162%, алюминия — от 9 до 14%. Содержание водорастворимых соединений в почвах (переходящих в водную вытяжку) не превышает сотых — одной десятой долей процента.

Содержание и особенности распределения микроэлементов в почвах Предуралья практически не изучались. Имеются лишь материалы по микрокомпонентному составу некоторых почвообразующих пород [Кропачев,

Таблица 1. Коэффициенты накопления микроэлементов в элювиально-делювиальных отложениях Предуралья (по отношению к коренным породам) [Чазов, Кропачев, 1959]

Элементы	Ti	Zn	Ba	Cu	V	Mn	Ni	Pb	Sr
K_n	7,5	6,0	6,0	4,2	3,5	2,7	2,5	1,2	0,4

1958; 1959; Чазов, Кропачев, 1959]. Коэффициенты накопления (K_n) для ряда микроэлементов в почвообразующих породах Предуралья показаны в табл. 1.

Из табл. 1 видно, что в процессе континентального литогенеза элювиально-делювиальные отложения Предуралья оказываются обогащенными титаном, цинком, барием, медью, ванадием, марганцем, никелем, свинцом и обеднены стронцием. Миграционная способность элементов увеличивается от титана к стронцию.

Изучение микроэлементного состава незагрязненных (фоновых) дерново-подзолистых среднесуглинистых почв на территории Кизеловского каменноугольного бассейна (табл. 2) показало, что эти почвы имеют определенные региональные особенности. Характерно заметное повышение в них (относительно мирового кларка почв) [Войткевич и др., 1977] содержания меди, цинка, кобальта и серебра; заметно выражена недостаточность бария, олова, бериллия, стронция. Иттербий, висмут, германий оказались ниже чувствительности анализа. Такие элементы, как никель, свинец, ванадий, молибден, марганец, титан и цирконий, содержатся в концентрациях, близких к кларковым (КК* и КР* от 1,0 до 1,4). Таким образом, почвы района исследований характеризуются иным (относительно мирового кларка для почв) микроэлементным составом.

Из табл. 2 видно также, что этот состав достаточно однороден. Концентрации микроэлементов для разных участков территории исследований довольно близки. Основная дифференциация микроэлементов по отдельным генетическим горизонтам вертикального профиля фоновых почв обусловлена биогенным накоплением ряда элементов (Mn, Cu, в меньшей степени Co, V, Pb) в верхних горизонтах почв.

Трансформация свойств дерново-подзолистых почв в сфере влияния отвалов пород

В соответствии с имеющимся фактическим материалом рассматриваются особенности геохимических изменений свойств почв под влиянием отвалов вскрышных пород и связанных с ними вторичных ТГ потоков — основных источников загрязнения в районах угледобычи.

Существующая зависимость "свойства ТГ потоков — формы местной трансформации природных систем" делает первоочередным геохимический анализ ТГ потоков.

*КК и КР — кларки концентрации и кларки рассеяния [по А.И. Перельману, 1975]; КК показывает, во сколько раз содержание того или иного элемента превышает кларк этого элемента; КР — во сколько раз меньше кларка.

Таблица 2. Среднее содержание микроэлементов в фоновых дерново-подзолистых почвах Пермского Прикамья, $n \cdot 10^{-3} \%$

№ разреза	Количество определений	Cu	Zn	Ni	Pb	Co	Cr	V	Mo	Ag	Mn
Гр-527	7	4,0	10,9	4,0	1,3	2,9	12,4	10,6	0,23	Не обн.	73
Жн-518	6	3,5	12,0	4,4	1,5	2,3	12,3	11,0	0,22	0,002	77
40203	8	3,4	12,0	5,0	1,3	2,6	11,7	9,7	0,15	0,002	75
38113	12	3,8	10,9	4,2	1,6	2,4	11,9	9,8	0,17	0,002	62
Среднее в почвах (местный кларк)	33	3,7	11,4	4,4	1,4	2,5	12,1	10,2	0,20	0,002	70
Мировой кларк почв [Войткевич и др., 1977]	—	2	5	4	1	1	20	10	0,2	0,001	85
КР*	—	—	—	—	—	—	1,6	—	—	—	1,2
КК*	—	1,8	2,3	1,1	1,4	2,5	—	1,0	1,0	2,0	—

*Рассчитано по отношению к мировому кларку почв.

Таблица 3. Основные параметры отвалов эталонных шахт Кизеловского бассейна

Название шахты	Тип отвала, высота (h), крутизна склона (K)	Сроки эксплуатации, годы	Время с момента закрытия шахты, годы
"Григорий"	Плоские отвалы, $h = 4,6$ м, $K =$ до 20°	1876–1924	50
"Жонес"	Плоскоконусовидные отвалы, $h = 3–5$ м, $K =$ до 30°	1940–1952	30
№ 40	Частично разобранный террикон, $h = 6–12$ м, $K = 20–30^\circ$	1942–1957	20
№ 38	Террикон, $h = 35–40$ м, $K = 40–45^\circ$ Два плоских отвала, $h = 10–15$ м, $K = 25^\circ$	1940–1972	5

Состав и свойства отвалов вскрышных пород Кизеловского бассейна. Отвалы — первичные источники загрязнения — образованы обломками пород угленосной толщи визейского яруса нижнего карбона. Основная масса отвалов состоит из сильно пиритизированных обломков алевролитов, аргиллитов и песчаников с включениями и прослоями каменного угля. Наибольшим распространением в отвалах пользуются разновидности очень прочных мелкозернистых песчаников с преимущественным кремнистым цементом. Несколько меньшее распространение в составе грунтосмесей отвалов имеют аргиллиты. Встречаются обломки известняков, доломитов и их разновидностей. Во фракциях мелкозема преобладают углистые ар-

W	Ba	Sn	Sc	Ti	Li	Be	Nb	Y	Yb	Zr	Sr	Ge
0,4	27	0,3	0,7	671	2,1	Не обн.	1,2	1,9	Не обн.	31	2,1	Не обн.
0,3	23	0,3	1,2	581	2,2	0,1	1,0	2,2	"	30	1,7	"
0,2	12	0,3	0,9	650	1,9	0,1	1,1	0,7	"	31	1,2	0,01
0,1	14	0,3	1,0	733	1,8	0,07	1,2	2,2	"	39	0,8	Не обн.
0,2	18	0,3	0,9	670	2,0	0,08	1,2	1,9	—	34	1,5	0,0003
—	50	1	—	460	3	0,6	—	—	—	30	30	—
—	2,8	3,3	—	—	1,5	7,5	—	—	—	—	20,0	—
—	—	—	—	1,2	—	—	—	—	—	1,1	—	—

гиллиты, которые связаны постепенными переходами с каменным углем. Среднее содержание обломков углей в отвалах колеблется от 5 до 20%. Кизеловские угли принадлежат к группе каменных гумусовых и представляют собой плотные матовые и полуматовые споровые дюрены [Геология месторождений угля и горючих сланцев СССР, 1977]. В их петрографическом составе преобладают наиболее стойкие витринит и фюзенит, что определяет относительную устойчивость органической массы углей к выветриванию. Угли Кизеловского месторождения относятся к высокосернистым. Среднее содержание в них серы составляет 5,5–6,0%, увеличиваясь в отдельных случаях до 8% [там же]. Угли высокозольные; преобладающая зольность 20,0–25,0%, в отдельных случаях — до 30% [Миронов, 1966].

Характеристика основных параметров отвалов пород Кизеловского месторождения на примере четырех шахт ("Григорий", "Жонес" — Луньевская группа; № 38 и 40 — Коспашская группа) дана в табл. 3. Из этой таблицы видно, что технический этап воздействия производства на среду на рассматриваемых ключевых участках осуществлялся в течение 15–30 лет и окончился соответственно около 50, 30, 20 и 5 лет назад относительно момента исследований. Представленные объекты рассматривались в качестве техногенных эталонов возрастного ряда, что позволило охарактеризовать особенности изменений вещественного состава вскрышных пород и сопряженных с ними вторичных ТГ потоков как в пространстве, так и во времени.

Некоторые химические свойства пород отвалов приводятся в табл. 4. Вскрышные породы и грунтосмеси отвалов имеют очень кислую реакцию (рН водной суспензии колеблется в пределах 1,6–3,3). В зависимости от длительности посттехногенного этапа трансформации отвала, т.е. продол-

Таблица 4. Некоторые химические свойства вскрышных пород отвалов и терриконов Кизеловского бассейна

Название шахты, время с момента окончания отсыпки, № разреза (р.)	Характеристика грунтосмесей	Глубина слоя, см	pH водн.
1	2	3	4
"Григорий", 50 лет, р. 528	Интенсивно выветрелый углефицированный материал	Мелкая крошка с обломками пород	0-10
	Обломки пород с включениями пирита	С поверхности	3,32
	Крошка пород с углем	30-40	2,94
	Спрессованная толща с пылеватым заполнителем	90-100	3,03
	Углистые аргиллиты и обломки углей	180-200	2,19
"Жонес", 30 лет, р. 519	Углефицированная пыль с включениями обломков пород	0-15	1,56
	Тот же материал с обломками песчаника с выцветами серы и недоокисленным пиритом	50-60	2,84
	Мелкая крошка угля и углефицированных пород с желваками пирита	220-250	2,51
	Ожелезненный песок с угольной крошкой	280-320	2,28
	Охристый подотвальный суглинок с рудяками и прослоями пирита	330-350	2,15
р. 510	Обломки углефицированных пород с выцветами серы и недоокисленным пиритом	С поверхности	2,03
р. 520	Дернина с включениями древесных остатков и углистых частиц	0-15	2,36
№ 40, 20 лет, р. 504	Углистые аргиллиты и алевролиты с выцветами серы и включениями пирита	15-30	3,04
	Мелкозернистый песок с включениями угля	310-320	2,00
р. 501 (подножие отвала)	Аргиллиты и сланцы слабовыветрелые с включениями пирита	0-20	2,36
№ 32, 10 лет, р. 529	Углистые аргиллиты почти не выветрелые с прослоями угля "матовика"	С поверхности	2,08
9-я делянка, 5 лет, р. 601			2,02

C, %	Зольность, %	S вал, %	Сухой остаток водной вытяжки, %	Типы засоления
5	6	7	8	9
18,91	16,61	4,81	0,028	Не засолены
14,56	17,18	5,48	0,014	"
18,20	16,93	6,23	0,041	"
18,11	20,42	5,94	0,456	Сульфатное
18,46	22,15	6,86	2,380	"
12,18	18,16	5,15	0,041	Не засолены
12,41	18,41	5,72	0,894	Хлоридно-сульфатное
11,89	21,12	6,46	1,512	"
4,14	6,83	4,25	1,140	"
8,16	7,41	6,89	2,468	"
14,10	18,24	5,43	0,045	Не засолены
6,12	8,06	5,54	1,361	Хлоридно-сульфатное
15,21	23,18	6,12	2,132	"
4,46	6,58	4,51	1,294	Хлоридно-сульфатное
15,22	21,15	5,21	1,782	"
16,21	35,81	5,54	2,128	"

Таблица 5. Среднее содержание микроэлементов в вскрышных породах и грунто-
смесях разновозрастных отвалов шахт Кизеловского бассейна, $\bar{n} \cdot 10^{-3}\%$

Назва- ние шахты	Возраст отвалов, годы	Число опреде- лений	Cu	Zn	Pb	Ni	Co	Cr	V	Mo	Ag	Mn	W
"Григо- рий"	50	6	1,5	5,0	1,8	1,1	0,4	6,0	7,2	0,13	0,003	9,5	Не обн.
"Жонес"	30	6	1,7	4,0	1,9	1,2	0,3	6,3	5,5	0,14	0,004	7,7	0,25
№ 40	20	14	2,6	4,2	1,5	1,9	0,9	7,1	7,0	0,09	0,003	5,4	0,20
№ 38	5	35	2,4	6,2	1,5	1,7	0,9	7,5	6,7	0,07	0,005	23,3	0,30

жительности геохимической переработки слагающих отвал грунтосмесей, происходят закономерные изменения основных геохимических характеристик этих образований: с увеличением возраста отвалов уменьшается кислотность верхних (наиболее выщелоченных) слоев. Так, поверхностные слои (до 50 см) старых отвалов шахт "Григорий" и "Жонес" имеют значения pH водных суспензий, равные 2,8–3,3, в то время как поверхностные слои отвалов более поздней отсыпки (шахта № 38) характеризуются значительно более высокой кислотностью: pH в этих случаях обычно не превышает 2,0. Вместе с тем нижние слои отвалов даже старых шахт сохраняют высокую кислотность; pH около 2,0.

Как видно из табл. 4, грунтосмеси отвалов характеризуются высоким содержанием углерода угольного происхождения (12–20%). При этом для грунтосмесей старых отвалов характерны более высокие его содержания (18–20%). Интенсивная пиритизация вскрышных пород определяет и высокие содержания в них серы, валовые количества которой изменчивы в разных частях отвалов; но в среднем составляют около 5,5% (от 4,5 до 6,9–8,0%).

Окисление пирита и других сульфидов, характерных для вскрышных пород и углей Кизеловского месторождения, приводит к образованию свободной серной кислоты и сульфатов металлов, главным образом железа. Воздействие этих очень агрессивных продуктов окисления на породы отвалов вызывает специфический сернокислый гидролиз первичных минералов. В результате в грунтосмесях отвалов накапливаются довольно большие количества подвижных соединений, среди которых значительную роль играют водорастворимые. Количество водорастворимых солей (по величине сухого остатка) может достигать 2% и более (см. табл. 4).

На первых этапах гипергенной трансформации пород отвалов состав водорастворимых соединений в них обычно хлоридно-сульфатный (см. табл. 4). По мере выщелачивания грунтосмесей (в более старых отсыпках) опережающая миграция хлоридов определяет существенно сульфатный состав подвижных компонентов. При этом и общая концентрация подвижной фазы постепенно уменьшается, поэтому в поверхностных слоях (до 50 см) наиболее старых отвалов количество водорастворимых соединений составляет лишь сотые доли процента. Вместе с тем в нижних горизонтах тех же отвалов концентрации солей остаются еще весьма зна-

Sn	Bi	Ba	Sc	Ti	Li	Be	Nb	Y	Yb	Zr	Ge	Hg	Sr
0,3	0,07	20	15	2000	4,5	1,5	2,5	13,7	0,6	113	0,83	Не обн.	8,3
0,3	0,08	18	7	1158	5,7	0,6	1,7	6,6	0,4	79	0,57	То же	8,3
0,3	0,04	25	4	987	4,6	0,4	1,8	6,5	0,2	71	0,40	"	11,5
0,4	0,05	30	5	1113	3,4	0,7	1,7	8,0	0,2	83	0,28	0,23	11,4

чительными (см. табл. 4), превышающими порог токсичности для растений. Близкие по основным геохимическим показателям данные для разновозрастных отвалов других шахт Кизеловского бассейна приводят Г.И. Махонина и Т.С. Чибрис [1978].

Микроэлементный состав вмещающих пород Кизеловского месторождения не изучен. Нет данных и по составу микроэлементов грунтосмесей отвалов шахт. Имеются лишь материалы по содержанию микроэлементов в углях месторождения. Исследования Я.Э. Юдовича [1978] показали, что в золе кизеловских углей присутствует до 50 микроэлементов. Наиболее высокие кларки концентраций характерны для иттрия и элементов его группы [Ершов, 1961; Кириллов, 1958], которые накопились в форме элемент-органических соединений в стадию торфообразования. Однако основная масса микропримесей в углях связана с минеральной частью углей (внешней золой).

Некоторые общие представления о микрокомпонентном составе грунтосмесей отвалов Кизеловского бассейна дают данные, представленные в табл. 5 и на рис. 3.

Геохимический спектр микроэлементов вскрышных пород (по результатам 61 определения) достаточно наглядно отражает их региональную геохимическую специфику (см. рис. 3). Характерны повышенные содержания Bi, Sc, Li, Ge, Hg, Zr, Ti и пониженные содержания Ni, Ag, Sr, Mo, Co, Cu и некоторых других элементов (относительно кларка).

Общие геохимические характеристики пород отвалов (как было показано выше, см. табл. 4) не стабильны и достаточно закономерно меняются в процессе посттехногенной трансформации грунтосмесей. Происходят изменения и микроэлементного состава этих образований. Например, КР (коэффициент рассеяния) марганца в породах при их первичном поступлении в отвалы (шахта № 38) составляет 2,9, но в процессе гипергенной переработки отвалов происходит настолько активный вынос этого элемента, что содержания его уменьшаются еще в 2,5 раза и КР его в грунтосмесях старых отвалов составляет уже 6,5–9,0. Аналогичным образом в процессе посттехногенной трансформации пород отвалов происходит выщелачивание и некоторых других элементов. Так, в грунтосмесях старых отвалов содержание кобальта уменьшается в 2,2 раза,

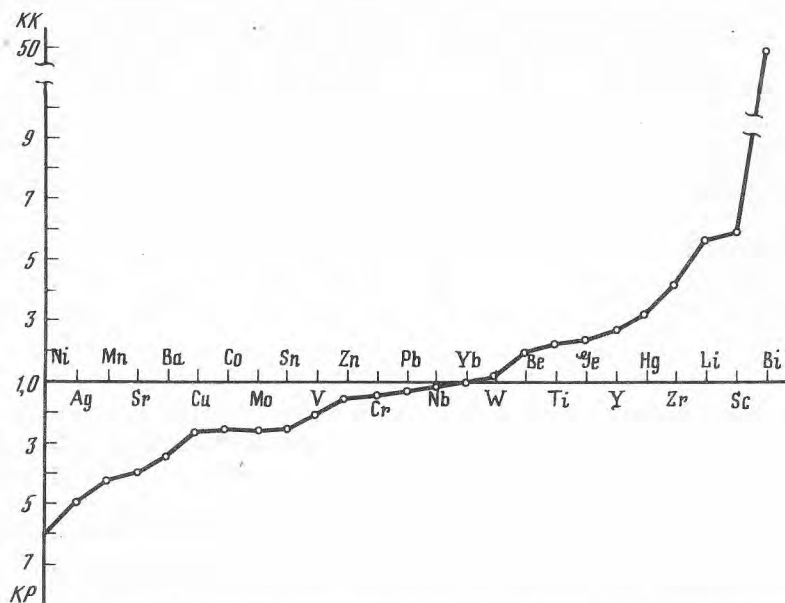


Рис. 3. Геохимический спектр элементов вскрышных пород Кизеловского каменноугольного бассейна

серебра — в 1,7, меди и цинка — в 1,6, никеля и бария — в 1,5 и стронция — в 1,4 раза относительно пород более поздней отсыпки.

По интенсивности рассеяния (по уменьшению величины КР) эта группа элементов образует следующий ряд¹:

$$\frac{Ag}{5,0} > \frac{Mn}{4,2} > \frac{Sr}{4,0} > \frac{Ba}{3,2} > \frac{Cu}{2,6} > \frac{Mo, Co, Sn}{2,5-2,0}$$

Элементы, связанные с более устойчивыми в условиях сернокислотного гидролиза компонентами, при посттехногенной трансформации грунто-смесей относительно накапливаются. Сравнение пород недавней отсыпки (шахта № 38) с грунто-смесями более старых отвалов (шахты "Григорий", "Жонес") показывает, что происходит заметное накопление германия, скандия, висмута, циркония, бериллия, иттрия, титана. В среднем для отвалов пород эта группа микроэлементов образует следующий ряд кларков концентрации (КК):

$$\frac{Bi}{50,0} > \frac{Sc}{6,0} > \frac{Li}{5,7} > \frac{Zr}{4,2} > \frac{Hg}{3,2} > \frac{Y}{2,7} > \frac{Ge, Ti, Be}{2,5-2,0}$$

"Паевой взнос" каждого типа пород при образовании средних концентраций того или иного элемента в грунто-смесях неодинаков (рис. 4, табл. 6).

¹ Средние значения относительно кларка осадочных пород [Войткевич и др., 1977].

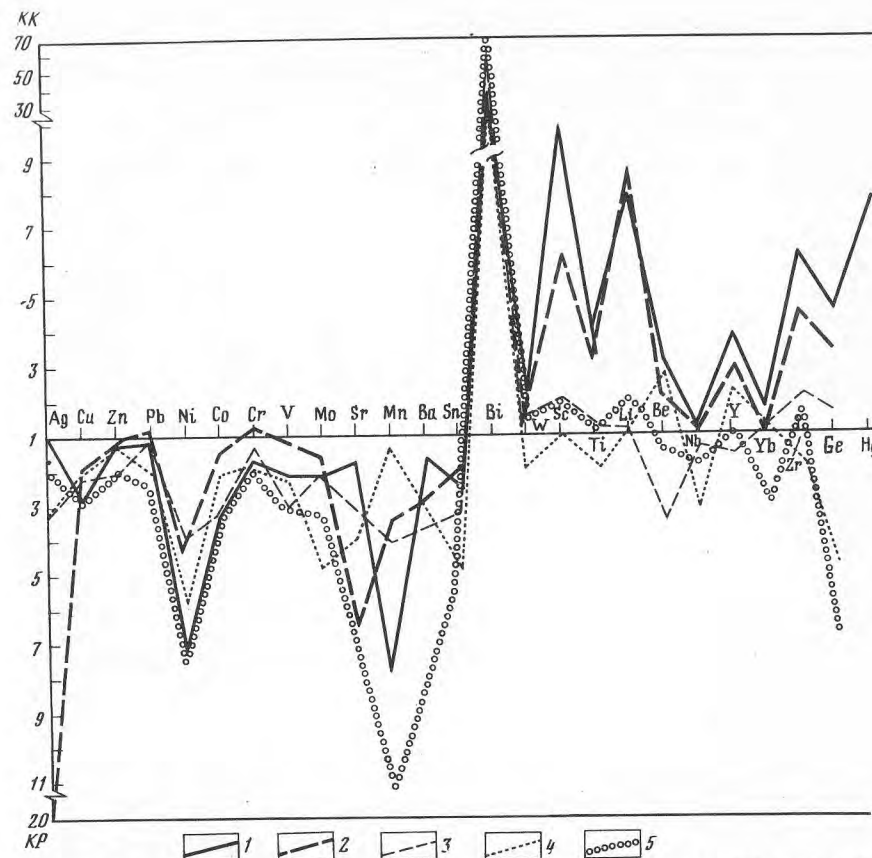


Рис. 4. Геохимический спектр элементов различных типов вскрышных пород Кизеловского каменноугольного бассейна

1 — углефицированные породы и каменный уголь; 2 — аргиллиты; 3 — алевролиты; 4 — известняки; 5 — песчаники

Геохимические спектры, показанные на рис. 4, свидетельствуют о том, что редкоземельная специфика грунто-смесей обусловлена накоплением этих элементов в углефицированных породах и аргиллитах (КК иттрия в этих породах составляют 4, германия — 5, лития — 9, скандия — 10 и т.д.). Для этих же пород характерны высокие содержания ртути (КК=7,5). Наиболее обеднены всеми микроэлементами песчаники и известняки.

Таким образом, геохимические особенности грунто-смесей (их солевой состав, количество серы, железа, марганца, органического углерода, микро-компонентные характеристики) определяются:

- 1) количественными соотношениями в составе отвалов тех или других литологических разностей пород;
- 2) длительностью гипергенного этапа их трансформации, т.е. времени с момента вывода вскрышных и вмещающих пород на дневную поверхность.

Таблица 6. Микроэлементный состав различных вмещающих пород отвалов шахт Кизеловского каменноугольного бассейна, $n \cdot 10^{-3} \%$.

Породы отвалов четырех эталон- ных шахт	Число опре- делений	Cu	Zn	Pb	Ni	Co
Углефицирован- ные породы и каменный уголь	23	1,9	5,5	1,6	1,3	0,6
Аргиллиты	15	2,7	6,4	2,4	2,2	1,3
Алевриты	5	2,6	3,8	1,6	2,4	0,6
Известняки	8	2,7	6,1	1,0	1,6	0,9
Песчаники	10	1,9	3,9	0,8	1,3	0,7
Среднее в поро- дах (местный кларк)	61	2,2	5,4	1,5	1,6	0,8
КР*		2,6	1,5	1,3	5,9	2,5
КК*		—	—	—	—	—
Мировой кларк в осадочных породах [Войткевич и др., 1977]		5,7	8,0	2,0	9,5	2,0

*Рассчитано по отношению к мировому кларку микроэлементов в осадочных по-
родах.

Таблица 6 (окончание)

Породы отвалов четырех эталон- ных шахт	Число определений	Bi	Ba	Sc	Ti	Li
Углефицирован- ные породы и каменный уголь	23	0,05	47	10,0	1596	5,6
Аргиллиты	15	0,06	28	6,4	1420	6,1
Алевриты	5	0,04	He обн.	0,5	560	0,8
Известняки	8	0,03	"	1,0	226	0,7
Песчаники	10	0,07	"	1,9	511	1,4
Среднее в поро- дах (местный кларк)	61	0,05	25	6,0	1100	4,0
КР*		—	3,2	—	—	—
КК*		50,0	—	6,0	2,4	5,7
Мировой кларк в осадочных породах [Войткевич и др., 1977]		0,001	80	1	450	6,0

Состав и свойства вторичных техногенных потоков, поступающих в окружающие ландшафты от отвалов вскрышных пород. Гидрохимические потоки. Как было показано выше, в процессе посттехногенной трансформации пород отвалов, главным образом в результате окисления и сернокислого гидролиза, образуется большое количество гео-

Cr	V	Mo	Ag	Mn	W	Sn
6,0	5,9	0,09	He обн.	8,6	0,3	0,4
11,8	10,6	0,12	0,0005	19,1	0,2	0,5
7,0	4,2	0,09	0,003	15,8	0,3	0,3
5,2	5,3	0,04	0,003	46,1	0,1	0,2
4,7	4,0	0,06	0,005	6,0	0,1	0,2
7,2	6,5	0,08	0,002	16,0	0,2	0,4
1,4	2,0	2,5	5,0	4,2	—	2,5
—	—	—	—	—	1,2	—
10,0	13,0	0,2	0,01	67	0,2	1

Be	Nb	Y	Yb	Zr	Ge	Hg	Sr
0,9	2,1	12	0,5	124	0,81	0,3	21,3
0,6	2,3	8,8	0,3	90	0,67	He обн.	6,9
0,08	1,4	1,8	He обн.	44	0,30	"	He обн.
0,8	0,6	6,6	"	37	0,04	"	11,0
0,2	1,0	3,0	0,1	35	0,03	"	He обн.
0,6	1,7	8,1	0,3	83,0	0,50	0,13	11,2
—	1,2	—	—	—	—	—	4,0
2,0	—	2,7	1,0	4,2	2,5	3,2	—
0,3	2	3,0	0,3	20	0,2	0,04	45

химически активных водорастворимых соединений. Определение кислотности поступающих отвалов растворов (табл. 7) показывает, что в зависимости от соотношений в отвалах исходных запасов серы сульфидов и потенциально доступных запасов щелочности в грунтосмесях кислотность растворов (рН) колеблется от 1,5 до 2,5. Состав водорастворимых солей,

Таблица 7. Содержание некоторых элементов во вторичных гидрохимических ТГ потоках, поступающих в почвы от отвалов вскрышных пород

Шахта	№ точек опробования*	Микроэлементы, мг/л			
		Mn	Cu	Zn	Ni
Шахта № 38	Ia	95,0	23,3	0,8	14,8
	II a	77,0	14,6	0,9	10,60
	IIб	74,0	11,6	0,8	8,80
	IIв	113,0	6,2	23,0	8,40
	IIг	65,0	0,18	19,0	1,88
	IIIa	37,0	1,34	16,0	4,20
	IIIб	55,0	1,34	14,0	4,64
	IIIв	48,0	1,64	2,2	4,60
Шахта "Жонес"	Ж-510	3,5	0,08	0,2	0,36
	Ж-513	2,6	0,14	0,2	0,28
Средние содержания микроэлементов в водах чистых рек [по А.А. Беусу и др., 1976]		0,11–0,18	0,06–0,13	0,08	0,007–0,03

* Принцип расположения точек опробования (на примере шахты № 38) показан на рис. 5.

** По данным В.И. Вернадского [Инструкция по геохимическим методам..., 1965].

*** По данным П.П. Воронкова [1970] для рек Приуралья.

мигрирующих с ТГ потоками, сульфатный или хлоридно-сульфатный, что определяется длительностью гипергенной переработки пород отвалов, с которыми связаны эти потоки.

Катионный и анионный составы формирующихся в этих условиях потоков не сбалансированы. Заметно преобладает (особенно на ранних стадиях гипергенной трансформации грунтосмесей) содержание анионов (сульфат-иона), что свидетельствует о наличии в водах свободной серной кислоты. Из катионов преобладает железо, содержание которого может достигать 9–10 г/л, что придает этим водам красно-бурый или охристый цвет.

Элементный состав растворов, поступающих от некоторых отвалов, показан в табл. 7. Как видно из этой таблицы, общая минерализация растворов существенным образом зависит от времени отсыпки грунтосмесей. Так, минерализация фильтрационных вод, связанных с породами недавней отсыпки (шахта № 38), очень высокая и достигает 65,7 г/л. Со временем количество водорастворимых соединений во вторичных ТГ гидрохимических потоках заметно снижается, но все же в 3–3,5 раза превышает фоновые содержания (см. табл. 7).

Падение общей минерализации ТГ гидрохимических потоков определяется снижением во времени активности выщелачивания пород, а следовательно, и поступления элементов в миграционные потоки. Так, в гидрохимических ТГ потоках от отвалов более старой отсыпки (шахта "Жонес") содержание марганца (точка 510) уменьшается в 30 раз и более. Но и эти "остаточные" концентрации микроэлементов в 7–19 раз пре-

Микроэлементы, мг/л						Сухой остаток, г/л
	Co	Cd	Cr	Pb	Fe	
	14	0,33	0,75	0,54	9600,0	65,70
	9,9	0,52	1,15	0,45	7000,0	54,77
	9,8	0,16	1,0	0,40	4800,0	45,00
	9,4	0,14	0,9	0,34	840,0	32,60
	2,3	0,002	0,1	0,14	6,0	32,58
	4,0	0,04	0,2	0,38	300,0	35,91
	5,2	0,04	0,3	0,46	260,0	30,20
	4,5	0,06	0,4	0,30	440,0	32,14
	0,3	0,018	He обн.	—	210,0	1,78
	0,3	0,018	”	—	58,0	1,30
	0,006	0,006	0,006	0,006	0,001**—4,6	0,50***

вышают среднефоновые их содержания. Соответственно уменьшаются поступления в ТГ потоки и других элементов.

Если на первых этапах гипергенной переработки грунтосмесей отвалов ряд кларков концентрации элементов в гидрохимических ТГ потоках (относительно средних содержаний элементов для чистых рек) [Беус и др., 1976] имеет вид:

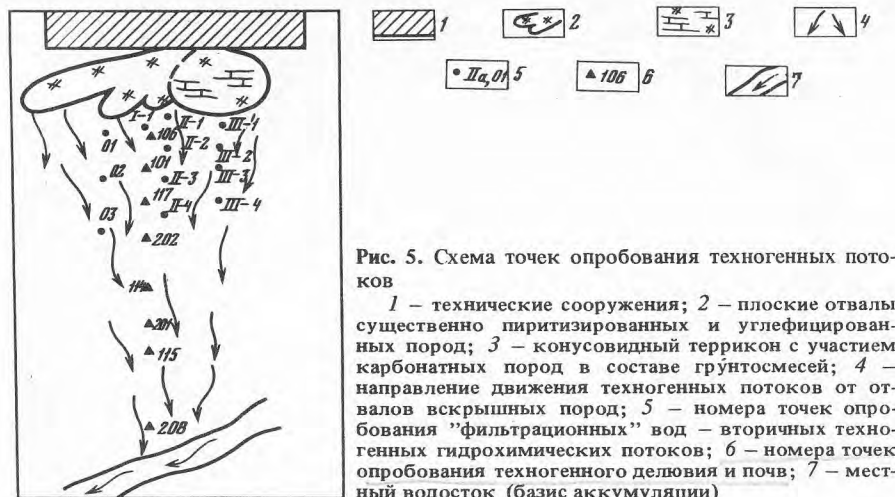
$$\frac{Co}{2333} > \frac{Fe}{2086} > \frac{Mn}{628} > \frac{Ni}{493} > \frac{Zn}{278} > \frac{Cr}{192} > \frac{Cu}{178} > \frac{Pb}{90} > \frac{Cd}{87},$$

то на последующих этапах напряженность выноса элементов (т.е. контрастность вторичных ТГ гидрохимических аномалий) трансформируется следующим образом:

$$\frac{Co}{50} > \frac{Fe}{46} > \frac{Mn}{19} > \frac{Ni}{12} > \frac{Cd}{3} > \frac{Zn}{2}.$$

Перестройка миграционной активности элементов (интенсивности их выноса) свидетельствует, вероятно, об определенной смене геохимических условий миграции – существовании разных геохимических стадий трансформации грунтосмесей отвалов.

Геохимическая неоднородность грунтосмесей разных отвалов обуславливает и несколько разный состав ТГ потоков. Это может иметь место даже для сближенных отвалов, составляющих практически одну систему.



Например, на рис. 5 показано расположение точек опробования ТГ потоков, поступающих от отвалов шахты № 38. Из табл. 7 видно, что концентрации микроэлементов в этих потоках заметно различны. Вблизи отвалов преимущественно сиаллитных существенно пиритизированных углефицированных пород (точки Ia, IIa—IIв) содержание железа в растворах достигает 9600,0 мг/л, марганца — 95,0–113,0, меди — 23,3 мг/л; кислотность их

Таблица 8. Химический состав и формы химических элементов в твердой фазе ТГ потоков (по содержаниям в ТГ делювии)

Шахта	№ пото- ка	Номер точки наблю- дений	Глуби- на, см	Валовые					
				Fe	Al	Mn	Cu	Zn	
				%		$n \cdot 10^{-3} \%$			
№ 38	1-й по- ток	106	0—25	20,88	8,70	17	4	6	
		101	0—13	28,88	4,80	20	5	6	
		117	0—28	27,00	6,00	33	13	8	
		203	0—4	26,44	5,74	25	12	6	
		114	0—11	15,67	8,00	35	4,5	10	
		115	0—15	25,80	6,20	35	4,5	10	
		201	0—4	45,50	5,40	20	4	6	
		204	0—18	14,49	6,22	40	5	8	
	2-й по- ток	105	0—11	32,74	9,48	40	4	10	
		108	0—9	17,72	6,96	30	4	8	
		109	0—11	24,71	6,19	40	4	12	
		111	0—7	55,00	5,13	40	3	5	
”Гри- горий”	1-й по- ток	104	0—29	4,30	6,52	30	5	8	
		105	0—9	5,04	10,77	30	5	8	
		106	0—21	5,20	10,17	50	4	8	
		522	0—3	4,06	11,62	50	4	8	

очень высокая (рН-1,5–1,8), минерализация — 65,7–54,7 г/л. Наличие в отвалах карбонатного материала изменяет состав растворенной фазы ТГ потоков, поступающей в окружающие ландшафты (точки IIIa—IIIг). Содержание железа уменьшается до 6–260 мг/л (на два-три порядка), марганца — до 37,0–48,0 (в 2–3 раза), меди — до 1,34–1,64 мг/л (в 14–17 раз). Общая минерализация растворов также уменьшается (приблизительно в 2 раза).

Кислотность растворов уменьшается (до рН-3,0–4,0). При наличии карбонатного материала в составе грунтосмесей вдоль подножия отвалов фиксируется (несмотря на гумидный тип климата) зона огипсования — многочисленные выцветы мелкокристаллического гипса по поверхности обломков пород любого состава, что создает специфический новообразованный гипсовый геохимический барьер.

Вторичные ТГ литохимические потоки и ореолы загрязнения. Отвалы вскрышных пород являются источником не только водорастворимых соединений, но также коллоидных и большого количества механических взвесей. В основной своей массе этот материал переносится от отвалов поверхностным стоком. Поэтому спецификой ТГ литохимических потоков является периодичность их поступления в природную среду и одновременно формирование этими потоками широких (площадных) вторичных ореолов загрязнения. Вещественным "показателем" вторичного ореола загрязнения является, как было сказано выше, ТГ делювий. Таким образом, химический состав ТГ делювия (табл. 8) отражает состав литохимического ТГ потока.

Данные табл. 8 свидетельствуют о том, что твердая фаза ТГ потоков

Подвижные (вытяжка Тамма)					pH	Сухой остаток, г/л водной вытяжки
Fe	Al	Mn	Cu	Zn		
%		n · 10 ⁻³ %				
7,49	0,15	9,6	3,9	1,0	2,4	0,755
9,60	0,10	10,0	2,9	0,8	2,5	0,556
9,21	0,39	23,0	3,6	1,4	2,3	1,589
15,99	0,15	10,0	4,0	0,7	—	—
4,33	0,31	9,5	2,9	1,2	2,9	0,386
9,43	0,34	7,0	1,4	2,0	2,9	0,342
11,79	0,16	5,0	1,5	0,8	2,8	0,222
3,15	0,35	7,0	1,6	0,9	3,3	0,207
21,86	0,46	11,5	5,3	1,1	2,4	0,750
10,80	0,28	12,1	6,0	2,8	2,6	—
23,04	0,14	10,0	3,7	1,6	2,6	—
39,61	0,12	11,1	2,4	2,6	2,5	—
1,23	0,08	2,4	2,4	1,3	3,5	0,048
0,95	0,33	5,0	0,4	7,3	3,8	0,046
1,31	0,75	8,5	1,6	4,2	3,8	0,337
1,50	0,23	2,8	1,5	2,9	3,0	0,098

Таблица 9. Особенности химического состава почв в сфере влияния ТГ потоков от отвалов вскрышных пород

Шахта	Номер разреза	Индекс горизонта	Глубина, см	pH водный	Органический углерод, %
№ 38	106	ТГ ₁	0-19	2,4	32,14
		ТГ ₂	19-25	2,4	30,45
		АОТГ	25-30	2,3	20,19
		A1	30-37	2,6	1,80
		A1A2	37-44	2,8	1,33
		A2	44-51	2,8	0,81
		A2B	51-60	3,2	0,35
		B1	60-72	3,1	Не опр.
		B2	72-92	3,4	0,46
		B3	92-127	3,6	0,23
		B4	127-136	4,0	0,17
		B/BC	136-165	4,6	Нет
		B/C	> 165	4,8	"
	114	ТГ ₁	0-3	2,9	10,27
		ТГ ₂	3-11	2,9	15,08
		АОТГ	11-16	Не опр.	10,15
		A1	16-21	"	4,23
		A1A2	21-25 (27)	2,9	2,55
		A2	25 (27) -30	3,0	1,91
		A2B	30-41 (44)	3,1	1,28
		B1	41 (44) -66	3,9	0,23
		B2	66-80	3,8	0,29
		B3	80-110	3,6	0,23
"Григорий"	Г-522	АО	0-3	3,0	15,31
		A1	3-23	3,3	1,80
		A2	23-32	3,2	0,75
		A2B	32-44	3,4	0,29
		B1	44-61	3,4	0,35
		B2	61-75	3,3	0,35
		B3	75-93	3,3	0,41

Поглощенные катионы, мг-экв/100 г				Сера валов., %	Fe вал., %	Fe по Тамму, %
Ca ²⁺	Mg ²⁺	H ⁺	Al ³⁺			
Не опр.	Не опр.	Не опр.	Не опр.	3,97	20,88	6,70
2,0	3,0	3,6	13,6	0,91	19,80	8,29
3,0	8,0	5,6	64,0	0,77	4,78	5,35
2,2	2,4	15,0	23,5	2,84	5,12	2,09
1,4	2,7	2,1	26,7	0,51	6,72	2,17
1,2	0,7	2,3	19,2	0,39	7,16	2,36
3,9	3,7	0,3	18,0	0,49	6,85	2,20
3,4	2,6	0,3	24,9	0,66	7,03	2,05
3,4	2,6	0,1	24,8	Не опр.	Не опр.	1,34
6,2	3,9	0,1	21,3	"	"	0,64
11,9	8,2	0,1	10,1	"	6,40	0,49
17,6	Нет	0,05	1,6	"	Не опр.	0,55
18,9	9,3	0,05	1,2	"	5,82	0,52
1,6	1,4	0,1	7,9	1,68	22,58	7,32
2,0	2,5	0,1	15,4	3,33	8,76	1,35
3,0	8,0	Не опр.	22,4	3,80	35,45	7,52
1,8	1,7	0,5	10,2	3,99	8,16	3,00
1,8	1,7	1,5	11,5	1,71	4,59	1,46
2,5	1,6	0,2	13,2	0,37	3,40	1,18
1,7	2,1	0,1	12,2	0,40	4,23	1,66
2,5	2,5	0,1	11,1	Не опр.	7,76	1,01
1,8	1,2	0,1	11,7	"	4,24	1,38
2,6	2,1	0,1	9,9	0,89	5,89	1,68
0,6	1,0	0,05	6,4	Не опр.	5,06	Не опр.
1,2	0,6	Не опр.	21,9	"	5,25	"
1,0	0,2	0,05	9,4	"	5,96	"
1,2	0,4	0,1	10,9	"	5,52	"
1,2	1,2	0,05	12,7	"	5,66	"
1,4	0,4	0,1	16,9	"	6,20	"
1,6	0,6	0,1	20,6	"	8,17	"

имеет специфический состав. Характерно очень неравномерное распределение концентрации макро- и микроэлементов в пространстве при общем довольно значительном обогащении материала рядом компонентов. Так, валовые содержания железа и алюминия варьируют соответственно от 3 до 55 и от 6 до 11%. Концентрации ряда микроэлементов в ТГ потоках также достаточно высоки и превышают их содержание более чем в 2 раза относительно исходных (фоновых) почв.

В ТГ наносах широко представлены водорастворимые и оксалатно-растворимые формы элементов (табл. 8, 9), которые могут составлять до 90% от валового содержания. Это говорит о большой степени участия

химических процессов в формировании наносов; последнее подтверждается высокими значениями плотного остатка водной вытяжки. Исключение представляет лишь алюминий, подвижные формы которого составляют 1-7% от его валового содержания, что свидетельствует о миграции алюминия преимущественно в твердой фазе ТГ потоков.

Из данных табл. 8 видно, что химический состав твердой части ТГ потоков изменяется с течением времени. На старой шахте ("Григорий") по сравнению с шахтой недавней отсыпки (№ 38) резко уменьшается (в 7-10 раз) количество валового и подвижного железа. Возрастает (в 1,5-2 раза) относительное количество валового алюминия, содержание

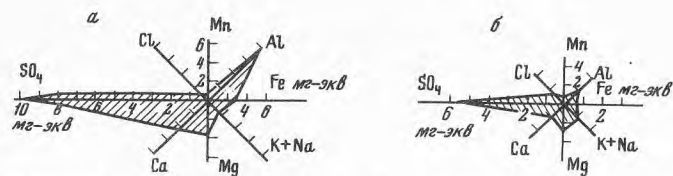


Рис. 6. Изменение состава водорастворимых соединений в техногенном делювии на разном расстоянии от источника загрязнения
а — в центральной части ореола загрязнения; б — в краевой части ореола загрязнения.

которого достигают 10–11%. Отмечается трансформация химического состава ТГ потоков не только во времени, но и в пространстве. Например, по мере удаления от источника загрязнения (рис. 6) происходят изменения в составе водорастворимых соединений, что связано со сменой геохимических условий в местах локализации ТГ потоков.

Факторами, определяющими дифференциацию свойств ТГ потоков в пространстве, являются: а) геохимическая активность самих соединений, поступающих в ТГ потоки в истинных или коллоидных растворах — их миграционная способность в местных условиях; б) исходные геохимические свойства почв, принимающих эти потоки, в частности различия в окислительно-восстановительных условиях в местах локализации ТГ потоков.

Изменчивость геохимических свойств ТГ потоков имеет сезонные, погодные и временные ритмы. Отсюда не только резко различное количество переносимого во взвешах материала, но также и меняющаяся во времени (пульсирующая) дальность разноса загрязнителей и соответственно зональность их аккумуляции: выпадения в осадок тех или иных компонентов потока и их вторичное перемещение и переотложение.

Полученные материалы показывают, что мощность и состав вторичных ТГ потоков и соответственно структура геохимической зональности обусловленных этими потоками вторичных ТГ ореолов на территории месторождения достаточно различны. В общем случае чем больше мощность отвалов (т.е. объем выведенных на дневную поверхность вскрышных пород) и чем более сульфидизированы грунты, тем интенсивнее зона трансформации — обширнее вторичные ТГ ореолы загрязнения и сложнее их геохимическая структура.

Воздействие на природные системы, в частности почвы, осуществляется не только за счет поступающих в них растворов, но также и веществ, составляющих собственно ТГ нанос. При этом материал наносов выступает не столько в качестве инертного осадка, накапливающегося на поверхности почв, но является источником — депонентом достаточно активных геохимических соединений, способных легко переходить в растворы и влиять на погребенные почвы. Из табл. 7 и 8 видно, насколько много в этих образованиях легкорастворимых соединений (например, сухой остаток в фильтративных водах составляет 30,2–65,7 г/л, а в водной вытяжке из ТГ наноса превышает 1%).

Таким образом, ТГ делювий выступает в двух качествах: а) специфического геохимического барьера, формирующегося на поверхности почв

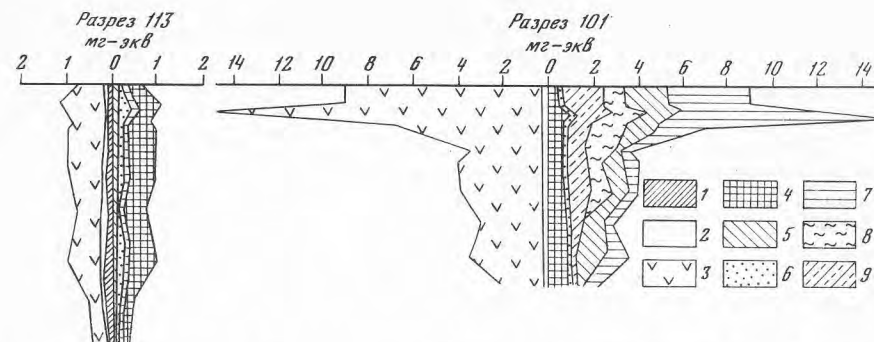


Рис. 7. Распределение водорастворимых солей в лесных почвах в сфере влияния техногенных потоков от отвалов вскрышных пород

Анионы: 1 — HCO_3^- ; 2 — Cl^- ; 3 — SO_4^{2-} ; катионы: 4 — Ca^{2+} ; 5 — Mg^{2+} ; 6 — $\text{K}^+ + \text{Na}^+$; 7 — Mn^{2+} ; 8 — Fe^{3+} ; 9 — Al^{3+}

и перехватывающего ряд веществ из новых порций ТГ потоков; б) вторичного источника активного геохимического воздействия на погребенные почвы.

Техногенные педохимические аномалии. Геохимическая характеристика почв, попадающих в сферу влияния ТГ потоков, показана в табл. 9, 10 и на рис. 7–14. Происходит глубокая трансформация солевого состава исходных почв. Высокие концентрации легкорастворимых солей, среди которых большую роль играют сульфаты железа и марганца (рис. 7), обуславливают специфическое засоление почв. В крайних случаях формируются кислые сульфатно-железистые солончаки (разрез 101).

Возникает очень кислая среда, рН водных суспензий опускается до 2,3–2,5. Происходит глубокая трансформация почвенного поглощающего комплекса, значительно увеличивается количество поглощенного алюминия.

Происходит специфическое ожелезнение почв и обогащение их серой. Валовые содержания железа и серы заметно увеличиваются в верхней части профиля (до глубины 50–60 см).

Все эти изменения не остаются постоянными: происходит направленная трансформация свойств почв во времени. В условиях гумидного климата достаточно активно снижается количество легкорастворимых солей в почвах. Постепенно уменьшается их кислотность (рН водных суспензий в сфере влияния отвалов старых шахт поднимается до 3–3,3), несколько уменьшается содержание поглощенного алюминия.

Однако эти изменения происходят достаточно медленно: новообразованные отрицательные свойства почв оказываются относительно устойчивыми.

Глубокая геохимическая трансформация свойств почв обуславливает и существенную перестройку их микрокомпонентного состава.

Сравнение приведенных в табл. 10 данных с содержанием элементов в незагрязненных местных почвах (см. табл. 2) и грунтысмесях (см. табл. 5) свидетельствует о том, что загрязненные почвы приобретают специфические черты (рис. 8). Меняются как средние концентрации элементов, так и их распределение в вертикальном профиле. Интенсивность

Таблица 10. Среднее содержание микроэлементов в почвах в сфере влияния ТГ потоков от отвалов вскрышных пород, $n \cdot 10^{-3}\%$

Название шахты	Возраст отвалов, годы	Число определений	Cu	Zn	Ni	Pb
"Григорий"	50	51	3,9	10,3	3,3	1,7
"Жонес"	30	54	4,6	10,8	3,9	1,6
№ 40	20	50	4,1	11,4	4,8	1,5
№ 38	5	114	4,0	11,4	2,2	1,5
Среднее	5–50	269	4,1	11,0	4,2	1,6
КР*						
КК*			1,1	1,0	1,0	1,1

*Рассчитано относительно местного кларка микроэлементов в фоновых почвах.

Таблица 10 (окончание)

Название шахты	Возраст отвалов, годы	Число определений	Sn	Sc	Ti	Li
"Григорий"	50	51	0,3	2,4	745	2,2
"Жонес"	30	54	0,5	1,9	803	2,2
№ 40	20	50	0,3	1,9	638	2,3
№ 38	5	114	0,3	2,4	782	2,1
Среднее	5–50	269	0,3	2,2	748	2,2
КР*						
КК*			1,0	2,4	1,1	1,1

проявления этих процессов зависит не только от состава грунтосмесей, объема выведенного на дневную поверхность материала и формы отвалов, но также от занимаемой ими площади и приуроченности к определенным исходным ландшафтно-геохимическим позициям. Геохимические процессы трансформации почв могут быть достаточно динамичными. Имеют место: а) прогрессивное накопление ряда элементов в тех или иных природных объектах; б) интенсивное выщелачивание. Это приводит к изменению средних содержаний элементов в почвах.

Сравнение концентраций элементов в загрязненных почвах в сфере влияния отвалов более поздней отсыпки (шахта № 38) и отвалов старых шахт ("Григорий", "Жонес") показывает, что для одних элементов – Ge, Cr, Sc, Y, Pb – характерно прогрессивное накопление (за счет постоянного привноса с ТГ потоками от отвалов), для других – Ba, Be, Yb, Zn, Ag – первичное техногенно обусловленное накопление этих элементов (см. почвы в районе шахты № 38, табл. 8) сменяется заметным уменьшением концентраций – освобождением почв от поступающих соединений (см. КК этих элементов в почвах в сфере влияния отвалов шахт "Григорий", "Жонес", табл. 9).

Наиболее интенсивно уменьшаются концентрации элементов, характеризующихся высокой миграционной активностью в кислой среде, в тех

Co	Cr	V	Mo	Ag	Mn	W	Ba
2,1	12,0	10,9	0,21	0,002	64	0,1	12
2,0	11,1	10,6	0,31	0,002	47	0,4	13
2,4	11,3	10,4	0,20	0,002	75	0,2	23
2,6	9,8	10,0	0,22	0,003	52	0,2	21
2,3	11,3	10,5	0,23	0,002	55	0,2	15
1,1	1,1				1,3		1,2
		1,0	1,2	1,0		1,0	

Be	Nb	Y	Yb	Zr	Sr	Ge
0,13	1,1	3,3	0,07	39	0,4	0,02
0,09	1,1	2,7	0,02	47	0,5	He обн.
0,15	1,1	2,7	0,04	40	0,6	0,02
0,20	1,1	2,4	0,20	43	0,5	0,008
0,16	1,1	2,7	0,08	43	0,5	0,01
	1,1				3,0	
2,0		1,4		1,3		33,3

случаях, когда компенсационный привнос с ТГ потоками очень слабый. В рассмотренном случае это Sr, Ni, Zn, Mn.

Реальное пространственное распределение концентраций микроэлементов в почвах в сфере влияния ТГ потоков значительно более сложное, чем описанная выше схема, так как соотношения интенсивности выноса или накопления элементов и соединений в трансформированных почвах изменчивы и в вертикальном профиле почв (радиальные геохимические барьеры)¹, и в пространстве – на разном расстоянии от первичного источника загрязнения (латеральные геохимические барьеры). Это объясняется как неоднородностью исходной структуры почвенного покрова (вариабельностью исходных геохимических свойств почв, принимающих ТГ потоки), так и изменчивостью в пространстве и времени свойств самих ТГ потоков.

По особенностям пространственного распределения микроэлементов в загрязненных почвах можно выделить четыре группы элементов.

Первая группа – накапливающиеся элементы. Для территории Кизе-

¹ Радиальные геохимические барьеры связаны с вертикальной миграцией вещества, латеральные – с боковой миграцией [Касимов, 1981].

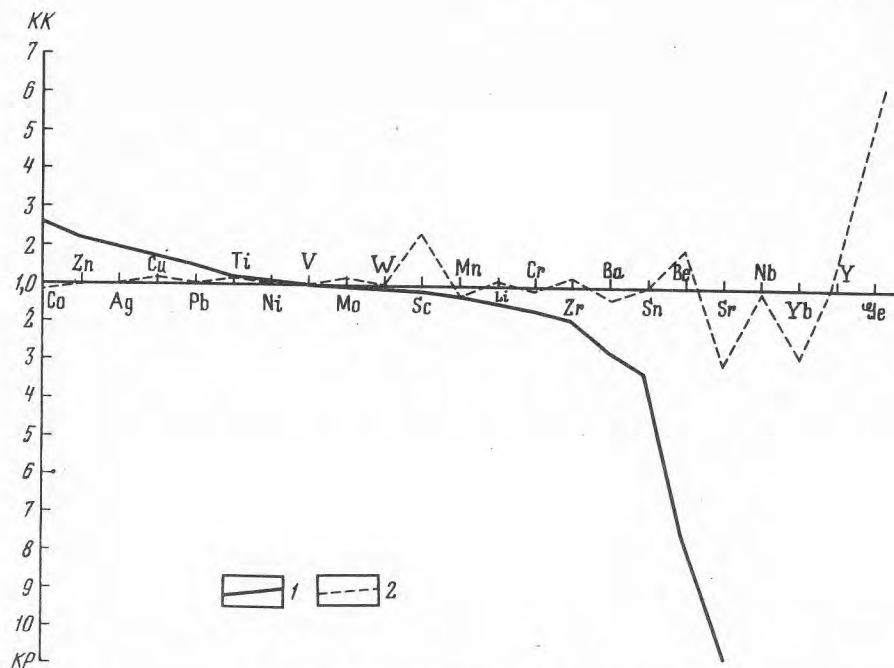


Рис. 8. Геохимические спектры элементов почв Кизеловского каменноугольного бассейна

1 — фоновые почвы территории (относительно мирового кларка почв); 2 — загрязненные почвы в сфере влияния техногенных потоков от отвалов вскрышных пород (относительно фоновых почв)

ловского каменноугольного бассейна к ним относятся германий, бериллий, цирконий, скандий, иттрий.

На примере скандия (рис. 9) можно выделить основные особенности распределения элементов этой группы.

Характерна приуроченность максимумов концентраций скандия к верхней части профиля почв (ТГ наносу, горизонтам AO_{TG} и Al_{TG}). Но и для нижних горизонтов отмечается некоторое повышение концентраций названных элементов (относительно местного фона).

Таким образом, элементы этой группы формируют достаточно контрастные положительные аномалии не только в грунтосмесях отвалов, но также и в геохимически сопряженных с ними почвах.

Основным поставщиком перечисленных элементов является, вероятно, угольный материал, переносимый главным образом в механических взвесах.

Устойчивость возникающих аномалий высокая, с течением времени контрастность их даже возрастает.

К группе накапливающихся элементов с некоторой условностью можно отнести также медь и литий, хотя особенности их распределения в почвах в сфере влияния ТГ потоков несколько отличаются от распределения элементов основной группы.

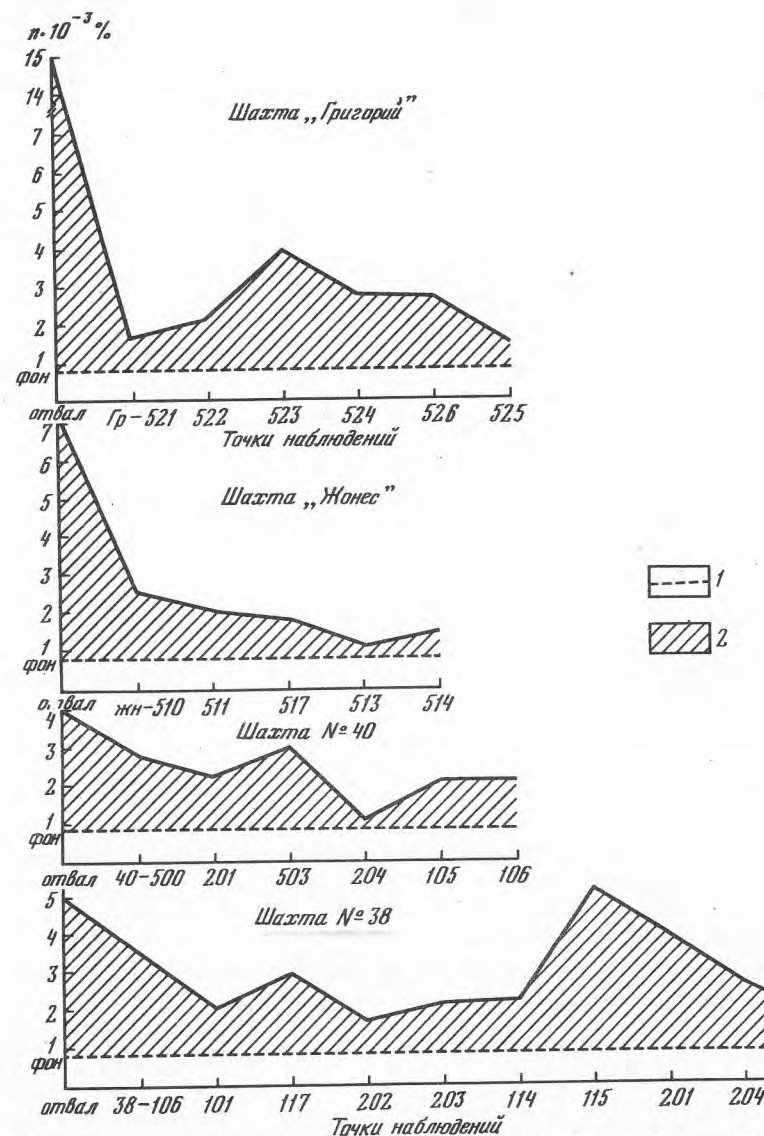


Рис. 9. Особенности распределения скандия в почвах в сфере влияния техногенных потоков от отвалов вскрышных пород

1 — местный фон элемента; 2 — области вторичного накопления элемента

Главные отличия обусловлены: а) разными формами нахождения этих элементов в породах, составляющих отвалы; б) разными формами миграции элементов в зоне гипергенеза; в) разной (относительно местного фона) исходной концентрацией элементов в ТГ образованиях. Несмотря на то, что в грунтосмесях отвалов содержание элементов может быть меньше, чем в исходных местных почвах ($KP-0,6$), общая масса пород,

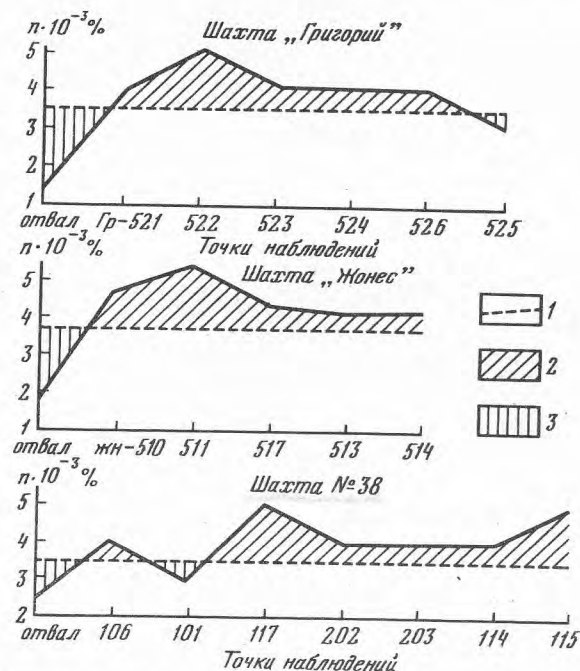


Рис. 10. Особенности распределения меди в почвах в сфере влияния техногенных потоков от отвалов вскрышных пород
1 — местный фон элемента; 2 — области вторичного накопления элемента; 3 — области вторичного выноса элементов

выведенных на дневную поверхность, столь значительна, что определяет и вероятность заметного обогащения почв окружающих территорий. Так, в результате кислотного гидролиза медь выщелачивается из пород грунто-смесей и поступает в миграционные потоки, о чем свидетельствует состав фильтрационных вод (см. табл. 7).

Однако на первых этапах ТГ трансформации при очень высокой кислотности почв и грунтов, обусловленных высокой кислотностью ТГ потоков, поступающая с ними медь не задерживается вблизи отвалов и выносятся с поверхностным и внутрипочвенным стоками. При этом активизируется вынос и собственно "почвенной меди", в результате чего вокруг отвалов формируются зоны выщелачивания — отрицательные геохимические аномалии (рис. 10), которые в некотором удалении от отвалов (в случае увеличения pH) могут сменяться участками обогащения — положительными аномалиями.

Таким образом, на первых стадиях геохимической трансформации почв, оказывающихся в сфере влияния отвалов, происходит формирование как положительных, так и отрицательных аномалий меди слабой контрастности. С течением времени при увеличении pH почвенных суспензий создаются условия для закрепления этого элемента и вблизи отвалов пород, в результате чего отрицательные аномалии постепенно исчезают и заменяются слабоконтрастными положительными аномалиями (рис. 10).

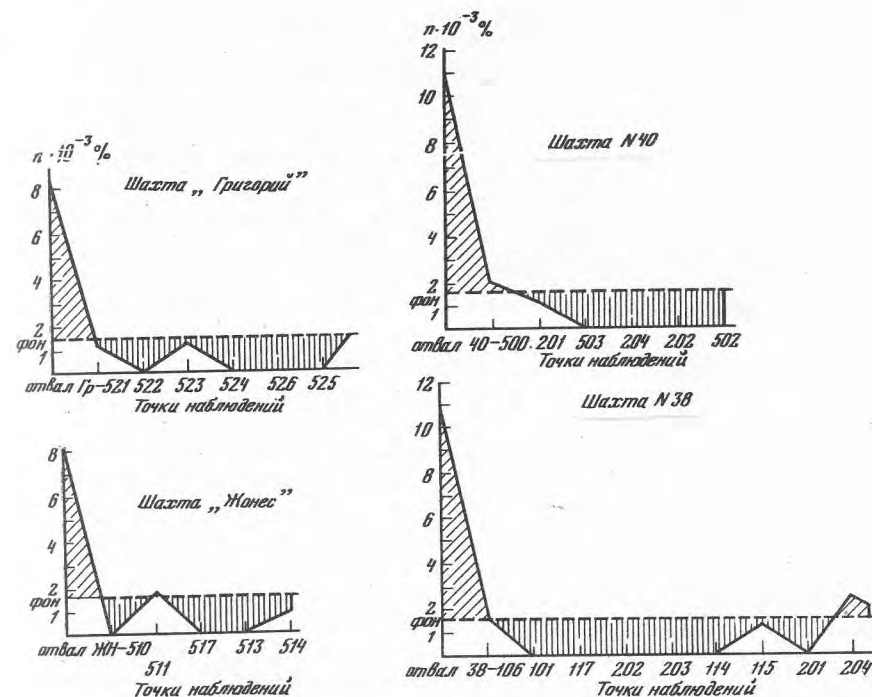


Рис. 11. Особенности распределения стронция в почвах в сфере влияния техногенных потоков от отвалов вскрышных пород
Условные обозначения см. на рис. 10

Для лития не отмечается такого широкого развития ореола накопления. Повышение содержания этого элемента в почвах имеет место только на узкой полосе, непосредственно примыкающей к самим отвалам.

Вторая группа — рассеивающиеся элементы. Для территории Кизеловского бассейна к этой группе относятся стронций, барий, хром, кобальт.

Геохимическая судьба перечисленных элементов неоднозначна. Можно выделить три ситуации.

1. Элементы активного выноса, практически не создающие накоплений в почвах ни на одном из этапов их трансформации, несмотря на частичную компенсацию элемента за счет привноса вещества от отвалов вскрышных пород. Примером таких элементов в рассмотренном случае является стронций (рис. 11).

Хотя стронций имеет относительно невысокую растворимость в сульфатных средах, но в сильноокислых растворах и окислительной обстановке он мигрирует достаточно интенсивно.

Интенсивность выщелачивания возрастает во времени, что приводит к увеличению контрастности формирующихся отрицательных аномалий.

Близкая картина характерна для хрома, с той лишь разницей, что первоначальное количество этого элемента в грунто-смесях ниже, чем в почвах окружающих отвалов. Это уменьшает возможный компенсационный эффект, но одновременно миграционная активность хрома, особенно при

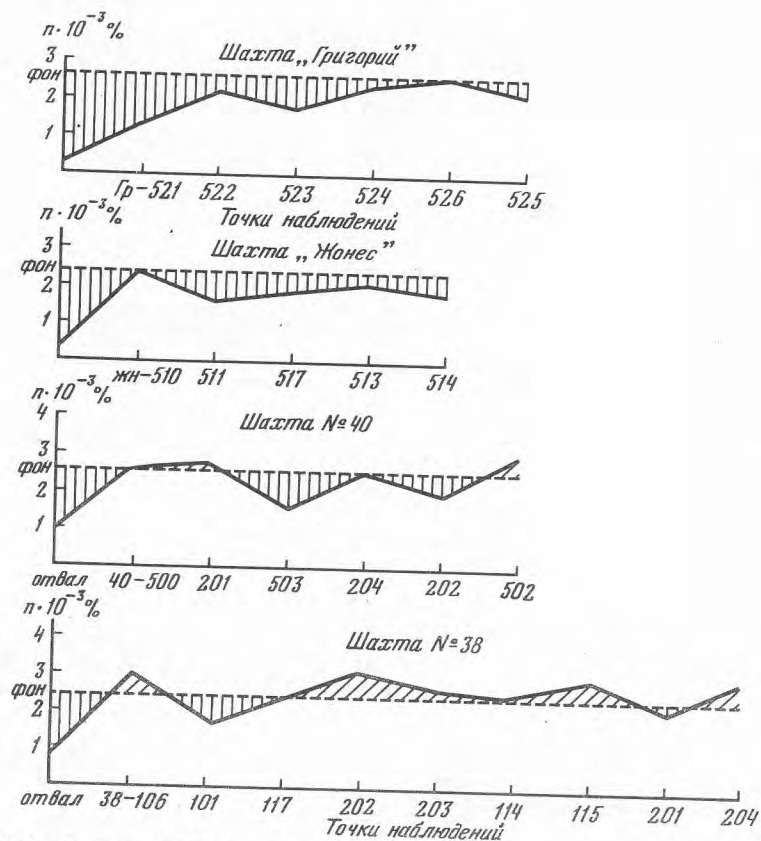


Рис. 12. Особенности распределения кобальта в сфере влияния техногенных потоков от отвалов вскрышных пород
Условные обозначения см. на рис. 10

повышении pH, ниже, поэтому и контрастность формирующихся отрицательных аномалий ниже, чем для предыдущего элемента. Более того, со временем в зонах, примыкающих непосредственно к отвалам вскрышных пород, могут формироваться даже локальные очень слабо контрастные положительные геохимические аномалии.

2. Элементы менее активного выщелачивания, к которым в рассмотренном случае следует отнести цинк, никель, кобальт. Эти элементы в условиях сильноокислой среды легко мигрируют, что определяет довольно высокие содержания их в ТГ потоках (см. табл. 7, 8) от отвалов. Но привнос этих элементов осуществляется главным образом в форме хорошо растворимых сульфатов, поэтому сколько-нибудь заметного накопления их в почвах (относительно фона) даже вблизи отвалов пород не происходит. Лишь для кобальта на первых стадиях трансформации сопряженных с отвалами территорий отмечается узкая, слабо контрастная положительная аномалия, примыкающая к отвалам (рис. 12). Причем максимум концентраций этого элемента приурочен здесь к ТГ наносу, что может сви-

детельствовать о его накоплении в механических взвешах (недоокисленные формы).

Агрессивность поступающих в почвы растворов вызывает мобилизацию и запасов собственно "почвенных" элементов, что приводит к формированию достаточно обширных зон выщелачивания. Хотя на первых этапах проработки почв для элементов всей этой подгруппы фиксируются и участки несколько повышенных концентраций — зоны вторичного обогащения, расположенные на том или ином расстоянии от источников загрязнения, однако с течением времени происходит разрушение этих аккумуляций. Вся область влияния агрессивных ТГ потоков характеризуется уже отрицательными геохимическими аномалиями названных элементов (см. рис. 12).

3. К этой же подгруппе заметно рассеивающихся элементов относится также барий. Контрастность его отрицательных аномалий (КР) в сфере влияния отвалов старых отсыпок (шахты "Григорий", "Жонес") составляет соответственно 1,5 и 1,4. Однако в сфере влияния ТГ потоков от грунтосмесей, сравнительно недавно поступивших на дневную поверхность (шахта № 38), в почвах фиксируются достаточно яркие положительные аномалии этого элемента за счет его активного выщелачивания из пород отвалов. Но так как барий в присутствии иона SO_4 не может долго сохраняться в растворах, он активно аккумулируется в почвах, вероятно, в форме гипергенного барита, что подтверждается приуроченностью максимальных концентраций бария к верхней части профиля. Контрастность аккумуляций бария в этих случаях (КК) на отдельных участках может составлять 2,0–2,5 (разрезы 203, 115). Но устойчивость положительных аккумуляций невелика, и они по мере освобождения почв от сульфат-иона (что ведет к вторичной интенсификации миграционной активности бария) замещаются отрицательными аномалиями. Максимальная (конечная) интенсивность выщелачивания бария характерна для элювиальных горизонтов почвенного профиля.

Третья группа — элементы с дифференцированным распределением концентраций в сфере влияния ТГ потоков. Для территории Кизеловского бассейна к этой группе относятся достаточно разные в геохимическом отношении элементы: ванадий, марганец, серебро и вольфрам. Общим для них является перемежаемость в пространстве зон активного выноса и заметного накопления, что связано с изменением условий миграции для этих элементов, в частности с формами местных геохимических барьеров.

Так как перечисленные элементы не представляют по геохимическим свойствам однородной группы, то зоны накопления или выщелачивания для одного элемента не совпадают в пространстве с участками аккумуляции или участками выноса других элементов (либо даже имеют противоположный знак). Это хорошо видно на примере марганца, ванадия и серебра (рис. 13). Активность миграции этих элементов существенным образом связана с характером окислительно-восстановительных условий: марганец наиболее подвижен в глеевой обстановке и осаждается на кислородном барьере, ванадий в восстановительных условиях теряет подвижность.

Таким образом, вне зависимости от длительности проработки почв ТГ потоками в сфере их влияния эти элементы формируют геохимические

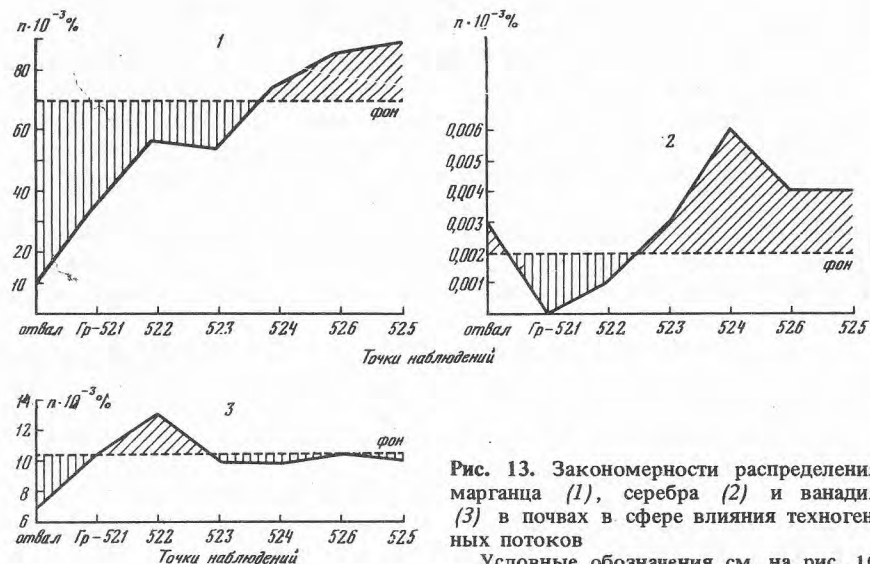


Рис. 13. Закономерности распределения марганца (1), серебра (2) и ванадия (3) в почвах в сфере влияния техногенных потоков
Условные обозначения см. на рис. 10

контрастные зоны — положительные и отрицательные аномалии, достаточно устойчивые при неизменности местных окислительно-восстановительных условий.

Четвертая группа — элементы слабого перераспределения в сфере влияния ТГ потоков рассмотренного типа. Для территории Кизеловского бассейна к ним можно отнести ниобий, свинец, олово. Концентрации этих элементов в загрязненных почвах близки к фоновым (КК и КР не превышают 1,1).

Закключение

Техногенные потоки являются носителями элементов и соединений, загрязняющих окружающую среду: почвы, воды, растительность, воздух. Они являются причиной глубокой геохимической трансформации свойств вмещающих их почв. Интенсивность и формы изменений определяются суммарным воздействием трех составляющих: взвесей, коллоидов и истинных растворов.

Агрессивность поступающих в почвы ТГ потоков за счет высоких концентраций в них свободной серной кислоты и сульфатов способствует активизации миграционных процессов — переводу в подвижные формы и интенсивному выносу ряда элементов, особенно элементов с переменной валентностью.

Имеет место формирование ТГ геохимических аномалий разного состава, размеров и контрастности.

Так, соотношения средних концентраций элементов в системе грунто-смеси отвалов — ТГ делювий — загрязненные почвы — фоновые незагрязненные дерново-подзолистые почвы (рис. 14) свидетельствуют о том, что по микрокомпонентному составу все эти объекты заметно различаются.

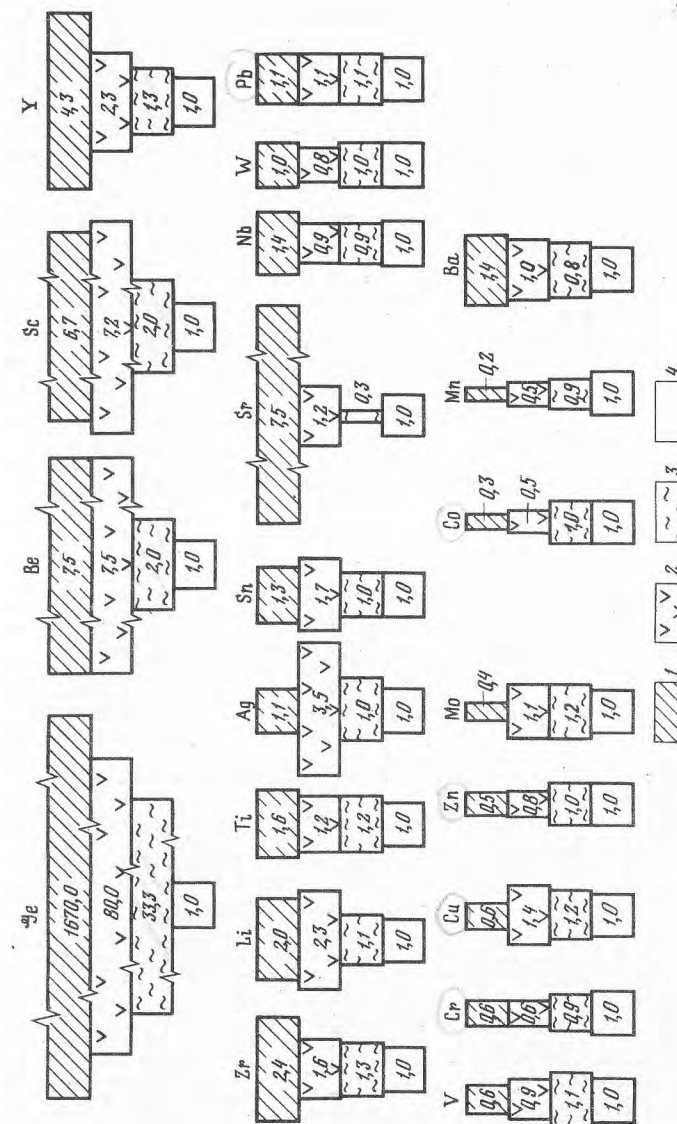


Рис. 14. Соотношение концентраций микрокомпонентов в системе
1 — грунто-смеси отвалов вскрышных пород; 2 — техногенный "делювий"; 3 — загрязненные почвы; 4 — фоновые (незагрязненные) дерново-подзолистые почвы

Таблица 11. Ассоциации элементов, формирующих геохимические аномалии в разных природных объектах в районах угледобычи (для условий южной тайги)

Окислительно-восстановительные условия	Природный объект	Положительные аномалии				Отрицательные аномалии	Относительно стабильное распределение элементов
		относительно устойчивые		относительно неустойчивые			
Преимущественно окислительные	В грунтосмесях	Ge, Sc, Y, Zr, Ti	Nb, Sn, Yb	Li, Be	Ba, Sr, Ag	Ni, Mn, Co, Cr	—
	В техногенном делювии		Pb		Cu	Zn	—
	В почвах		Fe (окис.)				Nb, Ag, Sn
Преимущественно восстановительные	В техногенном делювии	Ge, Sc, Mn, Fe (сульфид.), S, Yb					W, Sn
	В почвах						

При этом почвы, оказывающиеся в сфере влияния ТГ потоков, имеют четкие геохимические отличия как от незагрязненных разностей, так и от грунтосмесей — первичных источников загрязнения.

Грунтосмеси, составляющие отвалы вскрышных пород, представляют собой ярко выраженные новообразованные геохимические аномалии следующих элементов: а) положительные аномалии: $Ge > Yb > Be > Sr > Sc > Y > Zr > Li > Ti > Nb > Ba > Sn$; б) отрицательные аномалии — $V > Cr > Cu > Zn > Mo > Ni > Co > Mn$.

Устойчивость этих аномалий разная. В процессе гипергенной трансформации пород происходит относительное накопление отдельных элементов и усиление контрастности соответствующих положительных аномалий. В рассмотренном случае это аномалии Ge, Be, Sc, Y, Li, Ti, Nb.

Прогрессивный вынос многих элементов из грунтосмесей вследствие активного сернокислого гидролиза пород может вызывать ослабление контрастности некоторых положительных аномалий, например, Sr, Ag, в меньшей степени W и Sn, и усиление контрастности отрицательных аномалий Cr, Cu, Zn, Co, Mn.

Относительные скорости нарастания контрастности как положительных, так и отрицательных аномалий специфичны для каждого элемента. В некоторых случаях можно, вероятно, ожидать даже смены знака аномалии (например, для Sr).

Геохимический состав ТГ наносов достаточно резко отличается как от состава грунтосмесей, так и от исходного состава вмещающего их субстрата.

Хотя и в этом случае имеет место формирование положительных аномалий редкоземельных элементов Ge, Be, Y, Sc, но наиболее контрастными для техногенного делювия являются концентрации железа (до 55%) и алюминия (до 11%). Одновременно эти образования существенно обеднены такими микроэлементами, как Zn, Mn, Co, Cr; имеют место контрастные отрицательные геохимические аномалии этих элементов.

Но важнейшая геохимическая особенность ТГ делювия состоит в том, что материал наносов выступает не столько в роли инертного осадка, накапливающегося на поверхности почв, сколько является источником достаточно активных геохимических соединений, способных легко переходить в растворы и влиять на погребенные почвы.

В почвах, сопряженных с отвалами вскрышных пород, под действием поступающих от них агрессивных ТГ потоков также формируются положительные и отрицательные геохимические аномалии, но значительно менее контрастные. Так, относительно фона (местных дерново-подзолистых почв) в загрязненных разностях почв формируются положительные аномалии $Ge > Sc > Be > Y > Zr > Mo$ и отрицательные $Sr > Mn > Ba > (Co, Cr, Nb)$. Сравнение составов и контрастности положительных и отрицательных аномалий в грунтосмесях и трансформированных почвах свидетельствует не только о более низкой контрастности почвенных аномалий, но также о более узком наборе составляющих их элементов и несовпадении их элементного состава, что хорошо видно на рис. 14. Например, Sr в грунтосмесях входит в группу элементов, концентрации которых заметно превышают средние содержания в окружающих почвах. Но в сфере влияния ТГ потоков почвы (несмотря на привнос соединений этих

элементов) заметно ими обедняются. Так, содержание стронция составляет в среднем около 0,3 первоначального количества (см. рис. 14).

Устойчивость формирующихся под влиянием ТГ потоков и соответственно контрастность аномалий в загрязненных почвах также неоднозначны для разных элементов. Но закономерности формирования тех или иных аномалий в почвах значительно более сложные, чем для грунтосмесей пород, так как поведение элементов в почвах определяется большим количеством факторов (в частности, существенным образом определяется геохимией вмещающих ТГ потоки исходных природных ландшафтов). Поэтому в почвах, оказывающихся в сфере влияния ТГ потоков, выделяются отдельные участки — специфические геохимические зоны, различающиеся формами, интенсивностью и направленностью ТГ обусловленной трансформации исходных природных процессов.

Устойчивые положительные аномалии отдельных элементов пространственно могут совмещаться с устойчивыми отрицательными аномалиями других элементов (например, совмещение ореолов Ge, Se или Y с зонами выщелачивания Sr). Одновременно на этом фоне для ряда элементов имеет место контрастно выраженная перемежаемость в пространстве устойчивых зон активного накопления и существенного их выноса (что было показано, например, для Mn). Таким образом, по характеру распределения элементов в разных природных объектах (для условий Кизеловского бассейна) можно выделить следующие основные ситуации (табл. 11).

Показанная в табл. 11 группировка элементов по интенсивности их выноса или накопления в трансформированных почвах связана не только с окислительно-восстановительными условиями, но также с некоторым изменением кислотности почв — очень слабыми щелочными барьерами (при увеличении в почвах pH 3,3–3,4 против 2,0–2,5).

Для других элементов, например Ge, активность накопления в трансформированных почвах как в восстановительных, так и окислительных условиях может быть усилена и за счет сорбционной активности элемента.

Формирующиеся в восстановительных условиях положительные аномалии микроэлементов могут служить потенциальным источником вторичного деградирования ландшафтов при осушении территорий и переводе почв на окислительный режим функционирования.

Формирование первичных и вторичных ТГ геохимических аномалий разного состава, знака и контрастности, неоднозначных для отдельных природно-техногенных объектов, является фактом, достаточно важным в практическом отношении: разная геохимия этих образований определяет и необходимость индивидуального подхода к их мелиорации.

Литература

- Беус А.А., Грабовская Л.И., Тихонова Н.В. Геохимия окружающей среды. М.: Недра, 1976.
- Войткевич П.В., Мирошников А.Е., Поваренных А.С., Прохоров В.Г. Краткий справочник по геохимии. М.: Недра, 1977.
- Воронков П.П. Гидрохимия местного стока Европейской территории СССР. Л.: Гидрометеоздат, 1970.
- Геология месторождений угля и горючих сланцев СССР. М.: Недра, 1977.
- Денисова Т.Б. Влияние на окружающую среду горнодобывающей промышленности. — В кн.: Природные ресурсы Русской равнины в прошлом, настоящем и будущем. М.: Наука, 1976.

- Ершов В.М. Редкоземельные элементы в углях Кизеловского каменноугольного бассейна. — Геохимия, 1961, № 3.
- Инструкция по геохимическим методам поисков рудных месторождений. М.: Наука, 1965.
- Касимов Н.С. Геохимия ландшафтов зон разломов. М.: Изд-во МГУ, 1980.
- Кириллов Е.М. О содержании в золе углей Кизеловского бассейна элементов-примесей и некоторых закономерностях в их распределении. — Информ. бюл. Урал. геол. упр., 1958, № 5/6.
- Коротав Н.Я. Почвы Пермской области. Пермь, 1962.
- Кропачев А.М. К районированию микроэлементов в почвообразующих породах равнинной части Пермской области. — В кн.: Доклады 4-го Всеуральского совещания по физико-географическому и экономико-географическому районированию. Пермь, 1958.
- Кропачев А.М. Коэффициенты накопления как показатели миграционной способности химических элементов в зоне выветривания. — Докл. Геол. фак. Пермского ун-та, 1959, (Уч. зап.; Т. 14, вып. 1).
- Махонина Г.И., Чибрис Т.С. Агрохимическая характеристика терриконов угольных шахт Урала. — В кн.: Растения и промышленная среда. Свердловск, 1978.
- Миронов К.В. Поиски и разведка угольных месторождений. М.: Недра, 1966.
- Моторина Л.В., Овчинников В.А. Промышленность и рекультивация земель. М.: Мысль, 1975.
- Овчинников В.А., Федосеева Т.П. К вопросу классификации нарушенных земель. — В кн.: Современное землеустройство, изучение и организация рационального использования земельных ресурсов. М., 1972.
- Пахомов И.В. Геологическая изученность и перспективы развития Кизеловского бассейна. — Бюл. Горн. о-ва, 1957, № 1.
- Почвообразование в техногенных ландшафтах. Новосибирск: Наука, 1979.
- Тюлин В.В. Подзолистые почвы на покровных суглинках восточной окраины Русской платформы: Автореф. дис. ... д-ра с.-х. наук. М., 1963.
- Чазов Б.А. Геохимические ландшафты Пермской области. — В кн.: Химическая география. Пермь, 1961, вып. 1.
- Чазов Б.А. Природные и хозяйственные угодья Пермской области. — В кн.: География Пермской области. Пермь, 1962, вып. 1.
- Чазов Б.А., Девяткова С.Б. Научные достижения природной географии Пермской области — в практику коммунистического строительства. — В кн.: Вопросы географии Урала. Пермь, 1975, вып. 2.
- Чазов Б.А., Кропачев А.М. О некоторых геохимических особенностях природных ландшафтов Пермской области. — В кн.: Всесоюз. совещ. по ландшафтоведению. Рига, 1959 (Науч. зап. Латв. гос. ун-та; Т. 31).
- Чернов В.П. Типичные подзолистые почвы Пермской области, сформированные на покровных и моренных суглинках. — Почвоведение, 1965, № 3.
- Юдович Я.Э. Геохимия ископаемых углей. Л.: Наука, 1978.

N.B. SOLNTSEVA, Ye.M. NIKIFOROVA

Impact of technogenic flows on the forest soils geochemistry in areas of coal mining

The authors consider the main types of technogenic flows typical for areas of coal mining, the composition and properties of stripped rock files discharged at different time, and the geochemistry of pollutants flows related to them. The authors introduce the concept "technogenic deluvium". They show specific features of geochemical transformation in forest soils affected by technogenic flows. They reveal peculiar ways of technogenic geochemical anomalies of different composition, degree and extent. Both positive and negative geochemical anomalies have been found. Stable positive anomalies of some elements may spacially co-exist in space with stable anomalies of others. The composition of anomalies is shown to depend on the geochemical features of the initial landscapes affected by technogenic flows.

М.И. РОЖКОВА, Т.А. АЛЕКСЕЕВА, Т.А. ТЕПЛИЦКАЯ

Получение и исследование узких фракций полициклических ароматических углеводородов техногенных потоков

С каждым годом взаимодействие человека с окружающей его средой становится все интенсивнее. Коллективная техническая деятельность людей (техногенез) "является совершенно особым, весьма активным, все убыстряющимся и расширяющимся геохимическим процессом, не во всех своих звеньях поддающимся контролю и управлению" [Глазовская, 1968, с. 30]. Рассеяние и миграция побочных продуктов и отходов производства (дымы и газы промышленных предприятий, выбросы автомобильных двигателей, сточные воды) в виде многочисленных и разнообразных техногенных потоков оказывают все возрастающее влияние на природные среды и все в большей степени изменяют поверхность Земли [Хроматография..., 1965].

Полициклические ароматические углеводороды (ПАУ), благодаря своим токсичным, канцерогенным, мутагенным и тератогенным свойствам, являются серьезными загрязнителями окружающей природной среды, влияющими на здоровье как ныне живущих, так и будущих поколений [Шабад, 1973; Suess, 1976].

ПАУ находятся в атмосферном воздухе, почвах, водах, растительности в особо низких концентрациях. Так, содержание в воздухе индикатора группы ПАУ — широко распространенного и высокотоксичного углеводорода 3,4-бензпирена (БП) в 80 раз ниже содержания алифатических углеводородов, в 500 раз — *n*-алканов, в 3300 раз — фенолов. Если содержание БП в аэрозолях атмосферного воздуха на фоновых станциях составляет 0,001–0,01 нг/м³, в почвах заповедников — 0,01 мкг/кг, в чистых поверхностных водах — 0,0001 мкг/кг, то его содержание в местах интенсивного антропогенного воздействия возрастает на много порядков (до 1000 и более нг/м³ в аэрозолях воздуха крупных городов, до 100000 мкг/кг в почвах нефтеперерабатывающих и коксохимических заводов) [Ровинский, и др., 1979; Шабад, 1973; Zdrasil, Picha, 1966]. Средний фоновый уровень загрязнения бензпиреном почв при отсутствии ближайших антропогенных источников считают равным 1–3 мкг/кг, растительности — 1–5, донных отложений и водных растений — 1–3 мкг/кг при установленных в нашей стране предельно-допустимых концентрациях БП в воздухе населенных мест, равных 1 нг/л³, в воздухе рабочей зоны — 150 нг/м³, в поверхностном слое почвы — 20 мкг/кг и в поверхностных водах пресноводных водоемов — 0,005 мкг/л [Ильинский, 1975].

Находящиеся в природных средах ароматические углеводороды естественного происхождения и попадающие туда в результате антропогенной деятельности включаются в своеобразную циркуляцию вместе с другими органическими веществами: из воздуха они оседают на землю, загрязняя почву и водоемы, из почвы переходят в воду (в том числе грунтовую) и растения и далее по пищевой цепочке — в корма животных и в пищу человека [Шабад, 1973; Suess, 1976].

В настоящее время очень мало известно о тех превращениях, которым подвергаются различные загрязняющие органические вещества, в частности ПАУ, попадая в природные среды. Не известны также механизмы и конечные результаты влияния загрязнителей на гуминовые вещества почв, донных отложений, природных водоемов и других сред. Большой интерес представляет изучение трансформации органического вещества природных сред, загрязненных в результате действия на них техногенных факторов.

Большая часть работ по изучению ПАУ в окружающей природной среде посвящена определению уровней содержания широко распространенного канцерогена 3,4-бензпирена, тогда как современные представления в области токсичных и канцерогенных воздействий требуют выявления возможно большей группы ПАУ и особенно их замещенных аналогов, обычно обладающих высокими канцерогенными свойствами, для определения суммарного канцерогенного эффекта изучаемого продукта. Поэтому в работах последнего времени предложено выбрать в качестве приоритетных 16 ПАУ, содержащих от 2 до 6 бензольных колец, обладающих заметной канцерогенной активностью и наиболее широко распространенных в природных средах [Budde, Eichalberger, 1979]. Дополнительно к этим ПАУ желательно определить также ряд токсичных ароматических углеводородов, являющихся индикаторами тех или иных техногенных или геохимических процессов (табл. 1).

Для разделения ПАУ в различных природных и техногенных объектах широко используются хроматографические методы: колоночная и бумажная хроматография [Методические указания..., 1972], газожидкостная хроматография (ГЖХ) и жидкостная хроматография под давлением [Другов и др., 1979; Король и др., 1979; Руденко и др., 1977], тонкослойная хроматография (ТСХ) в закрепленных и незакрепленных слоях [Ахрем и др., 1964; Высокоэффективная тонкослойная хроматография, 1979; Методические указания..., 1972; Туренко и др., 1974; Хроматография..., 1965; Jaeger, 1977; Ketseridis, 1975; Thielemann, 1971, 1974]. Основная часть работ по анализу ПАУ посвящена исследованию аэрозолей воздуха и побочных продуктов производственных процессов. Сравнительно мало работ, посвященных изучению методов предварительного хроматографического разделения экстрактов почв и растений.

Большинство вышеперечисленных методов хроматографии имеет ряд общих и частных недостатков: длительность и громоздкость колоночной хроматографии, малая воспроизводимость результатов бумажной хроматографии, труднодоступность и сложность ГЖХ в сочетании с масс-спектрометрией, необходимость нанесения на старт относительно большой навески экстракта при ТСХ в незакрепленных слоях, использование высоких температур при ГЖХ и др.

Удобен при хроматографическом разделении метод ТСХ в закрепленных слоях с использованием готовых пластин, например марки "Silufol" [Туренко и др., 1974; Jaeger, 1977; Ketseridis et al., 1975; Thielemann, 1971, 1974]. Он не требует никаких предварительных операций (приготовления носителя в стандартных условиях, нанесения его на пластину, сушки) и дополнительных приборов и механизмов. Хроматографический акт длится не более 15 минут. Особенно важным является тот факт, что для нанесения на старт требуется малое количество экстракта (~0,1 мл, 1% раство-

Таблица 1. Приоритетные полициклические углеводороды

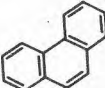
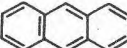
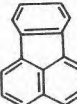
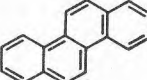
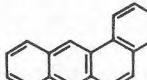
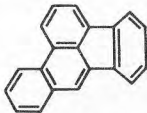
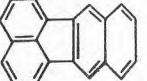
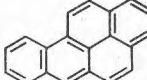
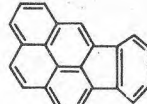
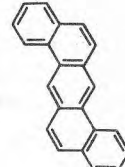
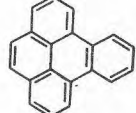
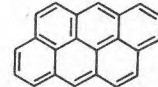
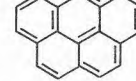
Соединение (система Клара)	Условное обозначение	Молекулярный вес	Молекулярная формула	Структурная формула	Канцерогенная активность
Нафталин	Н	128	$C_{10}H_8$		+
Аценафтилен	АЦН	152	$C_{12}H_8$		+
Аценафтен	АЦ	154	$C_{12}H_{10}$		+
Флуорен	Ф	166	$C_{13}H_{10}$		+
Фенантрен	ФН	178	$C_{14}H_{10}$		—
Антрацен	А	178	$C_{14}H_{10}$		±
Флуорантен	ФЛ	202	$C_{16}H_{10}$		—
Пирен	П	202	$C_{16}H_{10}$		—
Хризен	ХР	228	$C_{18}H_{12}$		+
Тетрафен	ТФ	228	$C_{18}H_{12}$		+
3,4-бензфлуорантен	БФЛ _{3,4}	252	$C_{20}H_{12}$		++
11,12-бензфлуорантен	БФЛ _{11,12}	252	$C_{20}H_{12}$		—

Таблица 1 (окончание)

Соединение (система Клара)	Условное обозначение	Молекулярный вес	Молекулярная формула	Структурная формула	Канцерогенная активность
3,4-бензпирен	БП _{3,4}	252	$C_{20}H_{12}$		+++
2,3-о-фениленпирен	ОФП	276	$C_{22}H_{12}$		+
1,12-бензперилен	БПЛ	276	$C_{22}H_{12}$		±
1,2-5,6-дибенз-антрацен	ДБА	278	$C_{22}H_{14}$		+++
1,2-бензпирен*	БП _{1,2}	252	$C_{20}H_{12}$		—
Перилен*	ПЛ	252	$C_{20}H_{12}$		—
Антантрен*	АНТ	276	$C_{22}H_{12}$		—
Коронен*	К	300	$C_{24}H_{12}$		—
"Нафтобензпирен-Д"***	НБП	352	$C_{28}H_{16}$		?

* Ароматические молекулы, не входящие в список приоритетных ПАУ, но широко распространенные в объектах окружающей среды.

** Предполагаемое название — 8,9-бензнафт (2'', 1'', 3,4-пирен) [Алексеева и др., 1981].

ра), что существенно для быстроты проведения анализа. Такого количества экстракта вполне достаточно для дальнейшего анализа ароматических углеводородов методом эмиссионной молекулярной спектроскопии в условиях эффекта Шпольского [Теплицкая, 1971].

Настоящая работа посвящена разработке метода разделения малых количеств широкой гаммы токсичных и канцерогенных ПАУ, содержащихся в различных природных средах, с последующим изучением их методами низкотемпературной спектрофлуориметрии в матрицах Шпольского [Алексеева, 1981].

Образцами при разработке методики служили следующие техногенные продукты и объекты техногенного влияния: 1) техническая сажа (ПМ-100); 2) дерново-подзолистая почва угольного бассейна, загрязненная в процессе угледобычи; 3) загрязненная городская почва; 4) образцы травяного покрова и лиственных растений, отобранные там же; 5) аэрозоли воздуха, отобранные на фильтры в пределах города и на фоновой станции.

Хроматографическое разделение проводилось на пластинах марки "Silufol". Силикагель силифоловых пластин представляет собой активный слой носителя, пригодный в первую очередь для разделения не слишком гидрофильных нейтральных и кислых веществ. Смеси растворителей, использованные в качестве подвижной фазы в работах с применением готовых силифоловых пластин [Туренко и др., 1974; Thielemann, 1971, 1974], оказались малоприменимыми для изучаемых объектов. Поэтому в нашем случае при выборе подвижной фазы учитывалось как строение самих ПАУ, так и характер веществ, сопровождающих их в изучаемых объектах.

Все растворители, применяемые в процессе экстракции и ТСХ, подвергались очистке. Критерием чистоты растворителей являлись отсутствие видимой люминесценции и спектральный контроль.

Спектральное изучение ароматических углеводородов после их хроматографического разделения проводилось в растворе н-гексана при 77°К на спектрофлуориметре "Флуорикорд" фирмы Берд-Атомик (Англия) с двумя скрещенными сканирующими монохроматорами на дифракционных решетках (600 штрихов/мм). Источником возбуждения служила лампа с ксеноновым накопителем системы XBO 150 W/1, приемником — ФЭУ EM1 9781A. Максимумы спектров возбуждения люминесценции и аналитические линии спектров флуоресценции (фосфоресценции) ПАУ, используемые для их идентификации в сложной смеси, приведены в табл. 2 [Алексеева, 1981].

Экстракция ПАУ из изучаемых объектов вместе с большим количеством сопутствующих веществ проводилась при комнатной температуре (холодный способ), для органического вещества почв и растений — последовательно н-гексаном и хлороформом. При этом в раствор переходит 85–90% подвергающихся дальнейшему исследованию ароматических углеводородов [Алексеева, 1981]. Экстракция ПАУ из аэрозолей воздуха проводилась только гексаном из-за растворимости фильтроматериала в хлороформе. Экстракция н-гексаном дерново-подзолистой почвы угольного бассейна не перевела органическое вещество почвы в раствор. В этом случае экстрагирование проводилось хлороформом. Полученный хлороформный экстракт упаривался досуха, остаток растворялся в эфире. Часть

Таблица 2. Аналитические максимумы спектров испускания ряда ароматических углеводородов, нм

Соединение	λ возб.	λ флуор.	λ фосф.
Нафталин	278, 289	322, 337	
Флуорен	265, 275	302, 309	
Фенантрен	257, 293	346, 364	463, 471
Флуорантен	362	408, 437, 468	534, 560
Пирен	337	372, 384, 393	
Хризен	269	361, 381	500, 507
Тетрафен	288	384, 408/414	
3,4-бензфлуорантен	301	396, 403, 424	525, 536
11,12-бензфлуорантен	310	404, 432	
3,4-бензпирен	370	403	
2,3-о-фениленпирен	380–400	465, 502	
1,12-бензперилен	370	406, 417, 420	
1,2–5,6-дибензантрацен	299	394	
1,2-бензпирен	291	389	526, 547
Перилен	421	447, 476	
Антрацен	410	434, 461	
Коронен	300, 343	446	563
"Нафтобензпирен-Д"	310	413, 437	

сухого экстракта в эфире не растворима, но она не содержала исследуемые ПАУ. Эфирный раствор упаривался досуха, остаток растворялся в гексане и подвергался хроматографированию. Сажа экстрагировалась только хлороформом, экстракт упаривался досуха, остаток растворялся в гексане.

Как правило, для нанесения стартовой зоны на используемом типе хроматографических пластинок применялись только гексановые растворы: другие растворители размывали стартовую линию, что не позволяло получать качественные хроматограммы.

При хроматографическом разделении экстрактов в качестве подвижной фазы были испытаны системы растворителей, как применявшиеся ранее в работах [Ахрем, Кузнецова, 1964; Высокоэффективная тонкослойная хроматография, 1979; Методические указания..., 1972; Туренко и др., 1974; Хроматография в тонких слоях, 1965; Jaeger, 1977; Ketseridis, 1975; Thielemann, 1971, 1974], так и предложенные авторами (табл. 3). Использование этих смесей давало различные результаты для разных типов экстрактов. Так, смеси, не содержащие полярных компонентов (смеси 1–16), не приводили к разделению экстрактов органического вещества дерново-подзолистой почвы угольного бассейна и суммарного экстракта лиственных растений: практически все вещество оставалось на старте. При использовании смесей 17–23 удавалось снять вещество со старта, однако четкого разделения на отдельные пятна не происходило. Применение смесей 24 и 25 было оптимальным (табл. 4).

При этом важно отметить, что примененная система растворителей позволяла отделять от ПАУ красящие пигменты в экстрактах растений и некоторых почв, наличие которых затрудняет проведение люминесцентно-спектрального анализа из-за спектральной конкуренции молекул ароматических углеводородов и пигментов.

Таблица 3. Состав растворителей, использованных для хроматографического разделения исследуемых экстрактов

№	Состав смеси	Соотношение компонентов
1	Гексан:бензол	8:2
2	Гептан:бензол	8:2
3	Октан-бензол	8:2
4	Гексан-хлороформ	8:2
5	Гептан-хлороформ	8:2
6	Октан-хлороформ	8:2
7	Петролейный эфир:бензол	8:2
8	Петролейный эфир:хлороформ	8:2
9	Гептан:бензол:хлороформ	2:4:4
10	Гептан:бензол:хлороформ	4:2:2
11	Гептан:бензол:хлороформ	4:1:1
12	Гептан:бензол:хлороформ	8:1:1
13	а) бензол; б) хлороформ; в) бензол:хлороформ	1:1
14	а) гептан; б) гептан:хлороформ	2:1
15	Октан:хлороформ	2:1
16	Бензол:толуол:циклогексан:гексан	26:2:18:4
17	Бензол:диэтиловый эфир	9:1
18	Метанол:диэтиловый эфир:вода	4:4:1
19	Бензол:диэтиловый эфир:вода	4:8:2
20	Бензол:этилацетат:метанол	4:4:1
21	Бензол:уксусная кислота	9:2
22	Бензол:этилацетат:уксусная кислота	4:4:2
23	Хлороформ:этилацетат:этанол	4:4:2
24	Бензол:этилацетат:муравьиная кислота 80%	4:4:2
25	Бензол:этилацетат:муравьиная кислота	75:24:1

Таблица 4. Хроматографическое разделение суммарного экстракта листовых растений и дерново-подзолистой почвы угольного бассейна системой бензол:этилформиат:муравьиная кислота (75:24:1)

Растения			Почва угольного бассейна		
№ пятна	R _f	Цвет	№ пятна	R _f	Цвет
1	0,152	Голубой	1	0,155	Голубой
2	0,292	Вишневый	2	0,350	Голубой
3	0,409	Алый	3	0,416	Красный
4	0,454	Вишневый	4	0,483	Голубой
5	0,510	Желтый	5	0,551	Фиолетовый
6	0,600	Алый	6	0,634	Синий
7	Финиш	Ярко-голубой	7	0,750	Ярко-салатный
			8	Финиш	Ярко-голубой

После завершения развития хроматограммы вещество каждой зоны экстрагировалось хлороформом, хлороформ выпаривался, остаток растворялся в гексане и подвергался люминесцентно-спектральному анализу. Во всех зонах, кроме финишной, отмечалось свечение бесструктурного фона различной интенсивности, а вся гамма изучаемых ПАУ была обнару-

жена лишь в последней зоне. Вещество последней зоны вновь хроматографировалось, причем наилучшее разделение происходило при использовании смеси 9 (см. табл. 3). При этом происходило разделение на четыре зоны различной окраски и интенсивности свечения под УФ-светом. Особенно удобным оказалось то обстоятельство, что финишная зона хроматографии системой бензол:этилформиат:муравьиная кислота (75:24:1) может служить стартом для последующей хроматографии системой гептан:бензол:хлороформ (2:4:4). Обращает на себя внимание и тот факт, что системой растворителей № 25 (см. табл. 3) в большей степени, чем другими применяемыми системами, удавалось отделить фракцию ПАУ от сопутствующих ей веществ, дающих в спектре диффузное свечение фона. Такой вывод справедлив и для остальных изучаемых экстрактов. Однако в экстрактах из аэрозолей воздуха и сажи, вещества которых являются продуктом высокотемпературного пиролиза, содержится гораздо меньше смолистых и иных сопутствующих ПАУ компонентов, дающих в спектрах люминесценции сплошное фоновое свечение. Это позволило проводить хроматографическое разделение таких экстрактов без предварительного выделения из них фракции ПАУ. Наиболее удачным в данном случае оказывается применение смесей 1—8 и 16 (табл. 3); смеси н-парафиновых растворителей с хлороформом разделяли ПАУ хуже, чем смеси н-парафина с бензолом.

Смеси растворителей, содержащих более полярные компоненты, использовавшиеся в качестве подвижной фазы для разделения ПАУ на сходных адсорбентах [Методические указания, 1972; Хроматография в тонких слоях, 1965], на силуфоловых пластинах не давали хороших результатов.

Экстракты аэрозолей сильно загрязненного городского воздуха хроматографировались смесью 8 (см. табл. 3). Результаты идентификации большой гаммы ПАУ из экстракта аэрозолей воздуха приведены в табл. 5.

Распределение соединений по хроматограмме происходило в соответствии с их молекулярным весом: более легкие ароматические углеводороды поднимаются выше до финиша, а в зонах ближе к старту располагаются более тяжелые многокольчатые углеводороды. При этом близкие по структуре и изомерные молекулы (1, 12-бензперилен и коронен, хризен и тетрафен) попадают в одни и те же зоны. Из тех ПАУ, которые в полученных зонах являются преобладающими, шесть ароматических углеводородов входят в список приоритетных ПАУ: это очень сильные канцерогены 3,4-бензпирен и 1,2—5,6-дibenзантрацен, углеводороды средней активности тетрафен и хризен, слабый канцероген 1,12-бензперилен и 11,12-бензфлуорантен. Количественно каждый углеводород должен определяться в тех зонах, где он идентифицирован. Например, 3,4-бензпирен определялся как основное соединение в зоне 6 и как дополнительное — в зонах 5 и 7 (количественные соотношения в основной и дополнительной зонах различаются примерно на порядок). Гомологи ПАУ, для которых на используемом приборе малой разрешающей способности был определен только групповой углеводородный состав, количественно не определялись¹. В

¹ Для группы пиренов в ряде случаев возможно выделение индивидуальных молекул (3-метил, 3-этилпирены); в группе хризенных можно говорить о более простом (моно) и более сложном (ди, три) замещении.

Таблица 5. Хроматографическое разделение и идентификация ПАУ в н-гексановом экстракте из аэрозолей городского воздуха (подвижная фаза — петролейный эфир:бензол — 8:2)

Хроматографическое разделение ПАУ			Спектрофлуориметрическая идентификация ПАУ		
№	R _f	Цвет	Основные ПАУ	Дополнительные ПАУ	Гомологи
1	0,097	Голубой	—	—	Перилены
2	Распыл- чатое	Голубой	—	БП _{3,4} ; БПЛ; НБП	Тетрафены Пирены
3	0,516	Желтый	ДБА	БФЛ _{11,12} ; БП _{3,4} БПЛ; НБП	Пирены
4	0,581	Голубой	БФЛ _{11,12} ; НБП	БП _{3,4} ; БПЛ; К	Пирены
5	0,678	Желтый	БПЛ; К	БП _{3,4} ; НБП	Хризены Пирены
6	0,758	Фиолетовый	БП _{3,4}	БП _{1,2} ; К; ТФ; БПЛ	Хризены
7	0,822	Голубой	ХР; ТФ; БП _{1,2}	БП _{3,4}	Хризены
8	Финиш	Фиолетовый	—	—	Бензфлуорены Флуорены Нафталины Хризены

этом случае можно было говорить только об интенсивном или слабом проявлении их в спектре.

Хроматографическое разделение фракции ПАУ, проведенное для перечисленных в работе объектов, показало, что при переходе от одного объекта к другому меняется состав основных и дополнительных ПАУ, входящих в зоны. Так, основными углеводородами в экстракте сажи являются пирен, флуорантен, 1,12-бензперилен и коронен, гомологи пирена, в экстрактах почв — хризен и его гомологи, в аэрозолях воздуха на фоновой станции — пирен, 3,4-бензпирен, 1,12-бензперилен, перилен, антантрен, коронен. Такое хроматографическое разделение помогает выделить и накопить те ароматические углеводороды, которые трудно идентифицировать в нефракционированном экстракте (3,4- и 11,12-бензфлуорантены, 1,2,5,6-добензантрацен), а также более отчетливо выявить и количественно проанализировать те ПАУ, которые определены и в нефракционированном экстракте.

Важным вопросом является определение потерь ПАУ в результате хроматографического разделения экстракта. Коэффициенты потерь следует вводить для количественного определения каждого из ароматических углеводородов с учетом природы исследуемого объекта (почва, воздух и др.). Так, например, при определении 3,4-бензпирена в органическом веществе почв потери во время проведения двукратной хроматографии на силиколовых пластинах достигали 40%. Другими исследователями показано, что потери бензпирена при хроматографическом разделении фракции ПАУ на незакрепленном слое также были высоки и составляли 30% [Кертес, 1977].

Таким образом, результаты проведенных экспериментов показывают, что применение ТСХ на закрепленном слое силикагеля ("Silufol") эффективно для разделения небольших количеств исходных многокомпонентных смесей, что особенно важно для экспрессности анализа. Такое разделение может быть полезно для более четкого выявления широко распространенных приоритетных токсичных и канцерогенных ПАУ. Использование метода для количественного анализа должно сочетаться с определением коэффициентов потерь анализируемых ПАУ с учетом особенностей изучаемого объекта. ТСХ на закрепленном слое — необходимое предварительное звено в спектрофлуориметрических исследованиях полициклических углеводородов, являющихся важной составной частью техногенных потоков экосистем.

Литература

- Алексеева Т.А., Теплицкая Т.А. Спектрофлуориметрические методы анализа ароматических углеводородов в природных и техногенных средах. Л.: Гидрометеоиздат, 1981.
- Ахрем А.А., Кузнецова А.И. Тонкослойная хроматография. М.: Наука, 1964.
- Высокоэффективная тонкослойная хроматография/Под ред. В.Г. Березкина. М.: Мир, 1979.
- Глазовская М.А. Техногенез и проблемы ландшафтно-геохимического районирования. — Вестн. МГУ. Сер. 5, География, 1968, № 1.
- Другов Ю.С., Березкин В.Г. Анализ воздушных загрязнений методом газовой хроматографии. — Успехи химии, 1979, т. 48, вып. 10.
- Ильницкий А.П. Канцерогенные углеводороды в почве, воде и растительности. — В кн.: Канцерогены в окружающей среде. М.: ВНИИМ и МТИ, 1975.
- Кертес М. Канцерогенные полициклические ароматические углеводороды в загрязнении атмосферного воздуха в Венгрии: Автореф. дис. ... канд. биол. наук. М., 1977.
- Король А.Н., Лысюк Л.С. Хроматографические методы определения полиядерных углеводородов в окружающей среде. — Журн. аналит. химии, 1979, т. 34, вып. 3.
- Методические указания по определению канцерогенных полициклических ароматических углеводородов, в частности бенз(а)пирена, в различных промышленных и природных продуктах. — М.: МЗ СССР, 1972.
- Ровинский Ф.Я., Алексеева Т.А., Теплицкая Т.А. Исследование фонового содержания полициклических ароматических углеводородов в атмосферном воздухе. — Метеорология и гидрология, 1979, № 6.
- Руденко Б.А., Смирнова Г.И. Использование метода газожидкостной хроматографии для анализа загрязнений атмосферы. — Журн. аналит. химии, 1977, т. 32, вып. 2.
- Теплицкая Т.А. Квазилинейчатые спектры люминесценции как метод исследования сложных природных органических смесей. — М.: Изд-во МГУ, 1971.
- Туренко Ф.П., Михалева М.Н., Белов А.А. Изучение органического вещества анодных газов электролизеров. — Тр. Алтайского политехн. ин-та, 1974, вып. 41.
- Хроматография в тонких слоях/Под ред. Э. Шталя. М.: Мир, 1965.
- Ullrich L.M. О циркуляции канцерогенов в окружающей среде. — М.: Медицина, 1973.
- Budde W.Z., Eichelberger J.W. Organic in the environment. — Anal. Chem., 1979, vol. 51, N 6, p. 567A–574A.
- Jaeger J. Contribution to the fluorometric method of analysis for atmospheric benzo(a)pyrene. — Ztschr. Anal. Chem., 1977, Bd. 284 (4), S. 283–285.
- Ketseridis G., Hahn J. Bestimmung der organischen Bestandteile von Aerosolpartikeln aus Reinsluft. — Ibid., 1975, Bd. 273 (4), S. 257–261.
- Suess M.J. The environmental load and cycle of polycyclic aromatic hydrocarbons. — Sci. Total Environ., 1976, vol. 6, p. 239–250.
- Thielemann H. Über den dünnstschichtchromatographischen Nachweis und die Trennung einiger aromatischer Kohlenwasserstoffe on Silufol-Fertigfolien UV 254. — Mikrochim. acta, 1971, N 5, S. 838–840.

Thielemann H. Verwendung von Fertigfolien für die Dünnschichtchromatographie zur horizontalen Entwicklung ("Rundfilterchromatographie"). — Ztschr. Chem., 1974, Bd. 14, N 5, S. 200—201.

Zdravil J., Picha F. The occurrence of the cancerogenic compounds 3,4-benzpyrene and arsenic in the soil. — Neoplasma, 1966, vol. 13, N 11, p. 49—55.

M.I. ROZHKOVA, T.A. ALEKSEEVA, T.A. TEPLITSKAYA

**Separation and investigation
of simplified fraction of polycyclic aromatic
Hydrocarbons in the technogenic flows**

Under discussion are methods to separate small quantities of various toxic and cancerogenic polycyclic aromatic hydrocarbons using thin-layer chromatography on a fixed silicagel sheet. The method is proved to be effective for further studies of polycyclic aromatic hydrocarbons by means of low temperature spectrofluorometry in Schpolisky matrices. Optimum variants of selected solvents are offered for extraction and chromatography. Polycyclic aromatic hydrocarbons typical for various environment objects are listed up.

ЧАСТЬ II

Природные и техногенные геохимические аномалии и устойчивость экосистем

УДК 550:4+577.4+631.4

М.А. ГЛАЗОВСКАЯ

Природные аналоги техногенных геохимических аномалий

Состояние вопроса и задачи исследования

Высокие концентрации и необычные для биосферы соотношения химических элементов в техногенных ореолах и потоках рассеяния вызывают существенные изменения в состоянии экосистем. Изучение этих явлений находится в настоящее время в центре внимания биологов и геохимиков. Оформилось особое направление науки — геохимическая экология, изучающая взаимодействие организмов и их сообществ с геохимической средой [Ковальский, 1974]. Исследования, выполненные в Биогеохимической лаборатории Института геохимии и аналитической химии им. В.И. Вернадского АН СССР, показали существенное влияние избыточности или недостаточности химических элементов в среде обитания на многие жизненные функции растений, животных и человека.

Для многих групп микроорганизмов выявлена адаптация к избытку урана, молибдена, меди, ванадия, селена, бора и других элементов. Установлено их накопление в биомассе по мере увеличения концентрации в среде обитания. Определено, что пороговые концентрации элементов, выше которых нарушаются жизненные функции микроорганизмов для одного и того же вида, изменяются в значительных пределах и зависят от содержания изучаемых микроэлементов в почвах, из которых выделены штаммы микроорганизмов. Наиболее высокие пороговые концентрации выдерживают штаммы, выделенные из почв с высоким содержанием микроэлементов, т.е. уже адаптированные к геохимически аномальным условиям. Доказана генетическая природа этой адаптации [Летунова, Ковальский, 1978].

Для анализа адаптации высших растений к избыточности микроэлементов в среде обитания могут быть использованы многочисленные материалы биогеохимических поисков рудных месторождений.

Связь содержания микроэлементов в высших растениях (и отдельных их органах) с содержанием этих элементов в почвах над рудными залежами в геохимически аномальных условиях и вне вторичных ореолов рассеяния в условиях нормального геохимического фона изучается в различных районах СССР и в других странах (Канаде, Австралии, Новой Зеландии) уже длительное время. Наиболее детальные исследования такого рода, охватившие широкий круг микроэлементов (свинец, цинк, медь, молиб-

ден, бор, фтор, бериллий и др.) и широко распространенные виды растений (древесных и травянистых), проведенные в таежной зоне Сибири и Канады, обобщены в монографиях А.Л. Ковалевского [1974, 1975, 1979]. Выявлены виды растений, наиболее чутко реагирующие на изменение концентраций микроэлементов в почвах, и виды растений, сохраняющие определенный уровень содержания микроэлементов в золе в широком диапазоне изменения содержания элементов в почвах; последние обладают определенными физиологическими особенностями, защищающими растения от избытка микроэлементов.

В результате этих исследований накоплен большой фактический материал, представляющий интерес не только для поисков полезных ископаемых, но и для разработки теории экологии растений, их сообществ и геосистем в целом, сформировавшихся в экстремальных геохимических условиях, действующих в течение геологического времени. Изучение геохимически редких ландшафтов, сформированных над рудными залежами, в зонах разломов, разгрузки вод, обогащенных редкими и рассеянными элементами, часто высокоминерализованных, сильнокислых или сильнощелочных, представляет большой интерес для прогноза влияния техногенеза на природную среду. Многие природные потоки и ореолы рассеяния рудных элементов являются аналогами техногенных потоков и техногенных аномалий.

Ландшафты, формирующиеся в сфере влияния современных вулканов, действующих подобно гигантским домам, выбрасывающим в атмосферу огромное количество разнообразных газов — сернистого, аммиака, окислов азота, являются также очень интересным и перспективным объектом для изучения длительного воздействия этих веществ на экосистемы. Не менее интересны экосистемы, формирующиеся вблизи гидротерм и других минеральных источников, по химическому составу аналогичных в ряде случаев сточным водам. Большой интерес представляют в этом отношении грязевые вулканы, приуроченные часто к нефтегазоносным областям. По ним идет разгрузка минерализованных вод, во многом аналогичных пластовым водам нефтяных залежей, поступают на поверхность растворимые фракции нефти и летучие углеводороды.

Ниже приводятся результаты исследований двух существенно различных типов геохимически редких ландшафтов. Первый из них — Гайская ландшафтно-геохимическая аномалия на Южном Урале — сформировался в зоне сухих степей под воздействием кислых сульфатных вод зоны окисления медноколчеданного месторождения, второй тип характеризует грязевулканические ландшафты полупустынь Азербайджана. В полевых исследованиях на Южном Урале В.С. Аржанова, П.В. Елпатьевский и Е.А. Мансурова, в Азербайджане — А.Г. Ахмедов. Химические анализы почв выполнены в лаборатории кафедры геохимии ландшафтов и географии почв географического факультета МГУ В.С. Аржановой и А.Г. Ахмедовым, спектральные анализы почв и золы растений — в лабораториях Южно-Уральского геологического управления и Центральной геохимической экспедиции ИМГРЭ, спектральные анализы золы животных — в Биогеохимической лаборатории Института им. В.И. Вернадского АН СССР И.Ф. Грибовской.

Гайская ландшафтно-геохимическая аномалия

Среди мелкосопочных денудационно-аккумулятивных степных равнин юго-восточного Зауралья находится одно из медноколчеданных месторождений, получившее свое название по расположению вблизи него двух небольших березовых рощ (т.е. леса, или "гай") — явления, необычного для господствующих на прилегающих равнинах засушливых ковыльно-типчаковых степей. Климат этой территории континентальный. Июльский максимум температуры достигает 35° , январский минимум — 44° ; среднее годовое количество осадков составляет 340 мм с минимумом в отдельные годы до 127 мм. Сухое жаркое лето с сильными ветрами способствует иссушению почв. В почвенном покрове преобладают маломощные, карбонатные черноземы.

Для растительного покрова типична формация ковылково-типчаковых степей (*Stipa Lessingiana*, *Festuca sulcata*) с значительным участием грудницы (*Linosyris villosa*). Вне влияния месторождений в почвах мало меди — $0,6 - 2,3 \cdot 10^{-3}\%$ при молярном содержании $1,2 - 1,4 \cdot 10^{-3}\%$ (рис. 1). Макси-

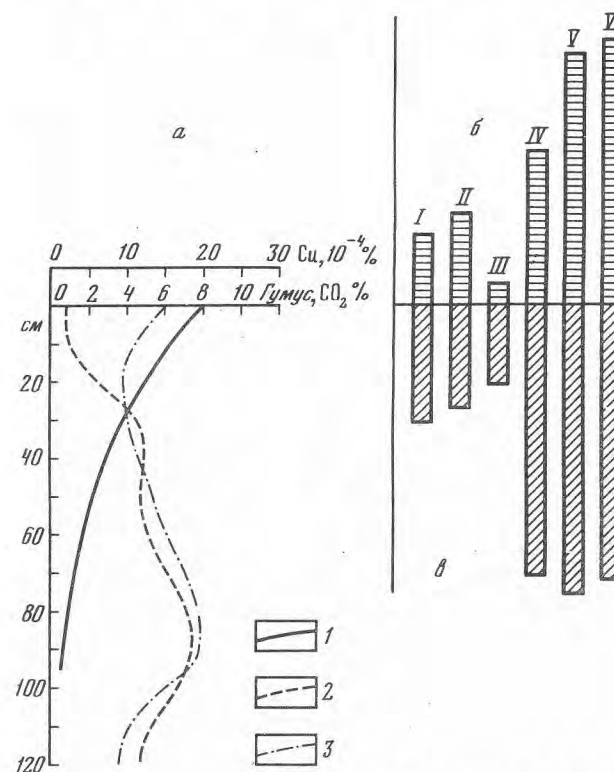


Рис. 1. Содержание меди в черноземе и растениях в нормальном геохимическом поле
 а — в профиле чернозема; 1 — гумус; 2 — CO_2 , карбонатов; 3 — медь; б, в — в золе растений: б — в надземных частях; в — в корнях; I — *Stipa Lessingiana*; II — *Stipa capillata*; III — *Festuca sulcata*; IV — *Linosyris villosa*; V — *Artemisia dracunculus*; VI — *Artemisia sericea*

Таблица 1. Химический состав грунтовых вод района медноколчеданного месторождения, мг-экв/л

№ скважин и разрезов (р.)	pH	Минерализация, г/л	HCO ₃	Cl	SO ₄	Ca	Mg	
Скв. 44	2,2	6,152	Не обн.	43,0	50,9	18,8	11,7	
Скв. 52	4,9	6,032	"	13,4	77,8	27,8	22,0	
р. 40	1,1	Не опр.	"	1,5	53,9	11,5	26,9	
Купоросное озеро	3,5	3,04	"	10,2	41,5	8,2	6,8	
р. 46	4,5	Не опр.	"	0,55	43,9	24,0	Не опр.	
р. 8004	4,6	3,51	"	13,3	24,4	32,9	9,4	
р. 8018	6,4	2,285	3,5	19,0	31,0	29,6	6,6	
р. 8040	6,1	5,685	3,2	20,9	39,0	29,1	21,1	
р. 8041	6,4	3,92	4,4	5,7	39,0	23,5	19,7	

мальное содержание меди обычно приурочено к карбонатному горизонту черноземов (рис. 1, а) или она распределена по профилю равномерно.

Как известно, растения одного местобитания могут существенно различаться по химическому составу и соотношению элементов в золе. В рассматриваемом случае в золе растений сухой степи, произрастающих на южных черноземах с низким содержанием меди, наблюдается накопление этого элемента как в надземных частях, так и в корнях: коэффициент биологического поглощения (Кб) меди для большинства растений больше 1. Наибольшее содержание меди обнаруживается в золе сложноцветных, особенно польней (Кб — 5—7), наименьшее — в злаках (Кб — 1,5—2,0). В корнях растений меди больше, чем в надземных частях (см. рис. 1, б, в).

На каменистых сопках появляются кустарники (*Caragana frutex*, *Cotoneaster*), а в ложках по северным склонам сопки — изредка березы. На межсопочных равнинах, сложенных тяжелыми четвертичными суглинками, подстилаемыми плиоценовыми пестроцветными гипсоносными и засоленными глинами, древесная растительность в обычных геохимических условиях отсутствует. Березовые рощи на аккумулятивной равнине вблизи Гайского медноколчеданного месторождения появляются в районе приближения к поверхности потока очень кислых, сильноминерализованных сульфатных вод с большим содержанием металлов — железа, алюминия, меди, цинка, свинца (табл. 1). Эти воды формируются в зоне окисления рудных тел, богатых серным колчеданом, на глубине 30—50 м от поверхности. Образующаяся при этом серная кислота выщелачивает рудные элементы и разлагает минералы вмещающих пород.

Рудные тела Гайского месторождения залегают в крыльях небольшой антиклинали — структуре, сложенной палеозойскими вулканогенно-осадочными породами. В рельефе эта структура выделяется в виде невысокой меридионально вытянутой гряды, сложенной вторичными кварцитами. Мощность коры выветривания составляет 50 м и более. К югу от подножия гряды кора выветривания перекрыта юрскими континентальными отложениями — глинами, перемежающимися с песками и галечниками. На юрские отложения налегают пестроцветные плиоценовые глины, перекрытые в свою очередь четвертичными суглинками. В 1,2 км от месторождения

Fe ³⁺	Fe ²⁺	Al	Данные спектрального анализа, мг/л					SO ₄ /Cl
			Cu	Ag	Ni	Co	Zn	
45,0	146,1	127,4	7,5	Не определены		Не обнаружены		1,2
Не опр.	486,2	200,2	1,4	"		"		5,8
"	Не опр.	Не опр.	2,0	"		Не обн.	10,0	35,9
27,0	35,0	234,0	20	Не обн.	Следы	0,001	0,3	4,0
Не опр.	Не опр.	Не опр.	20	"	"	Не обн.	10,0	79,8
"	23,3	"	3,2	"	0,004	0,01	0,10	1,81
"	8,5	"	0,08	"	Следы	0,001	Следы	1,6
"	9,6	"	0,07	Следы	"	0,001	"	1,6
"	0,58	"	0,008	Не обнаружены		"		6,9

мощность плиоценовых и четвертичных отложений уменьшается и водоносные юрские пески и галечники с напорными кислыми минерализованными водами приближаются к поверхности [Елпатьевский, 1958].

Водоносный горизонт с кислыми сульфатными водами находится на глубине 1,5—2,0 м. В верховьях одного из неглубоких небольших логов, открывающихся в долину р. Колпачки — притоку р. Урала, воды выходят на поверхность в виде источника и дают начало "Купоросному" ручью. Ранее воды источника стекали по плоскому, врезанному относительно прилегающей равнины на 1,0—1,5 м, руслу. В момент проведенных исследований на месте источника была сделана запруда, и образовался небольшой водоем "Купоросное озеро", грязи которого использовались в лечебных целях. Химический состав вод "Купоросного озера" и грунтовых вод, вскрытых в почвенных разрезах, аналогичен составу вод зоны окисления рудных залежей (табл. 1).

Изучение влияния кислых вод на экосистемы представляет интерес в связи с тем, что они по составу аналогичны рудничным водам и водам, вытекающим из-под отвалов пустой породы и угольных терриконов, содержащих пирит и сульфиды других металлов. В ареале близкого залегания к поверхности кислых сульфатных вод и выхода их на поверхность сформировался резко аномальный геохимический ландшафт, характеризующийся распространением кислых солончаковых почв и особой растительности (рис. 2).

Непосредственно выше выхода источника на поверхность и по берегам небольшого искусственного водоема ("Купоросного озера") естественная растительность сильно вытоптана. На более чистых местах сохранились участки влажного луга с очень пышными ярко-зелеными куртинами полевицы (*Argostis alba*) и вейника (*Calamagrostis epigeios*); высота растений 130—150 см. Несколькими дальше от берега водоема к ним примешиваются *Bromus inermis*, *Atropis distans*, *Chenopodium urbicum*.

Поверхность почвы между куртинами покрыта ярко-охристой (железистой) корочкой и выцветами солей.

Разрез 40 вскрыл очень кислую торфяно-иловатую солончаковую почву: 0—0,5 см — яркая охристая, местами кирпично-красная, рыхлая корочка;

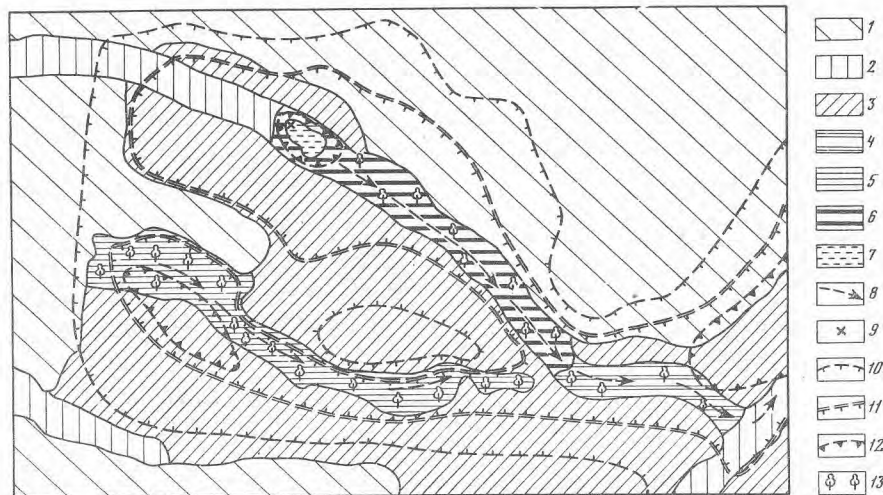


Рис. 2. Схематическая почвенная карта и среднее содержание в почвах меди в пределах Гайской геохимической аномалии. Составлена В.С. Аржановой и П.В. Елпатьевским

Почвы: 1 — черноземы карбонатные; 2 — лугово-черноземные карбонатные; 3 — лугово-черноземные солонцеватые в комплексе с солончаковатыми солонцами; 4 — луговые солончаковатые нейтральные и слабокислые гипсоносные; 5 — луговые солончаковатые кислые и нейтральные в сочетании с луговыми осолоделыми; 6 — солончаки и лугово-солончаковые кислые ожелезненные; 7 — лугово-торфянистые солончаковые кислые ожелезненные; 8 — сухие русла логов; 9 — источник купоросных кислых сульфатных вод. Границы ареалов со средним содержанием меди в почвах (%): 10 — 0,1–0,05; 11 — 0,06–0,1; 12 — 0,1; 13 — березовый лес

0,5–30 см — слоистый торфянистый горизонт: перемежаются слои более темного и более светлого торфа различной степени разложения, влажный;

30–60 см — черный илистый, с хорошо выраженной охряной структурой тяжелый суглинок, мокрый. На глубине 50 см стоит вода.

Анализы (табл. 2) свидетельствуют об интенсивном накоплении солей и трехвалентного железа на поверхности. Почвы преимущественно сульфатно-магниево-натриевого типа засоления при очень кислой реакции всей их толщи. Содержание меди относительно местного фона повышено в 5–10 раз, с максимумом над горизонтом грунтовых вод.

Ниже запруды сухое дно Купоросного лога имеет разреженную растительность; на обнаженной поверхности, покрытой солевыми выцветами и охристыми корочками, выделяются отдельные небольшие участки, заросшие *Atropis distans*, *Spergularia salina*, *Agropyrum repens*, *Mulgedium tatarica*, *Heleocharis palustris*, *Sonchus arvensis*, *Odontites salina*, *Juncus sp.*; выделяются отдельные пышные куртины *Agrostis alba*. Анализы солончаковых корочек с поверхности почв (см. табл. 2) свидетельствуют о том, что все названные растения мирятся не только с высоким содержанием легкорастворимых солей и очень кислой реакцией, но и с очень высоким содержанием меди, превышающим содержание ее в почвах данного региона более чем в 100 раз, а вблизи источника — более чем в 350 раз.

Вдоль сухого русла Купоросного ручья на двух низких террасовидных поверхностях, превышающих днище на 0,5–0,7 и 1,0–1,5 м, протягиваются полосы березовых насаждений шириной в 100–150 м. Высота деревьев 12–15 м при окружности стволов 30–55 см, сомкнутость крон 40–50%. У многих берез стволы при основании изогнуты, некоторые деревья имеют сухие вершины, на нижних ветках много сухих сучьев. Имеется подрост березняка и осинника высотой 1,5–2,5 м, местами образующий густые заросли. Вокруг стволов обычна березовая поросль высотой в несколько сантиметров, густая, но с пожелтевшими уже в июле листьями. В подлеске много кустарников *Rosa sp.*, *Spiraea hypericifolia*, *Caragana frutex*, *Cytisus ruthenicus*. Травяной покров разреженный (покрытие 35–40%), но высокий и состоит в основном из *Sanguisorba officinalis*, *Tanacetum vulgare*, *Calamagrotis epigeios*; встречается *Asparagus officinalis*. Нижний травяной ярус образован *Hieracium umbellatum*, *Tanacetum vulgare*, *Libanotis sibirica*.

На более высоком террасовом уровне к названным растениям прибавляются *Gypsophila altissima*, *Arenaria longifolia*, *Artemisia pontica*, *Hieracium umbellatum*, *Achillea nobilis*.

На поверхности почвы видны частые, но не очень обильные выцветы солей и охристые налеты. На березах, растущих вблизи русла, солевые выцветы наблюдаются и на нижней прикорневой части стволов.

Разрез 46, заложенный в 250 м от "Купоросного озера" на нижнем террасовом уровне, непосредственно рядом с руслом, вскрыл почвенный профиль лугового солончака. Уровень грунтовых вод установился на 125 см.

Приводим морфологическое описание разреза 46:

0–3 см — слой подстилки из березовых листьев, пропитанный солями, образующими на поверхности почвы выцветы;

3–30 см — желтовато-серый иловато-торфянистый, слоеватый, влажноватый;

30–63 см — охристо-желтый пылеватый суглинок с черными торфянистыми пятнами и прослоями; пронизан многочисленными тонкими корнями березы, влажный;

63–90 см — желто-бурый суглинок, более влажный, чем предыдущий, с охристыми пятнами и белыми выделениями гипса и других солей;

90–135 см — желто-бурый мокрый суглинок с обильными белыми прожилками и пятнами солей.

Распределение легкорастворимых солей с максимумом в горизонте 0–10 см типично для солончака. Как и в ранее рассмотренном разрезе 40, максимум воднорастворимого железа приурочен к верхнему горизонту. Анализы свидетельствуют о наличии водорастворимых соединений двух- и трехвалентного железа. Вяжущий вкус грунтовой воды свидетельствует о наличии железных квасцов в водах, подтягивающихся по капиллярам к поверхности. Здесь в окислительной обстановке при испарении влаги идут процессы окисления и гидратации железа и происходит выпадение его в форме гидроокислов. В почве сохраняется на всем протяжении профиля кислая реакция, в ней много гипса; содержание меди по всему профилю выше, чем в ближайшей к источнику почве (разрез 40).

На террасе, возвышающейся над руслом на 1,5–1,7 м, выцветы солей на поверхности почв очень редки; травяной покров более сомкнут.

Таблица 2. Содержание меди, водорастворимых солей и значения pH в почвах, находящихся под воздействием кислых сульфатных вод

Место и № разреза (р.), почва	Глубина, см	pH	Cu		Водная вытяжка	
			10 ⁻³ %	кларк концентраций	плотный остаток, %	
Купоросный лог у выхода источника, заболоченный луг, р. 40, кислая торфяно-ило-ватая солончаковая почва	0-0,5	2,1	6	2	5,75	
	0,5-10	2,2	8	2,7	1,85	
	20-30	2,4	10	3,3	0,85	
	50-60	3,0	13	4,3	0,66	
Купоросный лог, сухое русло, солончаковый луг. Железистые и солевые корки на поверхности почв, р. 1,3 в 100 м от источника	0-5	2,2	200	66,6	6,94	
	0-5	3,0	200	66,6	3,95	
	0-5	2,0	200	66,6	7,95	
То же, р. 45 в 150 м от источника	1-6	2,0	500	166,6	1,48	
Купоросный лог, терраса высотой 0,7-1,0 м с березами на солончаковом лугу в 250 м от источника, р. 46, луговой кислый солончак	0-10	3,0	13	4,3	3,36	
	15-20	4,3	25	8,3	1,12	
	30-35	4,0	17	5,6	0,18	
	50-55	4,2	21	7,0	0,46	
	70-75	3,9	21	7,0	0,86	
	90-100	4,0	26	8,6	0,26	
	130-135	4,1	20	6,6	0,45	
Купоросный лог, в 250 м ниже источника, терраска, повышенная на 1,5-1,6 м относительно русла, березняк травяной, р. 48, луговая кислая солончаковая почва	0-10	4,3	23	7,6	0,31	
	20-30	4,4	64	21,3	0,17	
	60-70	4,3	70	23,3	0,40	
	100-110	4,5	45	15,0	0,64	
	130-140	4,7	20	6,6	0,41	
Купоросный лог в 580 м ниже источника, сухое русло, солончаковый луг, р. 6, луговая кислая солончаковая почва	0-5	4,7	100	33,3	0,14	
	10-20	4,7	70	23,3	0,08	
	40-50	5,3	30	10,0	1,48	
	60-70	6,4	30	10,0	1,30	
	80-90	4,1	70	23,3	0,31	
	110-120	4,4	70	23,3	1,33	
Там же, борт сухого русла, нижняя терраса (h = 50-70 см), березняк травяной, р. 5, луговая кислая солончаковая почва	0-2	6,0	30	10,0	0,36	
	5-10	4,1	90	30,0	0,36	
	30-40	4,0	90	30,0	0,17	
	45-50	4,1	100	33,3	0,20	
	60-70	4,1	700	233,3	0,24	
	78-83	4,4	75	25,0	0,22	
	90-95	4,5	100	33,3	0,30	
В 150 м от русла, солончаковый луг, р. 7, солончаковая гипсоносная луговая почва	0-10	4,9	70	23,3	0,26	
	15-25	5,1	100	33,3	0,43	
	30-40	5,6	90	30,0	0,62	
	50-60	6,1	90	30,0	0,63	
	75-80	7,1	40	13,3	0,52	
	90-100	7,2	20	6,6	0,91	
	120-130	7,5	10	3,3	0,50	

Водная вытяжка								
мг-экв/100 г							n · 10 ⁻³ %	
HCO ₃	Cl	SO ₄	Ca	Mg	Na	Mg+Na	Cu	Fe ³⁺
Не обн.	28,13	57,09	12,20	Не опр.	Не опр.	72,98	Не опр.	6,3
"	19,33	23,82	13,88	"	"	23,26	"	0,3
"	0,91	12,37	5,34	"	"	7,93	"	0,1
"	1,29	8,52	2,42	"	"	6,15	"	4,5
"	27,6	65,58	Не опр.	"	"	Не опр.	"	Не опр.
"	14	27,85	"	"	"	"	"	"
"	25,62	93,83	"	"	"	"	"	"
"	1,11	13,18	7,60	"	"	6,57	"	0,3
"	7,98	33,48	12,79	"	"	28,66	"	5,0
0,04	0,44	16,36	4,05	"	"	12,75	"	0,5
0,03	0,30	2,37	1,57	"	"	1,09	"	0,2
0,04	0,32	6,98	1,69	"	"	5,61	"	0,2
0,02	0,36	7,66	1,35	"	"	6,67	"	Не опр.
0,03	0,48	3,56	2,54	"	"	1,51	"	"
0,03	0,56	2,85	1,69	"	"	1,73	"	"
0,38	0,28	0,42	0,46	"	"	0,62	0,1	"
0,10	1,14	0,63	1,16	"	"	0,71	0,5	"
0,10	1,85	3,12	2,67	"	"	2,40	0,5	"
0,50	1,80	5,83	3,81	"	"	4,32	0,3	"
0,50	1,65	3,95	2,29	"	"	3,81	0,1	"
0,14	0,28	0,14	0,24	0,30	0,01	0,31	14,0	Не опр.
0,10	0,35	0,36	0,49	0,31	0,02	0,33	6,4	"
0,48	1,10	15,03	10,82	2,82	2,96	5,78	0,2	"
0,48	1,01	12,32	10,20	2,51	1,00	3,51	0,2	"
0,12	0,72	2,19	1,83	0,89	0,30	1,29	4,1	"
0,10	0,82	2,19	2,33	0,73	0,05	0,78	7,4	"
0,74	1,10	4,34	2,94	0,81	2,43	3,24	0,1	"
Не обн.	0,72	4,37	3,10	0,74	1,75	2,49	5,0	"
0,40	0,34	1,46	0,94	0,69	0,17	0,86	5,0	"
0,40	0,27	1,33	0,97	0,33	0,37	0,70	5,7	"
0,40	0,31	1,56	0,97	0,44	0,49	0,93	4,8	"
Не обн.	0,36	2,12	1,35	0,52	0,61	1,13	7,2	"
"	0,34	1,91	1,22	0,44	0,59	1,03	7,0	"
0,40	1,59	0,02	0,97	0,65	Не опр.	Не опр.	Не опр.	"
0,12	2,08	1,19	1,55	1,83	1,25	3,08	0,4	"
0,08	3,70	2,21	3,06	1,79	1,17	2,96	1,0	"
0,16	3,16	2,83	2,85	2,37	0,93	3,30	0,2	"
0,50	3,24	2,13	2,20	2,08	1,59	3,67	Не опр.	"
0,47	4,78	5,70	4,71	2,95	3,29	6,24	"	"
0,80	2,21	3,46	2,11	1,82	2,53	4,35	"	"

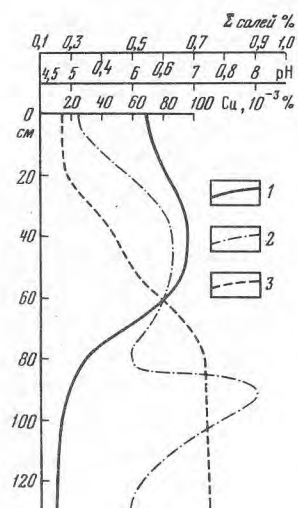


Рис. 3. Распределение меди, легкорастворимых солей и значений pH по профилю солончаковой гипсоносной луговой почвы (разрез 7)

1 — медь; 2 — сумма солей; 3 — pH

В почвенном профиле (разрез 48) выделяются следующие горизонты:

0–4 см — очень рыхлая дернина;

4–20 см — светло-серый средний суглинок пылевато-комковатый, рыхлый, свежий, очень много корней;

20–30 см — серо-коричневый средний суглинок, комковатый, уплотненный, свежий, переход ясный по цвету, много корней;

30–55 см — охристо-желтый средний суглинок, пылевато-комковатый, слегка уплотненный, свежий, корней меньше, переход ясный;

55–125 см — коричневый тяжелый суглинок с хорошо выраженной ореховато-комковатой структурой, плотный, свежий, довольно много мелких пластинчатых кристаллов гипса, корней мало;

125–170 см — темно-коричневый тяжелый суглинок, структура комковатая, уплотнена, свежий, очень много гипса в виде отдельных кристаллов, сростков, друз; в нижней части горизонта появляются карбонаты в виде белоглазки; крупные корни идут до конца разреза. Грунтовые воды до глубины 170 см не вскрыты.

Содержание и распределение по профилю легкорастворимых солей соответствует луговым солончаковым почвам с ярко выраженным сульфатным типом засоления. Хотя реакция почвы на всем протяжении профиля кислая, значения pH лежат в пределах 4,3–4,7; в почвах вблизи водоема pH 2–3, на первом террасовом уровне — 3–4,2.

В связи с повышением pH улучшаются условия осаждения из растворов меди и цинка внутри почвенного профиля. В рассматриваемом ряду почв (разрезы 40, 46, 48) максимальное содержание меди обнаружено в разрезе 48 луговых солончаковых почв под березовым травяным лесом — второго террасового урочья (см. табл. 2). В них обнаружено также значительное накопление цинка (до 0,1%).

Почвенные разрезы, заложенные в 580 м от Купоросного озера в сухом русле (разрез 6) и под березняком на низкой террасе (разрез 5), показали несколько меньшую степень засоленности почв, реакцию от кислой до умеренно кислой и еще более высокое валовое содержание и водорастворимых форм меди и цинка.

В разрезе 7 солончаковой гипсоносной луговой почвы, заложенном в 150 м от русла на солончаковатом лугу, вне полосы березового леса, слабокислая реакция и очень высокое содержание меди обнаружены лишь в верхней части профиля. С глубины 75 см появляются карбонаты. По-видимому, эта поверхность с солончаково-солонцовыми комплексами в прошлом, до постройки в верховьях лога запруды, заливалась в весенние половодья кислыми разбавленными купоросными водами, которые воз-

действовали на почву сверху. Слабокислая реакция и близкий карбонатный горизонт способствовали осаждению меди (табл. 2, рис. 3). В этой почве наряду с высоким содержанием цинка (0,1–0,15%) обнаружено и значительное содержание свинца (0,01%).

Общая длина Купоросного лога составляет 1 км. На всем его протяжении по руслу и на террасах распространены в различной степени солончаковатые кислые и слабокислые, обогащенные цинком, медью и свинцом почвы.

Купоросный лог открывается в долину небольшой р. Колпачки. Воздействие кислых купоросных вод зафиксировано в составе илистых донных отложений и луговых почв пойменной террасы реки.

Содержание меди в иловых донных отложениях колеблется в пределах 13,5–22,5·10⁻³%. В пойменных почвах в 1 км от устья Купоросного лога, где в летнее время идет испарительная концентрация растворов, содержание меди составляет в верхнем горизонте 50·10⁻³%, что почти в 40 раз превышает местный геохимический фон.

Высокое содержание меди и других тяжелых металлов в почвах сопровождается накоплением их в золе растений (табл. 3). Почти все растения, растущие на солончаковых кислых почвах, имеют повышенную по сравнению с обычными условиями зольность. Так, например, обычное содержание золы в злаках колеблется в пределах 3–3,5%; в аномальных условиях зольность повышается до 10–13,5% с максимумом, как правило, в надземных частях.

В листьях березы содержание золы по сравнению с обычным увеличивается более чем в два раза, в стеблях и листьях *Heleocharis palustris* — в 5 раз.

В золе большинства растений возрастает содержание меди, цинка и других тяжелых металлов (см. табл. 3), чему благоприятствует высокое содержание металлов в почвах, а также их кислая реакция.

Содержание меди в золе большинства проанализированных растений (28 видов) составляет сотые доли процентов. Растения одного и того же местообитания и отдельные вегетативные части растений существенно отличаются по содержаниям меди и цинка; в большинстве травянистых растений максимальное содержание металла обнаружено в корнях, т.е. для них характерен базипетальный градиент распределения металла. Максимальное содержание меди обнаружено в корнях *Hieracium umbellatum* — 0,10% на почве с средним содержанием меди 0,043%, в корнях *Sanguisorba officinalis* и кустарника *Caragana frutex* (0,11%) при содержании меди в почве 0,020%.

На рис. 4 иллюстрируется отзывчивость наиболее широко распространенных в пределах геохимической аномалии травянистых растений на увеличение содержания меди в почвах (*Agrostis alba*, *Calamagrostis epigeios*, *Sanguisorba officinalis*). Внешний вид первого растения — полевицы — свидетельствует о хорошем его состоянии на богатых медью почвах (ярко-зеленый цвет, гигантский рост). Полевица активно поглощает медь даже при содержании ее в почве 0,05%, что превышает местный геохимический фон почти в 40 раз, и накапливает ее как в корнях, так и в надземной части в количестве, превышающем фоновое содержание меди в этом растении в 15–20 раз.

Таблица 3. Содержание металлов в почвах и в золе растений в ареале воздействия кислых сульфатных вод

№ разреза (р.), в скобках — Cu ($n \cdot 10^{-3}\%$) в почве	Растения	Зольность, %	
		корни	стебли
р. 40(9)	Calamagrostis epigeios	7,83	10,28
	Bromus inermis	6,4	10,2
	Atropis distans	11,0	8,1
	Agrostis alba	8,7	10,7
	Agropyrum repens	11,7	13,6
	Chenopodium urbicum	9,3	13,7
	Betula verrucosa	1,9	9,3
	Salix sp.	2,6	7,4
	Spergularia salina	13,1	18,8
	Atropis distans	8,6	9,5
р. 41(20)	Juncus sp.	12,5	4,6
	Mulgedium tatarica	5,5	13,4
р. 42(20)	Heliocharis palustris	10,3	15,5
	Sonchus arvensis	13,8	12,3
р. 43(15)	Odontites rubra	13,9	12,6
	Agrostis alba	10,5	10,8
р. 45(50)	Betula verrucosa	Не опр.	
р. 46(20)	Populus tremula	3,4	3,4
р. 47(20)	Sanguisorba officinalis	6,9	7,3
	Asparagus officinalis	3,6	5,5
	Caragana frutex	—	5,6
	Rosa sp.	Не опр.	
	Gypsophylla altissima	8,1	7,1
р. 48(43)	Arenaria longifolia	5,1	4,8
	Artemisia pontica	3,4	4,8
	Hieracium umbellatum	4,9	4,1
	Tanacetum vulgare	4,3	4,3
	Rosa sp.	3,7	6,3
	Cytisus rutenica	1,4	6,1
	Betula verrucosa	2,3	5,3
	Libanotis sibirica	4,1	4,8
	Calamagrostis epigeios	4,9	10,7
	Achillea nobilis	4,9	4,9
	Petrosimonia triandra	9,0	14,4
	Odontites rubra	3,4	6,0

*Кора. **Листья. ***Ветви.

В золе кровохлебки медь также накапливается очень активно, особенно в корнях. Вейник реагирует на увеличение содержания меди в почве иначе: в золе надземной части медь не накапливается, а в корнях количество ее хотя и возрастает, но непропорционально повышению ее содержания в почвах.

Было определено содержание меди в золе различных вегетативных органов берез, произрастающих на почвах с содержанием меди, варьирующим от 0,002 до 0,045%.

Приведенные в табл. 3 и на рис. 4 данные позволяют сделать следующее заключение. В условиях нормального геохимического фона отдельные вегетативные части растения слабо различаются по содержанию меди при преимущественно базипетальном характере ее распределения.

По мере увеличения содержания меди в почвах в интервале 0,002—0,025%

Медь, $10^{-3}\%$		Цинк, $10^{-3}\%$		Кб	
корни	стебли	корни	стебли	корни	стебли
35	2,5	Не опр.		3,83	0,28
10	2,5	"		1,1	0,28
45	5,0	"		5,0	0,55
45	10	"		5,0	1,1
2,6	2,1	"		0,13	0,1
10	10	"		1,1	1,1
10	4	"		1,1	4,4
25	5	"		2,8	0,6
5	5	"		0,25	0,25
34,8	7,6	52,1	14,3	1,74	0,38
2,7	2,7	2,4	15,8	0,13	0,13
16,6	7,3	41,1	32,9	0,83	0,36
16,7	33,5	33,1	23,1	0,8	1,67
17,2	8,6	24,5	27,6	1,14	0,59
15,2	5,6	17,0	42,8	1,0	0,37
99,0	7,6	4,9	17,0	2,0	0,13
60,0*	7,0**	32,2*	32,5**	3,0*	0,35**
11,5	15,9***	14,7	14,6***	0,7	0,8***
112,0	42,0	4,7	4,9	5,6	2,1
24,4	6,6	—	4,6	1,2	0,3
110,0	51,6	5,0	4,9	5,56	3,1
97,0	32,6	4,9	4,9	4,85	1,63
22,4	18,6	4,8	4,8	0,52	0,43
11,6	16,6	—	4,8	0,27	0,39
41,8	22,6	15,8	14,1	0,97	0,53
100,6	16,6	—	4,8	2,33	0,39
78,7	33,5	Не опр.		1,83	0,78
18,6	6,7	"		0,43	0,16
50,4	14,8	"		1,17	0,34
18,8	11,1	"		0,44	0,26
68,0	11,1	"		1,58	0,26
26,0	2,0	"		0,60	0,05
12,5	9,4	"		0,29	0,22
5,8	6,2	"		0,19	0,20
12,0	6,2	"		0,4	0,2

наблюдается накопление ее в золе ветвей и особенно коры (до 0,06%); содержание меди в листьях остается постоянным, близким к фоновому. В растениях, растущих на почвах с еще большим содержанием меди (0,043—0,045%), дальнейшего накопления ее ни в ветвях, ни в листьях не наблюдается; содержание меди в золе корней также ниже, чем в почве (рис. 5). Таким образом, увеличение содержания меди в многолетних органах березы при возрастании ее содержания в почвах отмечается лишь до определенного предела (в рассматриваемом случае при 0,15—0,025% меди в почвах), далее количество меди в золе стабилизируется или даже понижается. К сожалению, мы не располагаем данными о содержании меди в коре березы при самом высоком ее содержании в почвах (0,43—0,45%).

Значения коэффициентов биологического поглощения меди (Кб), приведенные в табл. 3, и данные о содержании ее в растениях вне геохими-

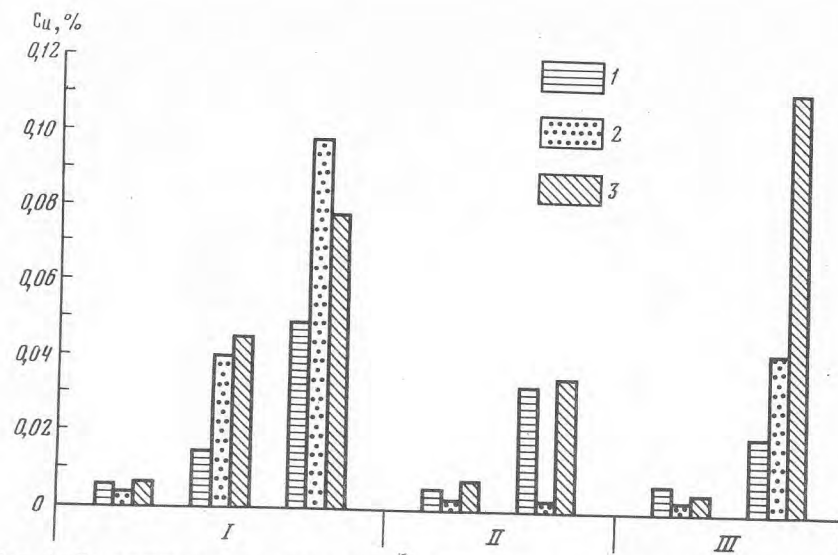


Рис. 4. Содержание меди в надземных и подземных частях растений при различном содержании ее в почвах

I — *Agrostis alba*; II — *Calamagrostis epigeios*; III — *Sanguisorba officinalis*.

Содержание меди, %: 1 — в почве, в золе растений; 2 — в стеблях и листьях; 3 — в корнях

ческой аномалии свидетельствуют о наличии у большинства проанализированных растений физиологического "барьера" — определенного предела активного поглощения меди, выше которого содержание ее в золе не увеличивается, а в некоторых растениях даже понижается. Этот предел наступает в данных конкретных условиях при содержании в почвах меди 0,015–0,020%.

При более высоком содержании меди в почвах для 80–100% растений значения $K_b < 1$ (табл. 4).

Для распределения содержания цинка в золе растений в ареале геохимической аномалии характерны те же закономерности, что и для распределения меди: максимальное содержание цинка обнаружено в корнях растений (от 0,052 до 0,014%), в надземных органах у большинства видов его на порядок меньше. Единичные анализы цинка в коре, ветвях и листьях *Betula verrucosa* показали его высокое содержание (0,032–0,034%) и равномерное распределение между вегетативными органами.

Для большинства растений Гайской аномалии по мере увеличения содержания меди в почвах возрастает контрастность ее распределения между органами растений: наблюдается концентрация, как бы складирование, элемента в определенных органах — в корнях у травянистых растений и кустарников, в коре березы. Это явление установлено для многих древесных, кустарниковых и травянистых растений таежной зоны Канады [Warren, Delavault, 1971] и Сибири [Ковалевский, 1974, 1975, 1979] по отношению ряда химических элементов: цинка, меди, свинца, молибдена, бериллия, бора, фтора и др. (рис. 6).

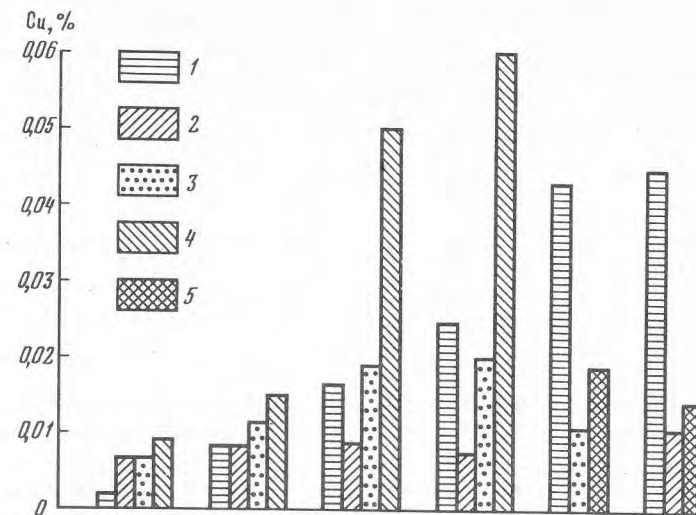


Рис. 5. Содержание меди в золе вегетативных органов березы (*Betula verrucosa*) при различном содержании ее в почвах

Содержание меди: 1 — в почвах; 2 — в листьях; 3 — в ветвях; 4 — в коре; 5 — в корнях

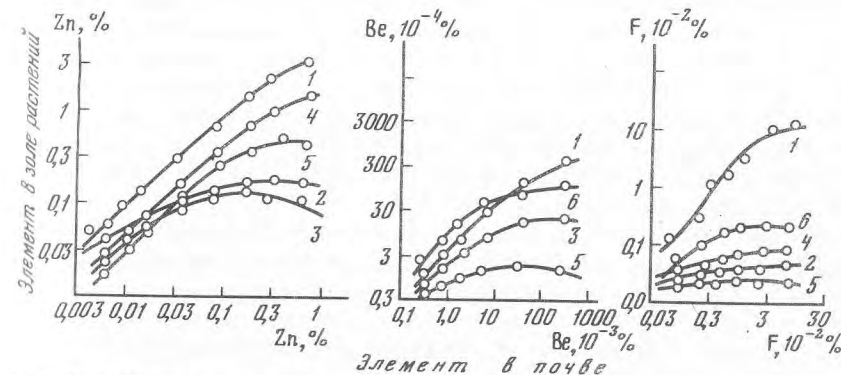


Рис. 6. Содержание элементов в вегетативных органах березы при различном содержании их в почвах (по А.Л. Ковалевскому и О.М. Ковалевской, 1975)

Части растений: 1 — кора (внешний слой); 2 — луб; 3 — древесина; 4 — ветви; 5 — листья; 6 — корни

Для характеристики степени аномальности геохимической структуры различных видов растений можно использовать ряд показателей, как, например: 1) градиент контрастности (ГК) распределения элемента, представляющий собой разность между содержанием элемента в золе в различных органах растения; 2) коэффициент контрастности (КТ) — отношение содержания элемента в органах растения с максимальным и минимальным его содержанием. Характеристикой нарушения геохимической структуры может служить также изменение типа распределения элемента между

Таблица 4. Значение Кб при различных содержаниях меди в почвах

Содержание меди в почве, %	Число биообъектов	% биообъектов с коэффициентом биол. поглощения меди (Кб)		
		2	2-1	< 1
0,0015-0,002	42	93	7	0
0,009	14	36	36	18
0,015	4	0	50	50
0,020	27	26	22	52
0,030	4	0	0	100
0,043	22	4,5	13,5	82

органами растения: базипетальный (максимум в корнях), акрипетальный (в вегетирующих надземных органах), экзопетальный (в наружных слоях коры).

Для растений Гайской геохимической аномалии градиенты и коэффициенты контрастности содержания меди при фоновом содержании металла ($3-5 \cdot 10^{-3}\%$) и на аномалии с различным ее содержанием приведены в табл. 5.

Градиент контрастности с увеличением содержания меди в почвах во всех растениях возрастает, но в различной степени (от 3 до 10-11 раз). Коэффициент контрастности в ряде растений почти не изменяется (*Agrostis alba*, *Artemisia pontica*) или увеличивается на аномальных почвах лишь в малой степени (*Arenaria longifolia*), а в некоторых растениях даже понижается (*Tanacetum vulgare*, *Caragana frutex*). Но есть растения, в которых наряду с увеличением градиента существенно увеличивается и коэффициент контрастности (*Calamagrostis epigeios*, *Betula verrucosa*); эти растения в наибольшей степени отражают в своей геохимической структуре изменение содержания меди в почвах.

Данные, приведенные в табл. 5, представляют результаты количественных химических анализов меди в золе растений и поэтому вполне достоверны, но относятся все же к единичным объектам. Поэтому они рассматриваются нами как пример определенного методического подхода к определению степени геохимического воздействия аномалии на химический состав растений.

Нарушение обычной геохимической структуры растений в пределах геохимически аномального поля какого-либо одного или двух элементов проявляется также в изменении коэффициентов биологического поглощения и распределения между органами значительного ряда микроэлементов, содержание которых по сравнению с нормальным местным геохимическим фоном не увеличивается.

В рассматриваемой Гайской аномалии в водах и почвах сильно увеличивается содержание меди, цинка и лишь на флангах аномального поля, в некоторых пунктах, свинца.

Анализ содержания ряда микроэлементов (Cu, Zn, Pb, Ag, Co, Mo, Ba) в золе *Stipa Lessingiana*, приведенные М.Д. Скарпыгиной-Уфимцевой и др. [1976], показали существенные различия не только в абсолют-

Таблица 5. Показатели геохимической структуры некоторых видов растений в ареале Гайской медной аномалии

Растения	Содержание меди в почвах, $10^{-3}\%$					
	3-5 (фон)	10-15	20-25	30-35	40-45	50
<i>Agrostis alba</i>	$\frac{2}{1,5}$ (б)	$\frac{5}{1,5}$ (б)	—	—	—	$\frac{12,5}{1,4}$ (а)
<i>Calamagrostis epigeios</i>	$\frac{5}{2,5}$ (б)	—	—	$\frac{30}{13,3}$ (б)	$\frac{24}{13}$ (б)	—
<i>Sanguisorba officinalis</i>	$\frac{2}{1,4}$ (б)	—	$\frac{70}{2,7}$ (б)	—	—	—
<i>Tanacetum vulgare</i>	$\frac{36}{4,3}$ (б)	—	—	$\frac{400}{3,1}$ (б)	—	—
<i>Agropyrum repens</i>	—	$\frac{1,0}{1,3}$ (б)	—	—	$\frac{11,2}{2,4}$ (б)	—
<i>Artemisia pontica</i>	$\frac{6}{1,4}$ (б)	—	—	—	$\frac{18,2}{1,8}$ (б)	—
<i>Arenaria longifolia</i>	$\frac{0,5}{1,1}$ (б)	—	—	—	$\frac{5}{1,4}$ (а)	—
<i>Caragana frutex</i>	$\frac{9}{2,7}$ (б)	—	—	—	$\frac{55}{1,8}$ (б)	—
<i>Betula verrucosa</i>	$\frac{2,5}{1,5}$ (э)	$\frac{12}{2,0}$ (э)	$\frac{41}{5,5}$ (э)	$\frac{53}{8,3}$ (э)	—	—

Примечание. В числителе — градиент контрастности, в знаменателе — коэффициент контрастности.

Распределение меди: б — базипетальное, а — акрипетальное, э — экзопетальное.

ных значениях, но и в коэффициентах биологического поглощения названных элементов. Приводим эти данные:

Кб — стебли

$$\text{геохимический фон } \frac{\text{Ag}}{3,3} > \frac{\text{Cu}}{2,2} > \frac{\text{Zn}}{1,5} > \frac{\text{Pb}}{0,7} > \frac{\text{Ba}}{0,4} = \frac{\text{Co}}{0,4} > \frac{\text{Mo}}{0,3}$$

$$\text{аномалия } \frac{\text{Ag}}{26,6} > \frac{\text{Mo}}{6} > \frac{\text{Co}}{1,2} > \frac{\text{Pb}}{1,0} > \frac{\text{Cu}}{0,5} > \frac{\text{Zn}}{0,4} = \frac{\text{Ba}}{0,4}$$

Кб — корни

$$\text{геохимический фон } \frac{\text{Ag}}{3,3} > \frac{\text{Zn}}{1,5} > \frac{\text{Cu}}{1,1} > \frac{\text{Pb}}{1,0} > \frac{\text{Co}}{0,7} > \frac{\text{Ba}}{0,4} > \frac{\text{Mo}}{0,2}$$

$$\text{аномалия } \frac{\text{Mo}}{4,5} > \frac{\text{Ag}}{3,3} > \frac{\text{Co}}{2,0} > \frac{\text{Pb}}{1,3} > \frac{\text{Cu}}{0,8} > \frac{\text{Ba}}{0,4} > \frac{\text{Zn}}{0,3}$$

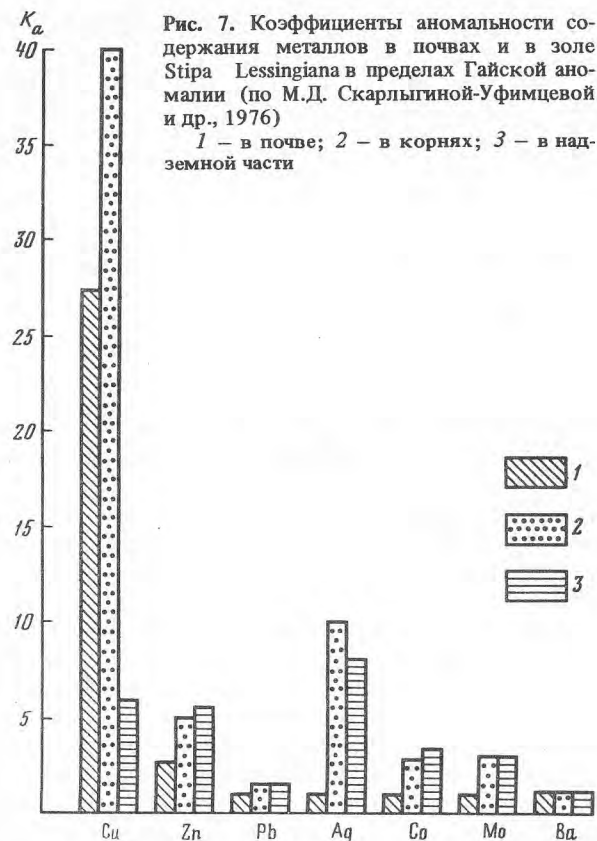


Рис. 7. Коэффициенты аномальности содержания металлов в почвах и в золе *Stipa Lessingiana* в пределах Гайской аномалии (по М.Д. Скарлыгиной-Уфимцевой и др., 1976)
1 — в почве; 2 — в корнях; 3 — в надземной части

В пределах аномалии существенно увеличивается биологическое поглощение молибдена (стебли, корни), серебра (стебли), кобальта (стебли, корни).

Общее изменение геохимической структуры *St. Lessingiana* особенно хорошо видно из отношений средних содержаний рассматриваемых элементов в почвах и в золе стеблей и корней в пределах аномального и нормального геохимических полей, т.е. коэффициентов аномальности (рис. 7). В почвах, как видно из рис. 7, лишь два элемента имеют коэффициенты аномальности > 1 : медь ($K_a = 27,0$) и цинк ($K_a = 2,7$). По содержанию остальных элементов, где $K_a = 1,0$, почвы геохимически нормального и аномального поля одинаковы. Естественно было бы ожидать, что аномалия в золе растения проявится только для меди и цинка. Действительно, K_a меди в корнях *Stipa Lessingiana* равен 40, в стеблях — 6; K_a цинка в корнях — 4,8, в стеблях — 5,5. Но наряду с этими элементами в золе стеблей и корней обнаруживается аномальное содержание серебра (K_a в корнях — 10, в стеблях — 8), кобальта ($K_a = 3-3,5$) и молибдена ($K_a = 3$).

Различия в биологическом накоплении этих пяти элементов (Ag, Co, Mo, Pb, Ba) можно объяснить разной степенью их подвижности в сернокислой среде, характерной для Гайской аномалии: растворимость первых

трех элементов в сильноокислой среде по сравнению со слабощелочной средой нормального геохимического поля увеличивается, а подвижность свинца и особенно бария, образующих с серной кислотой практически нерастворимые сульфаты, остается низкой.

Итак, на основании анализа данных о содержании микроэлементов в почвах и в золе растений в условиях нормального местного геохимического фона и Гайской "купоросной" аномалии можно сделать следующие выводы.

1. Под влиянием кислых сульфатных, сильно минерализованных вод, обогащенных медью, свинцом, железом, алюминием, сформировался среди сухих степей геохимически аномальный ландшафт с необычным сочетанием компонентов — травяной березовый лес на кислых ожелезненных сульфатных солончаках и лугово-солончаковых почвах, обогащенных медью и цинком. В распределении меди, цинка и свинца в почвах в пределах геохимической аномалии наблюдается зональность, обусловленная изменением кислотно-щелочных условий.

2. Признаки угнетения древесной растительности (искривление стволов, суховершинность) связаны, по-видимому, не с высоким содержанием меди и цинка, а с засоленностью почв, особенно в нижних горизонтах, в которые проникают по мере роста корни деревьев. Угнетения травянистой растительности не наблюдается, отмечается высокая жизненность некоторых злаков — *Agrostis alba*, *Calamagrostis epigeios* даже на очень кислых почвах с pH 2–3.

3. Накопление в золе растений меди, цинка и других металлов контролируется: а) биологическими особенностями растения; б) содержанием металлов в почвах; в) кислотно-щелочными условиями почв и соответственно подвижностью элементов.

4. В пределах геохимической аномалии наблюдается не только увеличение содержания в золе растений меди, цинка, молибдена, серебра, но и изменение геохимической структуры растения, т.е. характера распределения элементов между вегетативными органами. В качестве показателей степени нарушения нормальной геохимической структуры могут быть использованы градиент и коэффициент контрастности распределения отдельных элементов и их ассоциации.

Биогеохимически аномальные ландшафты грязевых вулканов Азербайджана

Грязевые вулканы занимают на территории Азербайджана около 18 тыс. км². Особенно широко они распространены в полупустынной зоне на Апшеронском полуострове и в Кабыстане, где связаны с нефтегазоносностью мезо-кайнозойского комплекса осадочных пород. Они приурочены преимущественно к сводовым частям антиклиналей и брахиантиклиналей с диапировой структурой и разломами, по которым осуществляется разгрузка подземных вод.

Разломы и диапиризм приводят к раздроблению пород, среди которых много глинистых сланцев, глин, алевролитов. В результате образуется глинистая брекчия, которая при обилии вод превращается в текучую кашеобразную массу. Под напором газов — метана и других углеводородов, скапливающихся в антиклинальных структурах, происходит периодическое из-

Таблица 6. Кларки концентрации (КК) химических элементов в глинистой массе брекчий и в обломках включенных в нее пород

Объекты	Число проб	Li	Sr	Ba	Cr	V	Ni	Co	Cu	Ag
Глинистая масса	6	1,3	0,2	0,3	0,7	0,2	0,8	0,4	1,4	1,0
Глинистые сланцы	5	3,7	0,2	0,2	0,7	0,8	1,0	0,4	3,4	10
Алевролиты	3	1,2	0,3	0,3	0,7	0,01	0,2	0,4	1,0	0,9
Песчаники	1	0,8	0,2	0,7	0,3	0,03	0,06	0,2	0,1	—
Мергель	1,6	0,2	0,3	0,1	0,01	7,4	7,4	0,4	0,2	0,6

вержение этой массы на поверхность, чему способствуют раздробленность пород и наличие трещин.

В извержении грязевых вулканов наблюдается определенная периодичность. Продолжительность периодов покоя и интенсивность извержений зависят от скорости накопления массы газов, необходимой для создания достаточного давления для выталкивания на поверхность полужидкой брекчий.

Грязевая масса разливается вокруг кратера и образует сопочное поле. При повторных извержениях грязевой конус растет тем быстрее, чем чаще извержения и менее обводнена брекчия. Образуются вулканические сопки, часто правильной формы, возвышающиеся над окружающей поверхностью на 100–150 м и более. Высота наиболее крупных вулканов достигает 400–500 м, а диаметр 5–6 км [Атлас грязевых вулканов Азербайджанской ССР, 1971].

Вулканы Апшерона и Кабыстана приурочены к нефтегазоносным структурам, корни их находятся в нескольких сотнях метров от поверхности. В сложении брекчий принимают участие различные породы (от эоцена до плиоцена): глины, глинистые сланцы, аргиллиты, алевролиты, песчаники, мергели. Обломки этих пород включены в массу зеленоватой, серой и сизо-серой глины, образующей основу брекчий.

Проведенные нами совместно с А.Г. Ахмедовым исследования на двух типичных для полупустынного восточного Азербайджана вулканах (вулканы Кейреке на Апшеронском полуострове и вулканы Чеилдаг в южном Кабыстане) выявили ряд ландшафтно-геохимических особенностей, связанных с составом вулканической брекчий и вулканических вод.

Спектральные анализы глинистой массы брекчий и включенных в нее обломков пород показали высокое содержание в них ряда микроэлементов, значительно превышающее их кларки в осадочных породах.

В табл. 6 приведены значения кларков концентрации (КК) химических элементов в породах, слагающих вулканические брекчий рассматриваемых вулканов.

Особенностью всех пород и глинистой массы является очень высокое содержание молибдена, превышающее в глинистых сланцах в 136 раз среднее содержание элемента в осадочных породах, а в глинистой массе брек-

Zn	Pb	Be	Sn	Mo	W	Ga	Ge	Sc	Y	Yb	Zr	Nb	B
0,9	1,8	0,7	1,0	36	3,0	0,7	1,6	0,9	0,2	5	0,4	1,2	4,1
3	3,3	1,2	1,6	136	2,1	0,9	2,8	1,4	0,2	10	0,7	1,0	2,2
0,5	0,5	0,3	0,4	6,3	—	0,3	—	1,0	0,6	5	0,6	0,3	2,1
0,1	0,6	0,3	0,4	4,5	1,4	0,2	—	0,5	0,2	5	0,4	0,2	1,0
0,5	0,4	0,3	0,4	6,3	2,1	0,2	1,4	0,5	0,5	5	0,3	0,2	1,3

чий — в 36 раз. Все породы обогащены иттербием (КК — 5–10) и бором (за исключением обломков песчаников, где КК—2, и глинистой массы брекчий — 4,1). Глинистые сланцы, по-видимому, являются основным источником формирования глинистой массы брекчий, существенно обогащены серебром (КК—10), литием (КК—3,7), германием (КК—2,8), медью (КК—3,4), вольфрамом (2,1). Глинистая масса брекчий наследует эти черты. Значительно ниже кларка во всех породах содержания бария, стронция, циркона. Содержание остальных элементов несущественно отклоняется от кларка осадочных пород.

Таким образом, молибден, иттербий, бор, вольфрам, свинец — это ассоциация элементов, характеризующих геохимическую аномалию в породах, на которых формируются почвы и поселяется растительность на вулканических конусах.

В периоды между активными извержениями из основного кратера или мелких паразитических грязевых конусов — сальз или грифонов изливаются щелочные минерализованные воды, несущие тонкий глинистый материал, часто с примесью нефтепродуктов. Глинистый материал оседает на склонах конуса и шлейфах и при подсыхании растрескивается; воды, стекающие по склонам в условиях сухого климата полупустыни, успевают испариться, а содержащиеся в них растворенные компоненты накапливаются в толще брекчий и на ее поверхности.

Анализы вод, изливающихся из грифонов вулкана Чеилдаг, приведены в табл. 7. Воды различны по составу, что говорит о разных водоносных горизонтах их питания. Общим являются высокая минерализация, высокая щелочность, преобладание в их составе катионов натрия. В водах второго источника обнаружена нормальная сода при малом содержании сульфат-иона, что весьма типично для нефтяных пластовых вод района, откачиваемых с нефтью из скважин. Малое содержание сульфат-иона и наличие соды наряду с сизо-серым цветом брекчий и выделением метана из сальз и грифонов свидетельствуют о восстановительной обстановке, господствующей в водоносных горизонтах. Об этом же говорит и наличие кристаллов пирита в свежей брекчий.

Несколько повышенное содержание сульфат-иона (грифон 1) и отсутствие нормальной соды, по-видимому, связаны с вторичными процессами

Таблица 7. Данные химического анализа воды вулкана Чеилдаг [Ахмедов, 1976]

Место взятия проб	pH	Сухой остаток вод, г/л	CO ₃ ²⁻	HCO ₃ ⁻	Cl ⁻
Вулкан Чеилдаг, грифон 1	8,4	8,97	—	2,3 140,3	66,8 2338,0
Вулкан Чеилдаг, грифон 2	9,2	10,22	14,9 446,1	37,5 2287,5	139,9 4896,1

Примечание. В числителе — в мг-экв, в знаменателе — в мг/л.

окисления пирита. При обилии пирита и окислении его в условиях свободного доступа кислорода на поверхности вулкана верхняя толща брекчий приобретает бурый цвет (от окисленного железа), кислую реакцию (pH 4,2–5,1); карбонаты кальция замещаются гипсом; все эти явления наблюдаются в брекчиях вулкана Чеилдаг. В брекчиях вулкана Кейреке пирита нет, и в них сохраняется сильно щелочная обстановка (pH 8,0–9,0).

Вулканические воды обогащены молибденом и бором — микроэлементами, хорошо растворимыми в щелочной среде. Они выщелачиваются содовыми водами из пород, слагающих корни вулканов.

В сухом остатке вод кларки концентрации этих элементов следующие:

	Mo	B
Грифон 1	26	85
Грифон 2	31	85

При испарении вод Mo и B накапливаются вместе с легкорастворимыми солями в брекчиях, формирующихся на них солончаковых почвах, и в золе галофитных растений, заселяющих поверхность старых брекчиевых покровов (табл. 8, 9). Таким образом, ландшафт вулканического конуса представляет собой ярко выраженную борно-молибденовую аномалию.

Даже при сравнении с окружающими вулканы бурными пустынно-степными почвами, обогащенными бором и молибденом, почвы грязевых вулканов выделяются как геохимически аномальные (табл. 10). Наряду с молибденом и бором они заметно обогащены свинцом, ванадием, германием, ниобием, отчасти галием и скандием — элементами, сопутствующими нефтяным месторождениям.

Своеобразие грязевулканических ландшафтов заключается еще и в том, что они периодически обновляются при извержении вулканов. Для многих вулканов установлены число и годы извержений за последнее столетие. Для вулкана Кейреке насчитывается девять извержений, последнее — в 1968 г. (рис. 8).

Периодичность и различная интенсивность грязевых извержений (часто с промежутками в несколько десятков лет) создают определенную концентрическую или лопастную (в случае направленного потока грязи) зональность элементарных ландшафтов на склонах вулканических сопков, связанную с разновозрастностью поверхности и соответственно степенью зарастания ее растительностью и формирования почвенного профиля.

SO ₄ ²⁻	Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	Na ⁺	Солевой состав, по Курлову
73,4 3525,4	19,9 396,8	20,1 241,2	1,3 50,8	101,3 2329,0	M _{8,9} SO ₄ 26 Cl 23 Na 35
1,8 85,4	1,1 22,8	1,4 16,8	0,1 5,6	176,5 4048,0	M _{10,2} Cl 35 HCO ₃ 10,5 Na 49,3

Для ряда вулканов в Институте географии АН АзССР составлены ландшафтные карты (Б.А. Будагов, А.М. Микайлов и др.).

Первыми на молодых брекчиевых покровах поселяются водоросли, приуроченные обычно к трещинам в такыровидной корке на поверхности брекчий; местами появляются напочвенные лишайники. На брекчиях 20–25-летнего возраста формируются изолированные растительные сообщества галофитных полукустарников. Это преимущественно *Salsola nodulosa*, *Salsola dendroides* и *Sueda microphylla*; единичные кустики и небольшие группы растений разделены значительными участками такыровидной голой поверхности с выцветами солей, налетами водорослей и единичными эфемерами (преимущественно *Poa bulbosae*) по краям трещин.

Почвенными разрезами охарактеризованы разновозрастные брекчий под куртинами растительности и на соседних обнаженных участках. Профиль почв на обнаженных участках не дифференцирован и складывается, как правило, серой брекчий с выцветами солей и гипсом.

Под густым пологом кустарничков поверхность почв покрыта тонким слоем опада из листьев и веточек. Верхний слой в 3–5 см рыхлый, заметно покрашен гумусом. Под ним лежит уплотненный, часто комковатый, глыбистый горизонт с еще заметной до глубины 20–25 см гумусовой окраской, обильно пронизанный корнями; ниже он переходит в неизмененную брекчию. Содержание гумуса в горизонте 0–5 (10) см составляет 2–2,5%, ниже уменьшается до 1,0–1,7%.

Анализы водной вытяжки из разрезов свежей брекчий непосредственно у кратеров и почв более старых брекчиевых покровов (рис. 9) под куртинами растений и на открытых такыровидных поверхностях свидетельствуют об их сильной засоленности.

Под куртинами кустарничков на брекчиях 25–30-летнего возраста и более наряду с накоплением гумуса наблюдается и слабое выщелачивание легкорастворимых солей из верхней части профиля: на глубине до 25–35 см содержание солей уменьшается в 1,5–2 раза по сравнению с соседними голыми такыровидными поверхностями.

Рассоляющее влияние растительности, по-видимому, можно объяснить несколькими причинами: 1) ее затемняющим действием, и, как следствие, уменьшением испарения с поверхности почв; 2) явлениями, связанными с транспирацией; глубоко идущие корни перехватывают пропитывающую брекчию воду, а соли концентрируются не на поверхности, а в глубже лежащих горизонтах, где идет десукция; 3) в зимнее время

Таблица 8. Концентрация микроэлементов в породах, брекчиях, почвах, золе растений и прямомкрытых грязевого вулкана Кейреке

Объекты, число проб	Ряды кларков концентрации
Глинистые сланцы (3)	$\frac{\text{Mo}}{200,0} > \frac{\text{B}}{16,7} > \frac{\text{Zn}}{8,0} > \frac{\text{Pb}}{3,1} > \frac{\text{Cu}}{2,6} > \frac{\text{Ni}}{1,7} > \frac{\text{Cr}}{1,2} > \frac{\text{V}}{0,9} > \frac{\text{Co}}{0,4} > \frac{\text{Ba}}{0,3} = \frac{\text{Sr}}{0,3}$
Брекчии (9)	$\frac{\text{B}}{41,7} > \frac{\text{Mo}}{36,4} > \frac{\text{Pb}}{1,9} > \frac{\text{Cu}}{1,4} > \frac{\text{Zn}}{1,0} > \frac{\text{Ni}}{0,8} = \frac{\text{Cr}}{0,8} > \frac{\text{Co}}{0,5} > \frac{\text{Ba}}{0,3} > \frac{\text{Sr}}{0,18} > \frac{\text{V}}{0,17}$
Брекчиевые солончаковые почвы (33)	$\frac{\text{B}}{19,2} > \frac{\text{Mo}}{6,4} > \frac{\text{Pb}}{3,0} > \frac{\text{Ba}}{2,5} > \frac{\text{V}}{2,0} > \frac{\text{Zn}}{1,3} > \frac{\text{Cr}}{1,2} > \frac{\text{Co}}{0,9} = \frac{\text{Ni}}{0,9} = \frac{\text{Cu}}{0,9} > \frac{\text{Sr}}{0,7}$
Зола растений вулкана (31)	$\frac{\text{B}}{35,3} > \frac{\text{Mo}}{11,0} > \frac{\text{Cu}}{4,9} > \frac{\text{Sr}}{2,2} > \frac{\text{Zn}}{1,7} > \frac{\text{V}}{1,1} > \frac{\text{Pb}}{0,7} > \frac{\text{Co}}{0,6} > \frac{\text{Ni}}{0,5} > \frac{\text{Ba}}{0,7} = \frac{\text{Cr}}{0,3}$
Зола растений вне вулканической (контрольной) площадки (8)	$\frac{\text{B}}{29,1} > \frac{\text{Cu}}{5,0} > \frac{\text{Mo}}{3,7} > \frac{\text{Sr}}{3,5} > \frac{\text{Sn}}{1,3} > \frac{\text{V}}{0,8} = \frac{\text{Ba}}{0,8} > \frac{\text{Ni}}{0,5} > \frac{\text{Co}}{0,4} = \frac{\text{Cr}}{0,4} = \frac{\text{Pb}}{0,4}$
Зола саранчи	$\frac{\text{Cu}}{70,0} > \frac{\text{B}}{36,0} > \frac{\text{Mo}}{5,0} > \frac{\text{Sr}}{1,6} > \frac{\text{Ni}}{0,7} > \frac{\text{Pb}}{0,6} > \frac{\text{Mn}}{0,4} > \frac{\text{Ba}}{0,2} = \frac{\text{Cr}}{0,2} > \frac{\text{Co}}{0,1} > \frac{\text{Ti}}{0,05} > \frac{\text{V}}{0,01}$

возможно перевевание снега и скопление его около кустов, что дает при таянии дополнительную влагу, выщелачивающую соли.

На древних брекчиевых покровах, обычно слагающих нижние части склонов вулканических сопков, засоленность почв голых участков не меньшая, а в некоторых разрезах большая, чем на более молодых брекчиях, слагающих склоны и вершины. Это говорит о боковом перераспределении легкорастворимых солей на склонах и накоплении их по мере стекания и испарения вулканических вод в отложениях и почвах аккумулятивных ландшафтно-геохимических фаций нижних частей склонов.

Состав солей в солончаковых брекчиевых почвах рассматриваемых вулканов различен. На вулкане Кейреке преобладают хлориды натрия (особенно в нижней части склонов); на вулкане Чеилдаг хлориды натрия преобладают лишь в самой свежей, недавно излившейся брекчии; на склонах и у подножия в почвах появляются в большом количестве сульфаты натрия и магния, а реакция почв становится кислой; в почвах отмечается много

Таблица 9. Концентрация микроэлементов в породах, брекчиях, почвах, в золе растений и прямомкрытых грязевого вулкана Чеилдаг

Объекты, число проб	Ряды кларков концентрации
Щебень глинистых сланцев (3)	$\frac{\text{Mo}}{100,0} > \frac{\text{B}}{25,0} > \frac{\text{Cu}}{4,3} > \frac{\text{Pb}}{2,5} > \frac{\text{Zn}}{2,4} > \frac{\text{Ni}}{0,7} = \frac{\text{Cr}}{0,7} > \frac{\text{V}}{0,5} > \frac{\text{Co}}{0,4} > \frac{\text{Ba}}{0,2} > \frac{\text{Sr}}{0,15}$
Брекчия глинистая (7)	$\frac{\text{Mo}}{36,4} > \frac{\text{B}}{33,3} > \frac{\text{Cu}}{2,1} > \frac{\text{Pb}}{1,2} = \frac{\text{Zn}}{1,2} > \frac{\text{Cr}}{0,9} > \frac{\text{Ni}}{0,7} > \frac{\text{Co}}{0,4} > \frac{\text{Ba}}{0,2} > \frac{\text{Sr}}{0,1} > \frac{\text{V}}{0,01}$
Брекчиевые солончаковые почвы (28)	$\frac{\text{Mo}}{22,0} > \frac{\text{B}}{19,4} > \frac{\text{Pb}}{2,7} > \frac{\text{Ni}}{1,8} > \frac{\text{Cu}}{1,5} > \frac{\text{Co}}{1,4} = \frac{\text{Ba}}{1,4} > \frac{\text{Cr}}{1,2} > \frac{\text{Zn}}{1,0} = \frac{\text{V}}{1,0} > \frac{\text{Sr}}{0,5}$
Сухой остаток воды (2)	$\frac{\text{B}}{87,0} > \frac{\text{Mo}}{19,0} > \frac{\text{Co}}{11,0} = \frac{\text{Cu}}{11,0} > \frac{\text{Sr}}{1,0} = \frac{\text{Ni}}{1,0} = \frac{\text{Cr}}{1,0} > \frac{\text{V}}{0,5}$
Зола растений вулкана (40)	$\frac{\text{B}}{77,8} > \frac{\text{Mo}}{8,0} > \frac{\text{Co}}{5,5} > \frac{\text{Cu}}{3,5} > \frac{\text{Ba}}{3,3} > \frac{\text{Ni}}{3,0} > \frac{\text{Zn}}{1,7} > \frac{\text{Sr}}{1,5} > \frac{\text{V}}{0,8} > \frac{\text{Cr}}{0,7} > \frac{\text{Pb}}{0,2}$
Зола растений вне вулканической (контрольной) площадки (8)	$\frac{\text{B}}{28,0} > \frac{\text{Sr}}{3,1} > \frac{\text{Mo}}{3,0} > \frac{\text{Cu}}{2,4} > \frac{\text{Pb}}{1,2} > \frac{\text{V}}{0,5} = \frac{\text{Ni}}{0,5} > \frac{\text{Co}}{0,4} = \frac{\text{Zn}}{0,4} > \frac{\text{Ba}}{0,3} = \frac{\text{Cr}}{0,3}$
Зола саранчи	$\frac{\text{Cu}}{64,0} > \frac{\text{B}}{22,5} > \frac{\text{Mo}}{22,0} > \frac{\text{Mn}}{1,4} > \frac{\text{Sr}}{1,2} > \frac{\text{Ni}}{1,1} > \frac{\text{Cr}}{0,7} > \frac{\text{Pb}}{0,6} = \frac{\text{Co}}{0,6} > \frac{\text{Ba}}{0,2} > \frac{\text{V}}{0,03} = \frac{\text{Ti}}{0,03}$

Таблица 10. Среднее содержание микроэлементов (10^{-4} %) в почвах на вулканической брекчии (а), вне вулкана (б) и коэффициент аномальности (Ка)

Вулканы	Почва, Ка	B	Ge	Ga	Mo	V	Li	Ag	Y	Nb	Sc
Кейреке	а	355	2,2	13	12,8	13,7	47	0,066	6,6	20	11
	б	176	1,0	7	2,6	4,0	35	0,055	6,3	10	7
	Ка	1,9	2,2	1,8	4,9	3,0	1,3	1,2	1,05	2,0	1,5
Чеилдаг	а	500	2,7	19	9,2	12,7	52	0,1	12,7	12,8	11,4
	б	200	1,4	1,4	3,6	10,0	52	0,1	8	5	8
	Ка	2,5	1,9	1,3	2,5	1,2	1,0	1	1,6	2,6	1,4

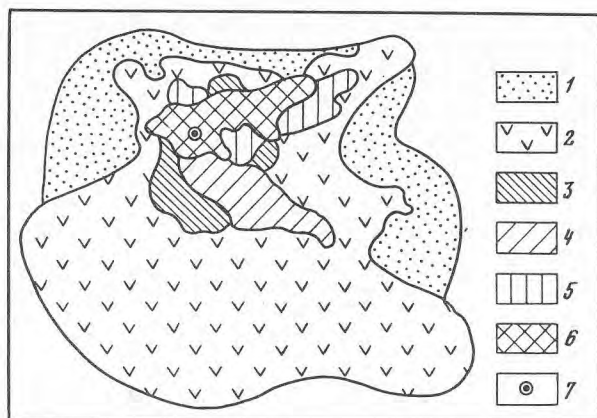


Рис. 8. Покровы разновозрастной брекчи грязевого вулкана Кейреке
Время извержения и образования покровов: 1 — 1885 г.; 2 — 1886–1950 гг.; 3 — 1952 г.; 4 — 1954 г.; 5 — 1966 г.; 6 — 1968 г.; 7 — кратер [Атлас грязевых вулканов АзССР, 1971]

гипса. Все эти особенности мы связываем, как говорилось выше, с окислением включенного в брекцию пирита с образованием серной кислоты. При действии кислоты карбонаты замещаются гипсом, а избыток ее обуславливает подкисление почв.

Таким образом, при сходстве микрокомпонентного состава щелочно-кислотные условия миграции микроэлементов в почвах на указанных двух вулканах различны.

Рассмотрим особенности биологического поглощения микроэлементов растениями на солончаковых брекчиевых почвах.

На обоих вулканах и на контрольных площадках вне вулканов были взяты по возможности одни и те же виды растений: *Salsola nodulosa*, *Sueda microphylla*, *Salsola dendroides*; на нескольких площадках удалось взять *Artemisia fragrans*, а из эфемеров — *Poa bulbosae*. На единичных площадках были собраны жирные солянки, *Cynodon dactylon*, *Atriplex canum* и некоторые другие растения. Спектральному приближенно-количественному анализу подвергалась зола отдельных вегетативных органов растений. Всего было проанализировано 98 растительных проб.

Зольный состав растений на геохимически аномальных солончаковых брекчиевых почвах, несмотря на индивидуальные различия состава золы отдельных видов, имеет некоторые общие черты. В золе растений обоих вулканов по величине средних кларков концентрации (КК) первые два места, как и в брекчиевых почвах, занимают бор и молибден (см. табл. 8, 9). Сравнение средних кларков концентрации этих элементов в почвах и в золе растений показывает, что бор активно концентрируется растениями. Кларки концентрации бора в золе растений выше, чем кларки концентрации в почвах: на вулкане Кейреке $\text{КК В} \frac{\text{зола растений}}{\text{почва}} = 1,5$,

на вулкане Чеилдаг — 4,0. Молибден в золе растений по отношению к содержанию в щелочных почвах вулкана Кейреке накапливается КК Мо

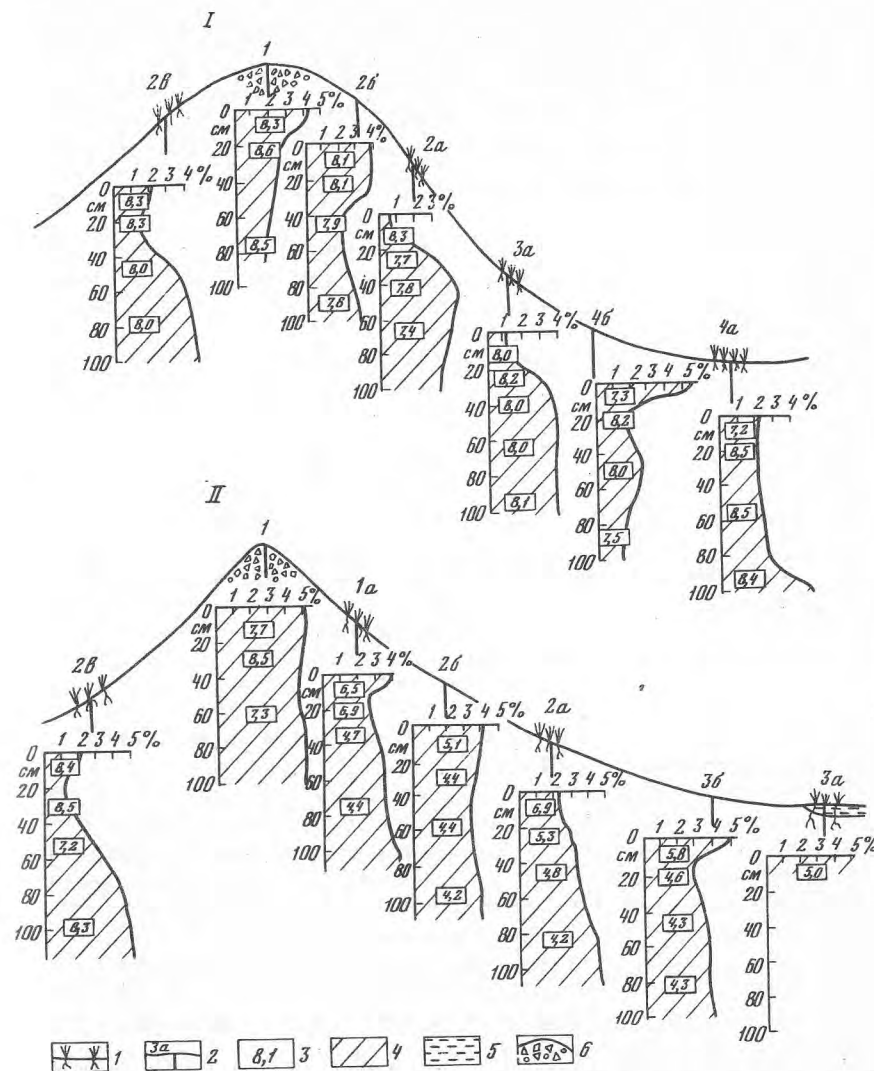


Рис. 9. Содержание водорастворимых солей (%) и значения pH в солончаковых брекчиевых почвах грязевых вулканов

I — Кейреке; II — Чеилдаг; 1 — куртины галофитных полукустарничков; 2 — № площадок с почвенными разрезами; 3 — значения pH; 4 — водорастворимые соли; 5 — водоем; 6 — свежая кратерная брекчия

$\frac{\text{зола растений}}{\text{почва}} = 1,7$, на вулкане Чеилдаг, где почвы кислые и молибден менее подвижен, это отношение составляет 0,42.

Вторую группу элементов по значениям кларков концентрации в золе растений образуют медь и для растений вулкана Чеилдаг — кобальт, барий,

Таблица 11. Кларки концентрации катионогенных и анионогенных элементов в золе растений при различных значениях рН в почвах

Объекты	рН 9–8,3					рН 7,5–7,8		
	Σ Кан	Σ Ккт ₁	Σ Ккт ₂	$\frac{\Sigma \text{ Кан}}{\Sigma \text{ Ккт}_1}$	$\frac{\Sigma \text{ Кан}}{\Sigma \text{ Ккт}_2}$	Σ Кан	Σ Ккт ₁	Σ Ккт ₂
<i>Salsola nodulosa</i>								
корни	51,2	20,5	5,0	2,5	10,2	24,0	43,9	
стебли	25,8	15,8	2,8	1,6	9,2	21,2	32,8	
ветки и листья	58,3	13,7	7,2	4,3	8,1	7,9	27,1	
<i>Salsola dendroides</i>								
корни	20,6	9,4	3,4	2,2	6,1	40,7	20,2	
стебли	25,4	13,8	10,7	1,8	2,4	19,1	14,7	
ветки и листья	25,3	14,5	11,3	1,7	2,2	15,4	14,3	
<i>Sueda microphylla</i>								
корни	61,5	30,1	10,1	3,0	6,0	102,3	22,9	
стебли	42,9	26,8	10,8	1,6	4,0	104,7	22,9	
ветки и листья	32,8	8,1	4,4	4,0	7,5	18,0	15,6	

Примечание. Σ Кан — сумма кларков концентрации анионогенных элементов V, Mo, B; Σ Ккт₁ — сумма кларков концентрации катионогенных элементов Ni, Co, Zn, Cu, Cr, Pb; Σ Ккт₂ — сумма кларков концентрации тех же катионогенных элементов без КК меди.

никель. В растениях с вулкана Кейреке значения кларков концентрации этих элементов меньше единицы и даже ниже, чем в почвах.

Так как на обоих вулканах анализировались одинаковые виды растений, эти особенности накопления элементов в золе, по-видимому, можно объяснить различной степенью их подвижности и доступности растениям в кислой и щелочной среде.

Ванадий, молибден, бор — анионогенные элементы, в щелочной среде более подвижны, чем в кислой; кобальт, никель, медь, цинк, хром, свинец, барий — катионогенные элементы, их подвижность увеличивается в кислой среде.

В табл. 11 приведены суммы кларков концентрации в золе растений анионогенных и катионогенных элементов (последних — в двух вариантах с включением в сумму кларков концентрации меди и без их включения, так как медь в сильнощелочной среде может входить в состав комплексных анионов, а в кислой — выступать как катионогенный элемент). Хром отнесен нами к катионогенным элементам, потому что внутри почвенной толщи, судя по сизо-серому цвету брекчии, не создается резко окислительной обстановки.

Данные табл. 11 показывают, что при всех значениях рН в золе преобладают анионогенные элементы (Mo, V, B), т.е. рассматриваемые растения, как и многие другие растения аридной зоны, по классификации А.Д. Айвазян [1974], относятся к аридонитным растениям. Однако, если сопоставить отношения сумм катионогенных и анионогенных элементов в одних и тех же органах одного вида растений на почвах со значением рН 8–9,3 и

рН 7,5–7,8			рН 5,0–5,5				
Σ Ккт ₂	$\frac{\Sigma \text{ Кан}}{\Sigma \text{ Ккт}_2}$	$\frac{\Sigma \text{ Кан}_1}{\Sigma \text{ Ккт}_2}$	Σ Кан	Σ Ккт ₁	Σ Ккт ₂	$\frac{\Sigma \text{ Кан}}{\Sigma \text{ Ккт}_1}$	$\frac{\Sigma \text{ Кан}}{\Sigma \text{ Ккт}_2}$
29,9	1,8	0,8	—	—	—	—	—
15,5	1,5	1,4	—	—	—	—	—
23,6	3,4	0,3	—	—	—	—	—
7,7	2,0	5,3	52,5	35,2	20,3	1,5	2,6
3,7	1,3	5,2	17,6	24,7	7,7	0,7	2,3
2,8	1,1	5,5	18,8	11,0	5,5	1,7	3,4
7,9	4,5	12,9	22,2	23,3	18,8	0,9	1,2
10,4	4,6	10,1	21,2	21,2	10,7	1,1	1,9
5,6	1,2	3,2	25,9	25,9	13,1	1,1	1,9

5,0–5,5, выявляется тенденция понижения отношения $\frac{\Sigma \text{ Кан}}{\Sigma \text{ Ккт}}$ (рис. 10).

У *Sueda microphylla* в отличие от остальных двух растений максимальное поглощение анионогенных элементов в корнях и стеблях обнаружено не в сильнощелочных, а в слабощелочных условиях.

Распределение элементов между органами растений неодинаково (см. табл. 11). У *Sueda microphylla* базипетальный тип распределения элементов в щелочной среде сменяется слабо выраженным акрипетальным в кислой среде. У *Salsola dendroides* базипетальный тип распределения в кислой и слабощелочной среде сменяется акрипетальным в сильнощелочной. У *Salsola nodulosa* наблюдается та же тенденция.

Индивидуальные особенности микрокомпонентного состава разных видов растений, взятых с одной и той же площадки, видны из табл. 12.

Так, например, *Sueda microphylla* и *Salsola dendroides* (разрез 2а) различаются по типу распределения микроэлементов: акрипетальный у первого растения и базипетальный — у второго. Напочвенный лишайник, взятый из этого же разреза, резко выделяется очень высокими содержаниями бора, цинка, ванадия, хрома, свинца, молибдена, никеля. Аналогичный состав имеет лишайник, взятый у разреза 2в, но с еще более высоким содержанием всех элементов, особенно цинка, ванадия, хрома, свинца (на порядок, превышающий содержание этих элементов в остальных растениях этого сообщества).

Анализы полыни (разрезы 2в и 3) показали высокие по сравнению с другими полукустарничками содержания ванадия, молибдена, свинца и

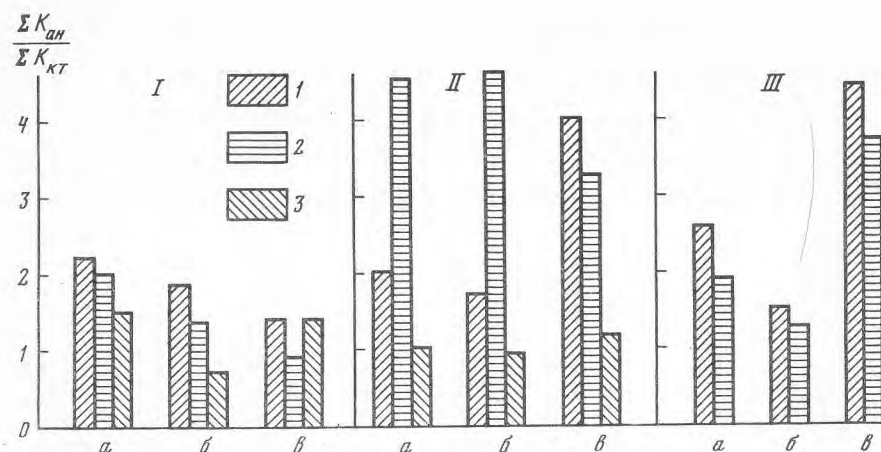


Рис. 10. Отношения сумм катионогенных и анионогенных элементов в золе растений при различных значениях pH почв

I — *Salsola dendroides*; II — *Sueda microphylla*; III — *Salsola nodulosa*; а — корни; б — стебли; в — ветки и листья; pH: I — 9–8,3; 2 — 7,8–7,5; 3 — 5,5–5,0

бора, особенно в корнях. Незначительное содержание этих элементов, кроме бора, имеет *Cynodon dactylon* и *Atriplex canum*.

Представляет интерес микроэлементный состав растений, собранных у подножия вулкана, по берегам маленьких водоемов, куда стекают со склонов воды; это рогаз и тростник. В обоих растениях распределение элементов базиплетальное с заметным накоплением в корнях ванадия, а у тростника — никеля.

Анализы золы животных, обитающих на изученных нами вулканах (табл. 13), показывают, что общей чертой химизма всех животных является высокое содержание молибдена, в десятки раз превышающее кларки живого вещества, что, по-видимому, связано с аномальным содержанием этого элемента в среде обитания. Борная аномалия на химизме животных не отражается. Бор в заметном количестве накапливается лишь в панцире черепахи. В золе всех животных отмечается повышенное относительно кларка живого вещества содержание молибдена, меди, марганца; ниже кларка содержания свинца, бария, стронция.

Но наряду с этими общими чертами отдельные животные, а у черепахи отдельные органы существенно выделяются из общего фона. Содержание бора, бария, марганца, хрома, свинца в панцире черепахи на порядок превышает содержание этих элементов в других органах животного и в других объектах. Саранчовые выделяются как накопители меди, никеля, содержание этих элементов на один-два порядка выше, чем у других животных; кларк концентрации меди у этих насекомых составляет по отношению к живому веществу 194–200.

Жуки-медведки в отличие от саранчовых содержат медь в значительно меньшем количестве. Но для них характерно самое высокое содержание титана. Много титана содержится и в тканях разноцветной ящерицы.

Саранчовые и жуки-медведки, обитающие в аномальных грязевулкани-

Таблица 12. Микроэлементы в растениях вулкана Чеилдаг ($10^{-4}\%$ в сухом веществе)

№ разреза, pH	Объекты	Ni	Co	Zn	Cu	V	Mo	Cr	Pb	B
р.2а 5,5	<i>Sueda microphylla</i>									
	корни	9,2	2,3	3,3	5,9	4,6	0,1	1,0	0,8	10
	стебли	5,3	1,4	2,2	7,9	2,6	0,9	1,0	0,7	6,2
	ветки и л. стья	30,5	6,8	24,5	43,5	20,7	0,9	6,1	0,9	19,6
	<i>Salsola dendroides</i>									
	корни	27,3	5,6	29,8	35,7	16,7	3,9	8,3	4,2	59,5
	стебли	1,7	0,7	3,5	23,8	4,3	0,2	1,9	1,5	11,2
	ветки и листья	0,1	0,3	1,3	1,1	0,2	0,1	0,1	0,2	18,0
	Лишайник	18,6	4,3	60,9	26,1	47,8	6,0	43,5	22,6	108,6
р.2в 8,4	<i>Salsola nodulosa</i>									
	корни	4,3	1,5	5,0	21,0	10	0,4	3,5	1,8	42
	стебли	2,0	0,6	4,5	14,3	3,9	0,1	2,0	2,9	19,5
	ветки	3,5	1,0	5,0	10	4,5	0,6	3,2	1,0	129
	<i>Artemisia fragrans</i>									
	корни	6,7	2,4	30,8	28,1	24,1	4,2	13,4	7,4	44,2
	ветки	5,0	1,8	23,0	21,0	18,0	3,1	10,0	5,5	90
	Лишайник	27,3	8,7	100	38,5	92,3	8,7	73,3	43,3	100
р.3 7,8	<i>Artemisia fragrans</i>									
	корни	5,2	2,1	21,4	21,1	30,3	1,4	1,2	4,6	53,4
	ветки	4,3	0,7	24,0	39,0	13,5	3,7	1,5	1,4	100
	<i>Atriplex</i>									
	корни	1,2	0,4	5,0	7,0	1,4	0,2	0,8	0,1	24
	стебли и листья	5,4	0,1	1,3	2,4	4,2	0,3	2,1	3,0	54
	<i>Cynodon dactylon</i>	2,0	0,8	11,8	12,6	1,6	0,4	0,08	1,2	25,2
	Рогоз									
	корни	3,7	1,8	8,0	9,4	18,0	2,0	1,7	2,4	34,0
	стебли и листья	1,6	0,7	—	9,1	2,7	0,7	7,6	2,5	35,0
р.3а 7,6	<i>Cynodon dactylon</i>	5,5	2,1	19,1	9,5	2,3	0,6	1,6	1,3	62,8
	<i>Fragmites communis</i>									
	корни	19,2	4,8	25,8	17,5	7,5	0,7	4,1	2,6	26,6
	стебли и листья	2,2	0,6	29,4	13,4	0,6	0,06	0,6	0,6	44,9

ческих ландшафтах, существенно отличаются по микрокомпонентному составу от среднего состава насекомых.

В сводке В.В. Ковальского и Т.Ф. Боровик–Романовой [1978] приводятся следующие данные о средних содержаниях элементов в сухом веществе насекомых в целом и отдельно и в отряде *Lepidoptera* ($n \cdot 10^{-4}\%$) (табл. 14).

Геохимическая аномальность микрокомпонентного состава растений и животных в экосистемах, формирующихся на грязевых вулканах, проявляется также в необычном соотношении в составе живого вещества пар элементов.

В табл. 15 приведены средние соотношения пар элементов в сухом веществе растений и животных рассматриваемых вулканов в сравнении со средними отношениями их в живом веществе.

Таблица 13. Содержание микроэлементов в животных, обитающих на грязевых вулканах (10^{-4} % на сухое вещество) [Ахмедов, 1976]

Вулкан, объекты	B	Mo	Ba	Cu	Cr
<i>Чилдаг</i>					
Саранча (Acrididae)	35,9 3,6	3,1 31	13,0 0,43	389,0 194,0	7,7 —
Разноцветная ящерка (Eranias arguta)	27,8 2,8	4,3 43	6,9 0,23	10,4 5,2	3,6 —
Черепаша греческая панцирь (Testudo graeca)	203,0 20,3	—	152 5,07	—	22,8 —
скелет и мышцы	60 6,0	—	18,9 0,63	—	0,9 —
яйца	8,8 0,9	—	79,1 2,63	—	5,2 —
<i>Кейреке</i>					
Саранча (Acrididae)	14,8 1,5	6,2 62	14,6 0,49	403,0 201	2,2 —
Стройная змееголовка (Ophisops elegans)	16,9 1,7	3,3 33	5,2 0,17	5,8 2,9	1,3 —
Жуки-медведки (Orthoptera)	11,2 1,1	2,8 28	23,3 0,78	20,1 10,0	3,8 —

Примечание. В числителе — содержание, в знаменателе — кларки концентрации, рассчитанные к кларку живого вещества; "—" — не определены.

Существенно нарушены по сравнению с средним составом живого вещества отношения $\frac{Sr}{Ba}$ и $\frac{Zn}{Cu}$; относительное содержание стронция повышено, что, как показали исследования растительности Устюрта [Добровольский, 1962] и Таджикистана [Ковальский и др., 1978], свойственно растениям аридных областей; в солончаковых брекчиевых почвах содержание бария близко к кларку, а стронция значительно ниже [см. табл. 8, 9].

Отношение $\frac{Zn}{Cu}$ в растениях грязевых вулканов ниже, чем среднее в живом веществе, за счет активного накопления меди (при содержании в почвах, близком к кларковому).

Несколько повышено в растениях и в животных отношение $\frac{Ni}{Co}$ при содержании в брекчиевых почвах этих обоих элементов, близком к кларковому.

Возможно, что изменение соотношений между элементами является защитной функцией по отношению к избытку некоторых из них в среде обитания.

Несмотря на избыток в почвах и водах грязевых вулканов бора и молибдена, галофитные полкустарники и другие растения не имеют мак-

Pb	Mn	Ti	V	Co	Ni	Sr	Зольность, %
1,3 0,26	182,0 18,2	28 3,5	0,4 —	0,5 —	8,1 16,2	83,1 0,41	13,0
1,7 0,34	36,5 3,65	113 14,1	10 —	0,3 —	0,8 1,6	39,9 0,2	17,4
9,9 1,98	179,0 17,9	—	—	—	—	—	44,7
1,9 1,4	14,1 1,41	—	—	—	—	—	24,6
2,1 3,4	34,3 3,43	—	—	—	—	—	9,4
2,2 0,44	54,9 5,49	23,1 2,9	0,1 —	0,4 —	5,3 10,6	65,9 0,33	12,2
1,3 0,26	12,2 1,22	18,8 2,4	7,8 —	0,1 —	0,3 0,6	33,8 0,16	13,0
1,1 0,22	222,6 22,3	127,2 15,8	1,6 —	2,3 —	8,4 4,6	53,0 0,18	10,6

роморфологических изменений; возможно, что эти изменения могли бы быть обнаружены в анатомическом строении отдельных органов, особенно тех, в которых наблюдается "складирование" избыточных элементов.

Исследования, проведенные на геохимически аномальных ландшафтах грязевых вулканов, дали следующие результаты.

1. Грязевые вулканы полупустынных областей Азербайджана представляют собой ярко выраженные природные борно-молибденовые геохимические аномалии, обусловленные химическим составом вулканических брекчий и сильно минерализованных щелочных вулканических вод. Высокоаномальные содержания бора и молибдена обнаруживаются во всех компонентах ландшафта: породах, водах, почвах, растениях и животных.

2. Смена восстановительной обстановки, господствующей на глубине в "корнях" вулканов, окислительной на их поверхности приводит к окислению заключенных в брекчии сульфидов и смене щелочной обстановки в молодых брекчиевых почвах на нейтральную и кислую в старых и древних брекчиевых покровах и почвах.

3. Испарение поступающих из кратеров, сальз и грифонов сильно минерализованных вод, просачивающихся внутри брекчии и стекающих по ее поверхности вниз по склонам вулканических сопков, приводит к образованию солончаковых брекчиевых почв. Частичное, поверхностное рассо-

Таблица 14. Среднее содержание элементов в сухом веществе насекомых

Элементы	B	Mo	V	Cu	Cr	Pb	Mn	Ti	V	Co	Ni	Sr
Насекомые в целом	—	0,6	—	50	—	7	10	160	—	0,7	9	—
Отряд Lepidoptera	—	0,9	6	47	4	3	22	22	—	0,3	13	6
Среднее в саранче на грязевых вулканах	25,3	4,6	13,8	396	4,9	1,7	118	25,5	0,25	0,45	6,7	74,5

Таблица 15. Соотношение элементов в сухом веществе растений и животных грязевых вулканов Кейреке и Чеилдаг

Объекты	$\frac{Sr}{Ba}$	$\frac{V}{Mo}$	$\frac{Ni}{Co}$	$\frac{Zn}{Cu}$	$\frac{Cr}{Pb}$
Растения с вулкана Кейреке	7,4	5,5	3,4	0,6	2,8
Растения с вулкана Чеилдаг	3,5	7,5	4,2	0,9	1,5
Животные с вулканов Кейреке и Чеилдаг	0,87	1	4,6	—	2,2
Средние в живом веществе	0,67	10	2,5	25	1

ление наблюдается лишь под куртинами поселяющихся на склонах вулканов галофитных полукустарничков; на голых такыровидных участках максимум солей приурочен к верхнему горизонту.

4. Уровни содержания и соотношение микроэлементов в растениях обнаруживают связь: а) с избыточным содержанием элементов в почвах и водах (бор, молибден); б) с щелочно-кислотными условиями почв; у ряда растений наблюдается тенденция относительного увеличения поглощения на щелочных почвах аниогенных элементов (V, Mo, B), а на кислых—катиогенных (Ni, Co, Pb, Zn); медь интенсивно накапливается растениями и на кислых, и на щелочных почвах; в) с индивидуальными особенностями данного вида растений и связанного с этим типа распределения элементов между органами и избирательного накопления определенных элементов и их ассоциации (как, например, у лишайников).

5. Животные грязевулканических биогеоценозов участвуют в дальнейшей перегруппировке химических элементов. Наряду с накоплением молибдена, в меньшей степени бора, некоторые из них являются аккумуляторами отдельных элементов. Особенно сильная индивидуальная накопительная концентрация обнаружена у саранчи (медь) и в панцире черепахи (бор, барий, хром, медь, свинец, титан, марганец) при очень высокой зольности.

6. У всех растений и животных аномальных ландшафтов грязевых вулканов нарушается по сравнению со средним составом живого вещества соотношение элементов и особенно Sr/Ba и Zn/Cu.

Заключение

Проведенные исследования свидетельствуют о перспективности изучения природных геохимически аномальных ландшафтов для выявления закономерностей рассеяния и вторичной концентрации избыточных макро- и микроэлементов в системе породы—воды—почвы—растения—животные, элементарных и геохимически сопряженных ландшафтов.

Большое значение при этих исследованиях имеет выявление геохимических обстановок, ограничивающих поступление избыточных микроэлементов в живые организмы для целей регулирования этих процессов на территориях, подвергающихся техногенному загрязнению.

Необходимо накопление материалов о биологическом поглощении редких и рассеянных элементов одними и теми же видами растений, но в различных кислотно-щелочных, окислительно-восстановительных и термодинамических условиях. Такого рода материалы нужны для научного обоснования комплексов мероприятий по созданию искусственных геохимических барьеров для ограничения биологического поглощения токсичных элементов.

Перспективно также и в теоретическом, и в практическом плане изучение изменений геохимической структуры организмов и их сообществ, сформировавшихся в условиях экстремальной природной геохимической обстановки: изменения распределения элементов между органами растений и животных, изменения соотношений между элементами, изменения распределения элементов внутри биоценоза и других изменений, способствующих адаптации к геохимически экстремальным условиям.

Выявление этих природных закономерностей поможет разработке теории и практики геохимической мелиорации ландшафтов, направленной к ослаблению и ликвидации нарушений экологической обстановки при техногенных загрязнениях.

Литература

- Айвазян А.Д. Геохимические особенности флоры ландшафтов юго-западного Алтая: Автореф. дис. ... канд. геогр. наук. М.: МГУ, 1974.
- Айвазян А.Д., Касимов Н.С. Геохимическая специализация растений. — Вестн. МГУ. Сер. 5, География, 1979, № 3.
- Ахмедов А.Г. Геохимические особенности ландшафтных фаций грязевого вулкана Чеилдаг. — Зап. АзГУ. Сер. геогр., 1975, № 2.
- Ахмедов А.Г. Геохимия ландшафтов грязевых вулканов юго-восточного Кавказа: Автореф. дис. ... канд. геогр. наук. Баку, 1976.
- Глазовская М.А., Макунина А.А., Павленко И.А. и др. Геохимия ландшафтов и поиски полезных ископаемых на Южном Урале. М.: Изд-во МГУ, 1961.
- Добровольский В.В. Характерные черты геохимии ландшафтов центральной части Устюрта. — В кн.: Геохимия степей и пустынь. М.: Географиз, 1962. (Вопросы географии; Сб. 59).
- Елпатьевский П.В. Вторичные ореолы рассеяния Гайского медноколчеданного месторождения и методика геохимических поисков. — Бюл. науч.-техн. информ. М.: Госгеолтехиздат, 1958.
- Ковалевский А.Л. Биогеохимические поиски рудных месторождений. М.: Недра, 1974.
- Ковалевский А.Л. Особенности формирования рудных биогеохимических аномалий. Новосибирск: Наука, 1975.
- Ковалевский А.Л., Ковалевская О.М. Биогеохимические поиски бериллиевых месторождений. Новосибирск: Наука, 1979.

- Ковальский В.В. Геохимическая экология. М.: Наука, 1974.
- Ковальский В.В., Блохина Р.И. и др. Стронциево-кальциевые субрегионы биосферы и биогеохимические провинции. — Тр. Биогеохим. лаб. АН СССР, 1978а, т. 15.
- Ковальский В.В., Боровик-Романова Т.Ф. Значение бабочек в биогенной миграции химических элементов и элементарный состав их различных экологических групп. — Тр. Биогеохим. лаб. АН СССР, 1978б, т. 15.
- Летунова С.В., Ковальский В.В. Геохимическая экология микроорганизмов. М.: Наука, 1978.
- Скарлыгина-Уфимцева М.Д., Черняхов В.Б., Березкина Г.А. Биогеохимические особенности медноколчеданных месторождений Южного Урала. Л.: Изд-во ЛГУ, 1976.
- Warren H.V., Delavault R.E. Biogeochemistry in Canada. — Geologic. Surv. Canada, 1971, s. 276–289.

M.A. GLAZOVSKAYA

Analogues of technogenic geochemical anomalies in nature

Under study were two geochemically anomalous in the South Urals formed in the zone affected by acid sulphate waters in a copper pyrite deposit, and in East Azerbaijan, in the zone affected by alkaline chloride water enriched with boron and molybdenum in the mud volcanoes. The author has determined the accumulation levels and distribution regularities of microelements in soils, plant and animal ash. The microelement accumulation in plants is found out to depend not only on the microelements content in soils and individual features of plants, but also on the acidity and alkalinity of soils and water. The author shows the geochemical structure of plants to change with the excess of microelements in soils: the pattern of microelements distribution between plant organs and their a ratio alter, which may be treated as an adaptive reaction of organisms to geochemically abnormal conditions. The geochemistry of rare natural landscapes should be studied because it is of vital importance for the theory and practice of geochemical reclamation projects aimed at recovery of technogenic disturbances of the environment and their elimination.

УДК 622.34 + 631.4 + 550.4

П.В. ЕЛПАТЬЕВСКИЙ, Т.Н. ЛУЦЕНКО

Распределение и формы нахождения тяжелых металлов в горных буроземах Сихотэ-Алиня как индикатор техногенного ореола рассеяния

Геохимически аномальные ландшафты давно привлекают внимание исследователей. В первую очередь такими объектами являлись аномалии, связанные с месторождениями и рудопроявлениями цветных металлов. Литература, посвященная вопросам миграции рудных элементов в породах зоны выветривания, почвах, водах и биоте в условиях природных геохимических аномалий, огромна. Значительно слабее освещена миграция тех же элементов в условиях техногенных геохимических аномалий, формирование которых связано с процессами добычи и переработки рудного вещества.

Весьма ярко геохимическое воздействие техногенеза на природные процессы проявляется на участках, прилегающих к предприятиям по обогащению и переработке руд. Эти территории, как правило, в той или иной степени уже измененные хозяйственной деятельностью, принимают дополнительный по сравнению с природными условиями поток веществ; вблизи пред-

приятий цветной металлургии — это поток рудных элементов. Их транспортировка на окружающую территорию осуществляется воздушным путем, а выведение из атмосферы и поступление на поверхность почвы — в результате дождей и сухих выпадений. Таким образом, в почвенном покрове техногеосистемы создаются геохимические аномалии, примеры которых были описаны ранее [Будун, 1975; Аржанова, 1977; Аржанова, Елпатьевский, 1977; Макунина 1980; Ward et al., 1976; Regaini et al., 1977].

Спектр элементов в аномалии определяется характером перерабатываемого сырья, а набор химических соединений, в которые они входят, — технологическими процессами. Поступая в техногеосистемы, они включаются в природные гипергенные циклы миграции. Почва является основным физико-химическим барьером на пути миграции техногенных элементов в геосистеме. В почве можно ожидать изменения форм нахождения металлов по сравнению с формами поступающих соединений, часть их переводится в растворимые, мигрирующие с почвенными водами и выносимые из геосистемы соединения, другая часть закрепляется в составе различных почвенных компонентов как в малоподвижных, так и доступных для биоты формах. В почве идет трансформация техногенного вещества, его перевод в соединения, характерные для конкретной ландшафтно-геохимической обстановки. Прогнозирование поведения техногенных компонентов в экосистемах возможно на основании изучения форм их закрепления в почве.

Формы закрепления рудных элементов в почвах природных геохимических аномалий исследовались с использованием методик фазового анализа, направленных на экстрагирование металлов, связанных с различными почвенными компонентами [Елпатьевский, 1969 а,б; Сает, Несвижская, 1975; Bedoch, Brenner, 1977; Gatehouse et al., 1977]. Установлено, что в общем балансе металла наиболее лабильные формы закрепления — водорастворимые, обменно-адсорбированные, доступные растениям — составляют небольшую часть, а основная доля элементов фиксирована в устойчивых почвенных компонентах — минералах гидроокислов железа, глинистых минералах и др. Такое распределение является, очевидно, результатом длительной истории развития гипергенных геохимических аномалий, формирующихся в чехле рыхлых отложений, выступающих как почвообразующие породы; эти отложения обычно имеют возраст более древний, чем образующиеся на них почвы. Почвообразующие процессы, как правило, не вносят коренных изменений в уже сложившееся соотношение форм закрепления металлов. Это подтверждается результатами исследований, проводившихся Н.И. Разенковой и др. [1974], Ю.Е. Саетом и Н.И. Несвижской [1975]. Они изучали формы закрепления в мощных рыхлых отложениях рудных элементов в ореоле рассеяния.

Техногенные геохимические аномалии по сравнению с природными имеют совершенно "юный" возраст — десятки лет. Их формирование обусловлено выпадением на поверхность почвы сложного спектра соединений металлов. По данным Н.А. Филипповой [1975], в аэрозольных выбросах пирометаллургического производства элементы могут находиться в металлической форме, в виде сульфидов, сульфатов, окислов, силикатов, ферритов, арсенатов, антимонатов. Металлосодержащие частицы имеют микронные размеры, что должно облегчать их последующие физико-химичес-

кие превращения в верхних горизонтах почвы, "освоение" почвой техногенного вещества.

Целью данной работы была попытка установить формы закрепления металлов в почвах, подвергающихся воздействию свинцового металлоплавильного предприятия.

Объект исследования

Район работ был расположен на восточном склоне Сихотэ-Алиня, в прибрежной его части. Для него характерен влажный муссонный климат. Среднегодовая сумма осадков — до 800 мм, подавляющая часть их выпадает в летний период, часто в форме ливней высокой интенсивности. Рельеф района низогорный, сильно расчлененный, с узкими водораздельными гребнями; абсолютные высоты не превышают 150–200 м. Преобладающий тип растительности — широколиственные, преимущественно дубовые леса, местами замещенные мелколиственными группировками. Почвенный покров характеризуется развитием иллювиально-гумусовых буроземов [Грачева, Таргульян, 1978], как правило, сильно каменистых.

Изученный почвенный разрез располагался в сфере рассеивания факела металлосодержащих аэрозолей предприятия цветной металлургии, работающего 20–30 лет. Он находился на водоразделе с низкобонитетным, разреженным, угнетенным рододендровым дубняком. Угнетение обусловлено, очевидно, физиологической сухостью местоположения — быстрой фильтрацией выпадающих осадков через щебнисто-глыбистую толщу, отсутствием бокового подтока, малой влагоемкостью почвы. Водораздельное положение разреза и разреженный растительный покров в прибрежных условиях с сильными ветрами приводят к тому, что в осенне-зимний период листовой опад сдувается, источники накопления органического вещества в почве практически отсутствуют. Напочвенный покров, представленный куртинами брусники, зеленых мхов и лишайников, также не может являться интенсивным источником накопления органических веществ. Почвенный профиль в этих экстремальных для лесов Сихотэ-Алиня условиях маломощен, слабо развит.

АОА1 0–1 см — близкий к черному, порошистый, скрепленный в непрочную корочку лишайниками и их отмершими частями.

А1 1–2(3) см — близкий к черному, пылевато-порошистый, с мелким хрящем, немногочисленные прозрачные зерна кварца отмыты, лишены красящих кутан.

В 2(3)–30(40) см — щебнистая толща от светло-бурой в верхней части до палевой внизу с пылевато-песчаным мелкоземистым заполнителем. Мелкозем рыхлый, порошистый, слабо агрегирован. Щебень лишен пылеватых кутан, но в нижней части горизонта одет пленочными железистыми (органом-железистыми?) кутанами, приуроченными к нижним поверхностям обломков.

ВС 30(40)–100(110) см — щебнистая толща с увеличивающимися размерами обломков и уменьшающимся книзу количеством мелкоземистого песчано-пылеватого заполнителя светло-палевого цвета. Мелкозем не агрегирован. Устанавливаются признаки суспензионного перемещения мелкозема: маломощные пылеватые кутаны на верхних гранях щебня,

Таблица 1. Результаты химических анализов техногенно-аномальной почвы

Глубина, см	рН водный	Емкость поглощения, мг-экв/100 г	Поглощенные катионы, мг-экв/100 г			Гумус, %
			Ca	Mg	H	
0–1	4,01	85,80	10,0	2,0	9,12	37,74
1–2	4,04	58,70	8,0	6,0	12,34	18,98
2–4	4,25	34,52	4,0	1,0	9,31	8,17
4–8	4,56	21,65	5,0	1,0	4,58	4,86
8–15	4,61	19,50	3,0	2,0	3,38	4,03
15–30	4,52	19,11	6,0	4,0	3,37	2,63
30–50	4,57	18,72	4,0	3,0	4,47	1,85
50–70	4,65	16,58	4,0	3,0	4,90	1,20

отмытые от мелкозема скопления песчаных частиц, слабо выраженное обеднение мелкоземом горизонта 70–100 см.

С 100–150 см и ниже — крупноглыбистый элювий туфобрекчий кислого состава (кварцевых порфиров), разбитый трещинами на отдельности выветривания. Трещины местами открытые, зияющие, местами заполнены песчаным материалом.

Мелкозем в верхней части профиля (до глубины 30 см) преимущественно крупнопылеватый, а в нижней — песчанистый. Распределение ила и особенно физической глины имеет иллювиальный характер с четким накоплением на глубине 15–30 см, т.е. в нижней части иллювиально-метаморфического горизонта, который в результате этого по механическому составу представляет собой тяжелый суглинок (против среднего суглинка —верху и супеси — в нижней части разреза).

Образцы для анализов были взяты по профилю без интервалов. Результаты анализов (табл. 1) показывают, что на всем протяжении профиля в почве сохраняется кислая реакция. С высоким содержанием органического вещества в самой верхней части профиля связана и высокая емкость поглощения. С глубиной она уменьшается параллельно падению содержания гумуса.

Методика аналитической обработки

Трудности выбора методики фазового анализа исследуемой почвы заключаются в генетической разнородности микроэлементного комплекса и, вследствие этого, — различий в формах нахождения металлов.

В исследовании форм нахождения рудных элементов в природных гипергенных образованиях обособляются два направления. Первое связано с изучением почв, в которых эти элементы находятся в низких концентрациях (как правило, менее 0,01%), вследствие чего принимается, что поведение микроэлементов в почвенном профиле в значительной степени определяется основными компонентами почв и почвообразующими процессами, а рудные элементы не образуют собственных минералов. При этом исследуются почвенный поглощающий комплекс на содержание микроэлементов, способных к обменным реакциям, органическое вещество и связан-

ные с ним рудные элементы (органо-минеральные формы), свободные полуроторные окислы, карбонатные минералы и т.п. Методика фазового анализа при таких исследованиях направлена на сепаратное извлечение в раствор тех или иных почвенных компонентов и связанных с ними микроэлементов, т.е. их безминеральных форм [Зырин и др., 1974; Елпатьевский, 1969а, б; Саэт, Несвижская, 1975; Степанова, 1976; Gatehouse, 1977].

Второе направление исследований — фазовый анализ окисленных руд цветных металлов и рыхлых отложений, обогащенных ими. Используемый при этом комплекс селективных растворителей имеет целью переводение в раствор отдельных рудных минералов. Для большинства минеральных форм цветных металлов разработаны методики их раздельного определения [Филиппова, 1975]. Примеры использования этих методов при изучении вторичных ореолов рассеяния в рыхлых отложениях приведены в работах Н.И. Разенковой и др. [1974, 1977], Л.В. Антроповой [1975], В.К. Лукашева и Т.Н. Симуткиной [1976].

Сопоставление химических методов, применяемых при исследовании разных объектов, показывает, что в обоих случаях часто используются одинаковые или близкие по воздействию растворители, хотя и в разных концентрациях.

Априорно в исследуемых объектах можно ожидать разнообразный набор форм закрепления металлов: безминеральные формы, при которых элементы входят в состав различных почвенных компонентов, минеральные гипергенные образования, генетически связанные с техногенными продуктами, и сами продукты техногенеза в соединениях, не свойственных природным обстановкам. Четкому разделению отдельных форм закрепления элементов перечисленных выше генетических групп препятствует то обстоятельство, что, во-первых, одно и то же химическое соединение может иметь различное происхождение, во-вторых, химически различные формы микроэлементов могут переходить в раствор при обработке одним реактивом.

Все это не позволяет абсолютизировать данные, получаемые в результате фазовых анализов таких сложных гетерогенных систем, как почвы с аномально высокими содержаниями тяжелых металлов. В каждом случае при интерпретации результатов требуется учет геохимической обстановки и конкретных факторов.

После сопоставления известных нам методик селективного фазового анализа мы остановились на серии вытяжек, использованных Ю.Е. Саеом и Н.И. Несвижской [1975]. Эта методика включает следующие операции.

1. Извлечение водорастворимых соединений 60%-ным водно-спиртовым раствором в соотношении твердая фаза : жидкость — 1 : 5 путем 3–5-минутного встряхивания на ротаторе. В раствор переходят сульфаты меди, цинка, кадмия. Невысокое соотношение навески и собственно водной фазы препятствует заметному растворению слаборастворимых соединений (некоторые сульфаты, карбонаты).

2. 3%-ным раствором KCl в 60%-ном спирте вытесняются обменно-сорбированные формы. Спиртовой раствор предохраняет карбонаты от растворения. Но хлоридная составляющая может иметь большое значение в переводе в раствор сульфата свинца в результате образования комп-

лексного соединения ($PbCl_2$). В фазовом анализе руд как селективный растворитель англезита используется 25%-ный раствор NaCl.

Изменение катиона в составе раствора вряд ли играет решающую роль в растворении сульфатов свинца; очевидно, большее значение имеет пониженная концентрация хлорид-иона. Это может явиться причиной перевода в раствор только части присутствующего в твердой фазе сульфата. Таким образом, результаты этой вытяжки теряют свою определенность, что необходимо учитывать при их интерпретации.

3. Обработка остатка почвы раствором ацетата натрия, забуференного уксусной кислотой до pH 4,2. В раствор переходят карбонаты и водонерастворимые сульфаты. По отношению к рудным элементам спектр растворимых соединений включает в себя часть сульфатов свинца, цинка, меди, а в случае присутствия техногенных продуктов — металлический свинец, окислы и арсенаты свинца. Образование последних происходит при пирометаллургическом переделе свинцово-цинковых руд. Из соединений цинка при этой обработке растворяются его карбонаты (смитсонит и каламин) и окислы — металлический цинк, арсенаты. В техногенных продуктах переходящий в вытяжку кадмий представлен окислами и металлом.

4. Обработка остатков почвы 30%-ной H_2O_2 , с последующей промывкой кислым ацетатным раствором, переводит в вытяжку металлы, связанные с органическим веществом почвы и входящие в состав сульфидных соединений, как природных, так и техногенных.

5. Гидроокислы железа извлекались вытяжкой Честерта — смеси 2 н раствора солянокислого гидроксилamina и 25%-ной уксусной кислоты со значением pH 1,8 [Chester, Huges, 1967]. Извлекая гидроокислы железа и окислы марганца, вытяжка не затрагивает глинистых минералов, почти не переводит в раствор алюминий, уступает в степени воздействия на минеральный субстрат вытяжке Тамма. При обработке реактивом Честерта нет опасений в образовании нерастворимых сульфидных осадков, как и в случае вытяжки Мера-Джексона.

6. Из остатка почвы выделялись илистые частицы и фракции с размерами 0,01–0,001; 0,1–0,01; 0,5–0,1 и 1–0,5 мм. Из двух последних выделены тяжелые минералы.

Твердый материал разлагался смесью фтористоводородной и соляной кислот и анализировался атомно-абсорбционным методом; в вытяжках металлы определялись тем же методом на основе эталонов, приготовленных на растворах, использованных для соответствующих вытяжек.

Результаты анализов форм тяжелых металлов в почве

В техногенно-аномальной почве максимум концентраций халькофильных элементов приходится на верхний горизонт, распространение элементов вниз по профилю определяется выносом из верхней части профиля. Транспортировка может осуществляться растворами с частичным выведением элементов из их состава и закреплением различными механизмами в более глубоких горизонтах в твердой фазе почвы. Но нельзя исключать и перемещения рудных элементов в твердой фазе в процессе суспензионного переноса.

Это явление характерно для почв района, проявляется в перемещении

в основном пылеватых частиц и морфологически наиболее отчетливо фиксируется глубже гумусового горизонта.

В связи с тем, что можно было ожидать больших градиентов изменения концентраций техногенных элементов в почвенном профиле при их поступлении аэральным путем, а также малой мощности верхних органических и органо-минеральных горизонтов, опробование почвы выполнено с небольшими интервалами, возрастающими с глубиной. Фазовому анализу подвергались образцы только до глубины 70 см, так как не ожидалось проникновения техногенных металлов на большую глубину.

Преобладающим в аномалии элементом является свинец (табл. 2), содержания которого более чем на два порядка превышают фоновые концентрации, характерные для эффузивных пород кислого состава. Концентрации свинца вниз по профилю почвы сначала резко падают и на глубине 8 см почти достигают фоновых значений, но затем несколько возрастают. Это повышение коррелируется с увеличением концентраций железа в мелкоземле и появлением железистых кутан на обломках щебня в этом же интервале глубин. На исследованных глубинах (до 70 см) концентрации свинца не опускаются до фоновых.

Содержание цинка в верхнем горизонте значительно уступает содержанию свинца и превышает фоновые всего в 10 раз; близкие к фоновым концентрации устанавливаются в низах изученной части профиля. Значения свинцово-цинкового отношения уменьшаются с глубиной; свинец преобладает над цинком только в верхних 4 см, глубже наблюдается обратное соотношение. Таким образом, цинк активнее мигрирует вниз по профилю и слабее, чем свинец, закрепляется в верхнем горизонте почвы.

Медь в аномальных количествах присутствует только в верхнем слое до глубины 8 см, а кадмий прослеживается на всю изученную мощность почвы. Отношение цинк/кадмий возрастает с глубиной, т.е. кадмий более активен. Соотношение этих металлов в верхнем горизонте почвы, по-видимому, отражает их соотношение в техногенных аэрозолях, следовательно, продукты техногенеза, поступающие в атмосферу, значительно богаче кадмием, чем поступающее на переработку сырье. Марганец в описываемом почвенном профиле присутствует в фоновых количествах, и поэтому трудно ожидать его влияния на миграцию рудных элементов.

Водная вытяжка переводит в раствор в аналитически определяемых концентрациях только цинк из проб верхних 8 см, но относительные количества его ничтожны (0,0 п % суммы металла).

Обработка почвы спиртовым раствором KCl приводит к заметному воздействию на микроэлементный комплекс. В наименьшей степени затрагиваются медь и марганец — элементы, не фиксируемые в аномальных количествах. Из грубогумусового и гумусового горизонтов больше всего извлекается свинец — на порядок меньше цинка. Но с глубиной соотношение меняется, и цинк, как и в валовом анализе, преобладает над свинцом, т.е. цинк легче передвигается по почвенному профилю, "освоение" почвой техногенных цинксодержащих продуктов идет быстрее, нежели содержащих свинец. В пользу этого свидетельствует также более высокая степень извлечения цинка по всей аномальной части профиля. В наибольшей степени экстрагируется кадмий, максимально — из верхних горизонтов (табл. 3).

Остается открытым вопрос, можно ли все количество экстрагируемых

Таблица 2. Валовые содержания металлов в техногенно-аномальной почве

Горизонт	Глубина см	$n \cdot 10^{-3} \%$					
		Cu	Pb	Zn	Cd	Mn	Fe
A0A1	0—1	18,0	830	1,2	3,4	23	1,22
A1	1—2	9,6	380	63,5	2,0	23	2,00
AB	2—4	3,7	90	16,6	1,2	19	1,71
"	4—8	3,0	16	16,7	0,3	25	2,12
"	8—15	2,4	2,5	14,9	0,3	18	2,33
B	15—30	1,7	7,7	17,6	0,2	24	3,14
BC	30—50	1,8	14	12,2	0,1	21	2,49
"	50—70	1,6	4,2	7,0	0,1	16	1,69
Фон (дациты)		2,0	2,0	6,0	0,01	30	1,82

Таблица 3. Содержание и степень извлечения металлов KCl-вытяжкой из техногенно-аномальной почвы

Горизонт	Глубина, см	Элементы					
		Cu	Pb	Zn	Cd	Mn	Fe
A0A1	0—1	13 7,2	2405 29,1	228 37,2	25 72,5	13 5,6	32 0,26
A1	1—2	2 2,1	760 19,8	170 26,5	13 65,2	22 9,4	72 0,37
AB	2—4	3 8,3	261 30,4	64 38,4	6 51,5	11 5,7	42 0,25
"	4—8	2 6,0	20 12,6	24 14,4	1 29,2	6 3,5	5 0,05
"	8—15	1 4,2	3 20,0	16 10,7	0,5 17,0	5 2,9	5 0,02
B	15—30	2 11,8	10 21,1	20 11,1	Не обн.	5 2,1	8 0,03
BC	30—50	1 5,4	5 3,6	5 4,1	0,4 28,9	6 2,6	5 0,02
	50—70	1 6,2	5 12,0	5 7,1	Не обн.	4 2,4	3 0,02

Примечание. В числителе — содержание в вытяжке, $n \cdot 10^{-4} \%$ от навески, в знаменателе — степень извлечения, % от валового количества.

этой вытяжкой элементов относить за счет адсорбированных способных к обмену форм. Емкость поглощения и ненасыщенность почвенного поглощающего комплекса основаниями не противоречат этому, так же как и количество поглощенных металлов. Для максимально экстрагируемого из верхнего горизонта свинца это количество составляет 2,3 мг-экв/100 г почвы

Таблица 4. Содержание и степень извлечения металлов ацетатной вытяжкой из техногенно-аномальной почвы

Горизонт	Глубина, см	Элементы					
		Cu	Pb	Zn	Cd	Mn	Fe
A0A1	0-1	9	1410	12	0,6	6	348
		0,5	17,5	2,0	1,7	11,2	2,8
A1	1-2	6	960	12	0,9	3	366
		6,2	25,0	1,9	4,5	3,0	1,9
AB	2-4	1,5	219	9	0,9	0,4	540
		4,1	25,5	5,4	7,7	2,1	3,2
"	4-8	1,5	30	21	0,6	0,2	444
		5,9	18,9	12,6	17,5	1,7	2,1
"	8-15	1,5	Не обн.	21	0,6	0,3	351
		6,3		14,1	20,4	2,3	1,5
B	15-30	Не обн.	"	5	Не обн.	0,3	243
				2,6		1,1	0,8
BC	30-50	"	"	3	"	0,4	141
				2,5		1,2	0,6
"	50-70	"	"	Не обн.	"	0,4	84
						5,2	0,5

Примечание. В числителе — содержание в вытяжке, $n \cdot 10^{-4}\%$ от навески; в знаменателе — степень извлечения, % от валового количества.

и сопоставимо с содержанием такого широко распространенного катиона, как магний.

Кислая ацетатная вытяжка по отношению к исследуемому профилю не является кислой, так как значения pH верхних горизонтов почвы ниже, чем используемого реактива. Основная форма закрепления рудных элементов, способных растворяться, — это карбонатные соединения, которые в этом профиле существовать не могут. Тем не менее все металлы определены в вытяжке (табл. 4). Больше всего и в абсолютных, и в относительных количествах извлекается свинца (до глубины 8 см). Ниже присутствие свинца не устанавливается: цинк в этой вытяжке отмечается до глубины 50 см; кадмий и медь занимают промежуточное положение.

Извлечение металлов происходит, вероятно, из техногенных продуктов, поступающих на поверхность почвы в форме окислов, металлов в элементарном состоянии, которые растворимы в уксусно-кислой среде. Эта форма поступления и закрепления в почве существенна только для свинца, абсолютные количества которого многократно превышают концентрации других металлов. Если вытяжка извлекает техногенные продукты именно в этих неизменных гипергенезом формах, то следует признать возможность механического перемещения аэральных частиц хотя бы в верхних горизонтах почвы мощностью 8-15 см.

Труднообъяснимо извлечение небольших относительных количеств железа. Вероятнее всего, частично переходят в раствор наименее окристаллизованные, рыхло связанные формы. Корреляции в распределении экстра-

Таблица 5. Содержание и степень извлечения металлов в вытяжке после обработки техногенно-аномальной почвы H_2O_2

Горизонт	Глубина, см	Элементы					
		Cu	Pb	Zn	Cd	Mn	Fe
A0A1	0-1	82	2200	140	6	6	340
		45,6	26,6	22,9	17,4	0,06	2,8
A1	1-2	24	900	240	3	3	625
		25,0	23,4	37,4	15,1	0,03	3,2
AB	2-4	2	150	3	4	Не обн.	250
		5,4	17,5	1,5	34,3		1,5
"	4-8	0,5	Не обн.	3	1	"	250
		2,0		1,8	29,4		1,2
"	8-15	0,5	"	3	1	"	200
		2,1		1,7	34,0		0,9
B	15-30	Не обн.	"	Не обн.	0,5	"	900
					33,0		2,9
BC	30-50	"	"	"	Не обн.	"	800
							3,2
"	50-70	"	"	"	"	"	14
							0,08

Примечание. В числителе — содержание в вытяжке, $n \cdot 10^{-4}\%$ от навески; в знаменателе — степень извлечения, % от валового количества.

гируемого железа и рудных элементов не наблюдается; железо в данном случае не контролирует распределение халькофильных элементов.

При обработке почвы перекисью водорода с последующей промывкой ацетатным раствором переводятся в вытяжку большие количества меди, свинца, цинка из верхних 2-4 см, ниже их содержание резко падает. Распределение кадмия более монотонно (табл. 5). Металлы, переходящие в вытяжку, могли быть связаны с окисленными в процессе обработки органическими веществами и с сульфидными минералами. Поступление последних в составе техногенных аэрозолей вполне вероятно. Они, в свою очередь, при окислении хромовой смесью могли увеличить определенное методом Тюрина (по окисляемости) содержание гумуса. Четко разделить эти две составляющие фазы как в балансе металлов, так и в составе гумуса не представляется возможным. Но оценка соотношения органо-минеральной и сульфидной форм нахождения рудных элементов может быть выполнена на основе следующих соображений. Кривая распределения гумуса, даже осложненная влиянием присутствующих в почве сульфидов, имеет плавный ход с постепенным снижением концентраций с глубиной. Распределение металлов имеет другой характер: высокие концентрации резко, в 1-2-сантиметровом интервале, снижаются в 10-100 раз, а свинец ниже этого предела даже не обнаруживается. Содержания углерода в интервале низких концентраций металлов находятся в пределах 2,5-5% против 8-19% вверху. Вполне вероятно, что выход металлов в области низких концентраций обусловлен их долей, связанной с органическими соедине-

Таблица 6. Содержание и степень извлечения металлов в вытяжку Честера из техногенно-аномальной почвы

Горизонт	Глубина, см	Элементы					
		Cu	Pb	Zn	Cd	Mo	Fe
A0A1	0-1	51 28,4	2130 25,8	72 11,8	2 5,8	7 3,8	5580 45,8
A1	1-2	12 12,5	1110 28,9	30 4,7	2 10,0	5 2,2	5700 29,6
AB	2-4	1 4,1	180 21,0	5 2,7	He обн.	9 4,7	1800 10,6
"	4-8	1 5,9	24 15,1	12 7,2	"	8 4,7	4800 22,7
"	8-15	3 14,3	3 12,0	8 5,0	"	5 2,9	3450 14,8
B	15-30	1 8,8	15 31,9	8 4,3	"	13 2,7	3240 10,3
BC	30-50	1 8,1	3 2,1	3 2,5	"	14 3,4	2400 9,6
"	50-70	1 9,4	3 7,2	3 4,8	"	26 8,0	1740 10,2

Примечание. В числителе — содержание в вытяжке, $n \cdot 10^{-4}\%$ от навески; в знаменателе — степень извлечения, % от валового количества.

ниями, не искажается присутствием сульфидов и составляет 1,5–2% валового количества. Интерполяция этих данных на самые верхние горизонты с учетом возрастающего количества гумуса в них (определенного по расходу хромовой смеси на окисление) позволяет оценивать долю металлов, связанных с органическим веществом в 8–10% суммы. Таким образом, более половины цинка, $2/3$ свинца и $3/4$ меди в верхнем горизонте присутствуют в форме сульфидных минералов. Существование сульфидов в условиях кислой окислительной обстановки — явление, необычное для зоны гипергенеза, и может сохраняться только при условии постоянного их пополнения за счет аэрозольных выпадений. Одновременно должен происходить процесс их окисления и выноса образующихся продуктов с параллельным подкислением почвы за счет образующейся серной кислоты. Доля сульфидной составляющей наименьшая для кадмия, который наиболее равномерно распределен по профилю; абсолютные количества его падают с глубиной, а относительные — возрастают при уменьшении валовых содержаний.

Кроме халькофильных элементов, в вытяжку переходит очередная порция растворимого железа, представленного, как и прежде, аморфными формами, частично связанными с органическим веществом.

Уксуснокислая вытяжка с гидроксиламином как восстановителем (реактив Честера) переводит в раствор примерно в 10 раз больше железа, чем его извлекается предыдущими обработками. Ею завершается процесс экстракции аморфных гидроокисей из кислого профиля техногенно-аномальной почвы. Абсолютные количества экстрагируемого железа распре-

Таблица 7. Суммарная степень извлечения металлов из техногенно-аномальной почвы, % от валового содержания

Горизонт	Глубина, см	Элементы					
		Cu	Pb	Zn	Cd	Mn	Fe
A0A1	0-1	86,4	98,5	73,8	97,4	21,2	51,7
A1	1-2	45,9	97,0	70,6	94,8	14,6	35,2
AB	2-4	21,7	94,3	48,2	93,5	12,4	15,5
"	4-8	19,8	46,5	36,1	76,0	9,9	26,0
"	8-15	27,0	32,0	31,5	71,4	8,2	17,2
B	15-30	20,6	53,0	18,2	33,1	6,1	14,0
BC	30-50	13,6	6,0	9,0	28,9	7,4	13,5
"	50-70	15,6	19,3	11,4	0,0	15,6	10,8

деляются по аккумулятивно-иллювиальной кривой и следуют кривой распределения валовых концентраций. Наиболее высокие концентрации и степень извлечения приходится на верхний горизонт, обогащенный органическим веществом (табл. 6). В целом интенсивность экстракции уменьшается сверху вниз, доля легкорастворимых аморфных соединений уменьшается параллельно степени выветрелости пород.

В наибольшей степени с гидроокислами железа связан свинец. Его присутствие устанавливается по всей исследованной части профиля. Максимальные концентрации свинца приходятся на верхние 2 см, ниже содержание его резко уменьшается, но на глубине 15–30 см выявляется второй максимум, совпадающий с горизонтом иллювиирования железа. Свинец, цинк, медь, извлекаемые вытяжкой из нижней части профиля в количествах $1-8 \cdot 10^{-4}\%$, могут не быть связанными с рудным материалом, поступающим на поверхность почвы, а отражают связь металлов с гидроокислами железа в фоновых условиях. Однако количество свинца, экстрагируемого вытяжкой из верхних 2 см, всего лишь в 2–5 раз меньше количества железа. Такое соотношение не позволяет рассматривать свинец как связанный только с гидроокислами. Очевидно, растворяется другая фаза, резко обогащенная свинцом. Аналогичное явление наблюдалось нами и для природно-аномальной почвы. В количествах, заметно превышающих фоновые, свинец и цинк отмечаются до глубины 8 см, а медь и кадмий — только в верхних 2 см.

В сумме обработкой из верхних горизонтов извлекается 70–98% исходного количества халькофильных элементов, ниже степень извлечения снижается до 30–50%, а в наиболее глубоких горизонтах — до 10% (табл. 7). Высокая степень экстракции соответствует горизонтам с высокими валовыми содержаниями. Так как аномальные концентрации обусловлены техногенными соединениями и продуктами их гипергенного метаболизма, содержания которых уменьшаются с глубиной, то в соответствии с этим распределяется и степень экстрагирования металлов.

В минеральном остатке почвы, разделенном на гранулометрические фракции, аномальные содержания не обнаружены: неудаленная вытяжка-ми доля металлов обеспечивается фоновыми составляющими в силикатной

Таблица 8. Содержание металлов в илистых частицах, выделенных из техногенно-аномальной почвы, $n \cdot 10^{-4}\%$ от навески

Горизонт	Глубина, см	Элементы					
		Cu	Pb	Zn	Cd	Mn	Fe
A0A1	0–1	11	34	49	0,25	14	2328
A1	1–2	33	62	112	0,47	41	7497
AB	2–4	6	12	28	0,20	23	5458
"	4–8	3	5	37	0,16	33	7705
"	8–15	2	6	33	0,25	36	8841
B	15–30	5	11	106	0,56	151	19000
BC	30–50	2	5	23	0,29	31	5970
"	50–70	2	3	11	0,32	27	3070

основе почвы. Наложенная техногенная составляющая снимается практически полностью (табл. 8).

Минералы илистой фракции также слабо обогащены халькофильными металлами. Незначительное обогащение (в 1,5–3 раза выше фона) по цинку, свинцу, меди устанавливается в илистых частицах, выделенных только из верхних 2 см почвы. Но это обогащение не вызывает существенного увеличения роли илистых частиц в общем балансе металлов. Кратковременность периода синтеза в условиях кислой среды, богатой рудными элементами, лимитирует образование глинистых минералов с высоким содержанием металлов в своем составе.

Закключение

За 25 лет работы предприятий цветной металлургии в горных буроземах, находящихся в сфере рассеивания факела, сформировалась четко выраженная техногенная аномалия, зафиксированная в верхней части почвенного профиля по увеличению валового содержания халькофильных элементов и по степени их извлечения при фазовом анализе.

1. Несмотря на преобладающую в почвенном профиле буроземов кислую среду, усиливающуюся при окислении поступающих на поверхность техногенных сульфидов, вынос тяжелых металлов вниз по профилю и за его пределы отстает от их аэриального поступления. Максимум аномалии выражен на поверхности почвы в грубогумусовом и гумусовом горизонтах. Металлы в соответствии с коэффициентами аномальности по отношению к лежащей на глубине 50–70 см почвообразующей породе (дациту) образуют следующие ряды (в скобках приведены коэффициенты аномальности):

0–1 см	Pb(415), Cd(340), Zn(10), Cu(9)
1–2 см	Cd(200), Pb(190), Zn(10,5), Cu(3,2)
2–4 см	Cd(120), Pb(45), Zn(2,7), Cu(1,6)
4–8 см	Cd(30), Pb(8), Zn(2,7), Cu(1,5)
8–15 см	Cd(30), Zn(2,5), Pb(1,2)Cu(1,2)
15–30 см	Cd(10), Pb(3,8), Zn(2), Cu(0,9)
30–50 см	Cd(10), Pb(7,0), Zn(2), Cu(0,9)

Приведенные ряды коэффициентов аномальности металлов свидетельствуют о накоплении свинца и кадмия в верхней части профиля, в сотни раз превышающем фоновое содержание; высокоаномальные содержания кадмия проявляются до глубины 50 см, свинца — до 8 см, цинка — до 2 см, а меди — лишь в самом поверхностном горизонте, что свидетельствует о разной интенсивности перераспределения по профилю поступающих с аэрозолями тяжелых металлов.

Распределение валового содержания металлов и значения коэффициентов аномальности по профилю почвы могут служить индикационными признаками техногенной аномалии.

2. Фазовый анализ показал отсутствие в геохимической аномальной части профиля почвы водорастворимых соединений тяжелых металлов. Обнаружено присутствие сорбированных форм свинца, цинка и кадмия, свинца в металлической форме, переходящего в ацетатную вытяжку, значительное содержание органо-металлических форм и, возможно, сульфидов металлов. Максимальное содержание всех названных форм приурочено к верхней части профиля почвы, где общее количество извлекаемых металлов находится в пределах 73–98,5% их валового содержания. Это в 3–7 раз превышает относительное содержание этих же форм, экстрагируемых из нижнего горизонта почв и почвообразующей породы (6–29% валового содержания).

Таким образом, увеличение доли слабо закрепленных в почве неокристаллизованных и неустойчивых форм тяжелых металлов является наряду с их общим повышенным содержанием индикатором техногенной аномалии.

3. Примененная обработка не дает возможности разделить металлы, связанные с органическим веществом и находящиеся в форме сульфидов. Вряд ли вообще возможно разделение этих форм химическими методами. Более эффективным может быть использование физических методов, основанных на разнице в плотности частиц. На основе косвенных данных долю свинца, цинка, меди, связанных с органическим веществом, можно оценить в пределах 5–8% валового количества.

Окислы и гидроокислы железа и марганца обуславливают более устойчивую форму закрепления элементов. В техногенной аномальной почве, где профиль распределения извлекаемого железа сформировался ранее, до накопления тяжелых металлов, роль гидроокисных соединений железа невысока, так как в процессе закрепления рудных элементов могут участвовать только ныне образующиеся гидроокислы. Используемая методика извлечения гидроокислов железа и марганца затрагивает только наиболее гидратированные, слабо окристаллизованные формы.

Литература

- Антропова Л.В. Формы нахождения элементов в ореолах рассеяния рудных месторождений. Л.: Недра, 1975. 144 с.
 Аржанова В.С. Миграция микроэлементов в почвах (по данным лизиметрических исследований). — Почвоведение, 1977, № 4, с. 71–77.
 Аржанова В.С., Елпатьевский П.В. Техногенная геохимическая аномалия в почвах и некоторые аспекты ее формирования. В кн.: Тез. докл. V Делегат. съезда Всесоюз. о-ва почвоведов. Минск, 1977, вып. 2, с. 92–94.

- Будун А.С. Аномалия в содержании свинца и цинка в почвах под влиянием антропогенного фактора. — Почвоведение, 1975, № 11, с. 120–122.
- Грачева Р.Г., Таргульян В.О. Макро- и мезоморфологическая диагностика почв и элементарных почвообразовательных процессов в ряду бурозем-подбур. — В кн.: Почвообразование и выветривание в гумидных ландшафтах. М.: Наука, 1978, с. 103–121.
- Елпатьевский П.В. Формы закрепления меди в подзолистых и серых лесных почвах геохимически аномальных ландшафтов восточного склона Урала. — В кн.: Микроэлементы в ландшафтах Советского Союза. М.: Изд-во МГУ, 1969а, с. 67–88.
- Елпатьевский П.В. Формы закрепления меди в сероземе в пределах геохимической аномалии. — Вестн. МГУ. Сер. 5, География, 1969б, № 3, с. 95–99.
- Зырин Н.Г., Обухов А.И., Мотузова Г.В. Формы соединений микроэлементов в почвах и методы их изучения. — Тр. X Междунар. конгр. почвоведов, 1974, т. 2. Химия почв, с. 350–357.
- Лукашев В.К., Симуткина Т.Н. Определение форм нахождения микроэлементов в мезозойских отложениях методом последовательных вытяжек. — В кн.: Опыт и методика изучения форм нахождения элементов в горных породах и ореолах рассеяния. Таллин: Валгус, 1976, с. 57–59.
- Макунина Г.С. К прогнозу развития горных ландшафтов, испытывающих влияние медеплавильного производства. — География и природ. ресурсы, 1980, № 2, с. 165–167.
- Разенкова Н.И. Экспериментальные исследования форм нахождения редких элементов в зоне окисления. М.: Наука, 1967. 112 с.
- Разенкова Н.И., Морозов В.И., Самойлова Ю.С. Особенности распределения и формы нахождения свинца во вторичных ореолах рассеяния месторождения Кафан (юго-восточное Закавказье). Рукопись деп. в ВИНТИ (№ 2492–74 Деп.), 1974.
- Разенкова Н.И., Мясникова И.Ф., Самойлова Ю.С., Филиппова Т.В. Формы нахождения основных элементов-индикаторов во вторичных ореолах Крючковского полиметаллического месторождения. — В кн.: Новое в методике геохимических поисков. М.: ИМГРЭ, 1977, с. 14–22.
- Сает Ю.Е., Несвижская Н.И. Геохимические ореолы в неозэлювиальных ландшафтах. — В кн.: Геохимия ландшафтов: Теория миграции элементов в природных ландшафтах. М.: Изд-во МГУ, 1975, с. 151–178.
- Степанова М.Д. Микроэлементы в органическом веществе почв. Новосибирск: Наука, 1976. 108 с.
- Филиппова Н.А. Фазовый анализ руд и продуктов их переработки. М.: Химия, 1975. 280 с.
- Bedoch R., Brenner J.B. Distribution and dispersion of lead and zinc in anomalous soils and stream sediments. — J. Geochem. Explor., 1977, vol. 8, N 3, p. 523–535.
- Chester R., Huges M.J. A chemical technique for separation of ferromanganese minerals and absorbed trace elements from pelagic sediments. — Chem. Geol., 1967, vol. 2, N 3.
- Gatehouse S., Russel D.V., Van Moort J.C. Sequential soil analysis in exploration geochemistry. — J. Geochem. Explor., 1977, vol. 8, N 1/2, p. 483–494.
- Gjessing E.L., Johansson M. Potential effects of metals in precipitation of the exchangeable humus-hydrogen in soils and surface water. — In: Environmental Biogeochemistry. Ann Arbor (Mich.): Sci. publ. Inc., 1976. Vol. 2. Metal transfer and ecological mass balances, p. 557–563.
- Regaini R.S., Ralston H.R., Roberts N. Environmental trace metal contamination in Kellog, Idaho, near a lead smelting complex. — Environ. Sci. and Technol., 1977, vol. 11, N 8, p. 773–786.
- Ward N.E., Brooks R.R., Reewes N.E. Copper, cadmium, lead and zinc in soils, stream sediments, water and natural vegetation around the Tui Mine Te Aroa, New Zealand. — N.Z.J. Sci., 1976, vol. 19, N 1, p. 81–89.

P.V. YELPAT'EVSKY, T.N. LUTSENKO

Distribution and forms of heavy metals in the Sikhote-Alin's brown forest soils as indicating a technogenic dispersion area

Based on the data of selective phase analysis of heavy metals in the brown forest soil lying within the area affected by a lead plant, regularities of lead and cadmium distribution over the solum have been found. Distribution of total metals content and their accumulation near the surface, distribution of anomaly coefficients and occurrence of non-crystallized forms of heavy metals, weakly fixed in soil, can indicate technogenic anomalies.

УДК 550.4+557.4

Н.П. СОЛНЦЕВА

Геохимическая устойчивость природных систем к техногенным нагрузкам (принципы и методы изучения, критерии прогноза)

Интенсивность и скорость изменений природных процессов в зоне техногенеза в значительной степени определяются устойчивостью к техногенным (ТГ) нагрузкам исходных природных объектов ландшафтно-геохимических систем и составляющих их компонентов: почв, растений, грунтов, вод и др.

Теория устойчивости природных систем еще не разработана. Вместе с тем любой прогноз развития среды не может быть справедлив без учета устойчивости прогнозируемых объектов. Теория устойчивости природных комплексов может и должна быть основой для разработки территориально дифференцированных мероприятий по их охране (относительно разных в геохимическом плане техногенных факторов), рациональному использованию и восстановлению природной среды в целом. Поэтому понятен повышенный интерес к этой проблеме в последние годы [Глазовская, 1976, 1978а,б, 1979а,б; Нефедова, 1976; Родоман, 1971; Рябчиков, Миланова, 1978; Светлосанов, 1977; и др.].

Определение понятия

Имеющиеся в литературе материалы показывают, что и само понятие "устойчивость" в применении к природным системам окончательно не определено. Это связано не только с новизной проблемы, но также со сложностью самих объектов анализа.

Так, устойчивость понимают как потенциальный запас буферности исходных (фоновых) природных комплексов, например геохимических ландшафтов или составляющих их компонентов. В этом случае устойчивость системы проявляется в непосредственной способности к сохранению ее нормального функционирования. Именно в этом смысле понятие "устойчивость" применяется наиболее часто [Глазовская, 1972, 1976, 1978б; Нефедова, 1976; Светлосанов, 1976, 1977].

Кроме того, устойчивость природных систем понимается как спо-

способность последних к восстановлению нормального функционирования после прекращения приложения к ним ТГ нагрузок. В этих случаях устойчивость может проявляться через скорость самоочищения среды от продуктов техногенеза¹. Естественно, что различные группы модифицированных в процессе техногенеза природных объектов обладают разной активностью самоочищения — разной скоростью возврата к исходному или близкому к исходному состоянию.

Скорость восстановления исходных свойств служит показателем устойчивости природной системы к техногенному давлению.

Указанные категории устойчивости не однозначны. Применительно к экосистемам канадский ученый Холлинг предложил характеризовать их как стабильность и упругость, которые он описывает в качестве способности сохранения устойчивого равновесия и способности возврата в исходное состояние [Светлосанов, 1977].

Комплексное определение устойчивости приводится в работе "Природа, техника, геотехнические системы" [1978]. В понятие устойчивости природного комплекса здесь входит "как сопротивляемость внешним воздействиям, так и способность к восстановлению нарушенных этими воздействиями свойств" (с.86). Такое определение можно считать наиболее полным, в нем четко проявляется двуединство самого явления. В то же время для практических целей неоднозначность этого свойства требует определенных разграничений: а) способность противостоять нагрузкам можно обозначить как устойчивость 1-го рода (устойчивость-противостояние); б) способность к восстановлению нормального функционирования — как устойчивость 2-го рода (устойчивость-нормализация).

Соотношение этих двух категорий устойчивости и определяет интегральную устойчивость природного объекта.

Таким образом, устойчивость — особое, специфическое свойство природных систем, определяющее характер их функционирования во времени. Устойчивость — такой же неотъемлемый признак, как морфологические, геофизические или геохимические характеристики ландшафта, и имеет с ними функциональную связь. В то же время в отличие от перечисленных характеристик устойчивость нельзя измерить непосредственно (не существует каких-то единиц измерения собственно устойчивости). С этой точки зрения феномен устойчивости очень грубо можно сравнить с потенциальной энергией, которая может быть измерена через другие характеристики физического тела (в частности, его массу).

Устойчивость же "проявляется" через воздействие — может быть "измерена" через интенсивность внешнего импульса (к системе в целом или отдельным ее компонентам), меняющим физико-химические характеристики системы. Такие импульсы — "проявители" — могут быть не только техногенными, но и природными: лавины, сели, обвалы, извержения вулканов, резкие изменения климатических показателей и др. Используя аналогию с потенциальной энергией, устойчивость (в наиболее общем ви-

де) можно определить как потенциал сохранения режима функционирования. При этом необходимым условием устойчивости является адекватность этого режима физико-химическим характеристикам системы. Из этого вытекает относительность устойчивости: каждому набору физико-географических и ландшафтно-геохимических условий среды соответствуют определенные уровни устойчивости. Поэтому это качество, так же как и любые другие свойства природных систем, индивидуально для разных типов ландшафтов, и одновременно устойчивость одних и тех же типов систем к разным нагрузкам различна.

Основные направления исследований

Трудность проблемы и многоплановость понятия определяют и различия в подходах к ее решению, предлагаемому разными авторами. Основными направлениями исследований, как отмечается в работе В.А.Светлосанова [1976], в настоящее время являются: а) математическое моделирование; б) выявление единой глобальной характеристики системы, отвечающей за ее устойчивость.

Несколько иное направление исследований развивается М.А.Глазоской [1972, 1976, 1978а,б, 1979а,б]. Оно включает анализ природных факторов и отдельных свойств природных комплексов (геохимических ландшафтов), контролирующих особенности миграции и закрепления вещества в природных объектах, а следовательно, устойчивость функционирования природных систем в целом. По сути дела, это поиск внутренних регуляторов развития систем.

Представляется, что при современном состоянии проблемы ее решение невозможно без анализа реальных форм воздействия техники на природные процессы.

Из двуединости понятия устойчивости вытекают законность и необходимость двух разных направлений таких исследований.

Первое направление. Выявление буферных свойств природных систем (почв, биоценозов, ландшафтно-геохимических систем в целом) к техногенному прессу, т.е. изучение устойчивости 1-го рода. При этом основным является анализ пороговых нагрузок, при достижении которых могут происходить изменения нормального функционирования данной системы. Такие показатели крайне важны: а) для целей охраны среды; б) для определения необходимой дозы воздействия при плановых перестройках определенных свойств природных систем, например при расчете доз пестицидов.

Главные задачи этого направления исследований: 1) выявление географических закономерностей устойчивости разных групп элементарных ландшафтно-геохимических систем — региональных пороговых уровней к одинаковым по свойствам ТГ нагрузкам; 2) выявление этапов и форм возможной деградации среды при таких нагрузках; 3) выявление этапов и форм положительных воздействий на среду.

Для реализации исследований в этом направлении необходимо подбирать серии ключевых эталонов [Солнцева, 1981] — природно-техногенных объектов, максимально близких в природном отношении, но разных по интенсивности ТГ воздействий определенного типа и различных в при-

¹ Под самоочищением здесь и далее понимается не только вынос продуктов техногенеза и рассеяние их за пределами непосредственно загрязненной природной системы, но также перевод поступивших веществ в инертные формы или их полная утилизация.

родном отношении, но максимально близких по характеру ТГ преобразований.

Второе направление. Выявление самоочищающей активности природных систем — изучение устойчивости 2-го рода. Основным здесь является анализ устойчивости возникающих природно-техногенных новообразований, включающий определение длительности возможного существования техногенных модификаций природных систем (устойчивости собственно природно-техногенных систем и составляющих их компонентов), определение устойчивости трансформации отдельных геохимических процессов или групп процессов, устойчивости трансформации морфологической и (или) геохимической структуры исходных ландшафтов и т.д. Такие материалы являются основой прогноза посттехногенного развития среды, рекультивации возникающих нарушений, а также обоснования необходимой частоты повторных плановых воздействий на природные объекты для устойчивого улучшения их свойств.

В этом смысле анализ устойчивости природных систем оказывается теснейшим образом связанным с анализом их ответных реакций на то или иное воздействие.

Для реализации исследований в этом направлении также необходимо подбирать серии природно-техногенных объектов.

Основные задачи этого направления: а) выявление принципиальной возможности и интенсивности восстановления исходного характера функционирования трансформированных природных объектов при действии на них одинаковых (и разных) ТГ нагрузок; б) выявление соответствующих этапов, форм и времени восстановления природных процессов; в) выявление устойчивости целенаправленных положительных изменений.

Факторы, контролирующие устойчивость природных систем к ТГ нагрузкам

Ни одна природная система, включая глобальные геохимические поля (Мировой океан, атмосфера и др.), несмотря на определенный запас буферности, не обладает абсолютной устойчивостью к техногенезу. Поэтому так актуальны задачи оценки возможности сохранения исходных свойств не только для отдельных компонентов — почв, биоты вод, но и для систем в целом.

Методы определения степени устойчивости сложных природных объектов только отрабатываются. Результаты исследований последствий влияния техники на среду, ведущихся в последние годы [Глазовская, 1972; Дончева, 1978; Дьяконов, 1978; Казаков, 1979; Никифорова, Теплицкая, 1979; Ретеюм и др., 1972; и др.], показывают, что закономерности функционирования ПТК в зоне техногенеза, а следовательно, их устойчивость во многом зависят от: а) особенностей ТГ факторов — интенсивности, динамики и форм воздействия; б) свойств самих исходных природных систем — их состава, направления основных геохимических процессов и общих природных факторов их функционирования (климата, рельефа и др.).

Изменчивость в пространстве и времени названных групп показателей определяет и неодинаковую устойчивость природных систем в зоне техногенеза. Различна и скорость их возможной деградации и соответственно возможности восстановления при сочетании разных условий.

Так как устойчивость — понятие относительное, необходимо четко представлять, особенно для практических целей, по отношению к каким нагрузкам и для каких систем и (или) относительно каких свойств системы рассматривается этот показатель. Поэтому анализ ТГ факторов должен выполняться сопряженно с анализом свойств природных систем.

Техногенные факторы — свойства ТГ импульсов и характер влияния техники. Развернутая характеристика роли и функций "техники" в трансформации природной среды дана в ряде работ [Природа, техника..., 1978; Ретеюм и др., 1972; Ретеюм, Куницын, 1975]. Приводится классификация техники по ее функции в системе "общество—природа—техника". Основой классификации авторы указанных работ считают группы технических сооружений, отражающих целеполагающую деятельность человека: группы добывающей и перерабатывающей техники и техники выбросов. В отдельную категорию выделена средообразующая техника (средства уничтожения и преобразования). Вся названная техника имеет главным образом производственные функции. Кроме того, выделяются самостоятельные подразделения, не имеющие прямых производственных функций, — средоохранная техника (фильтры).

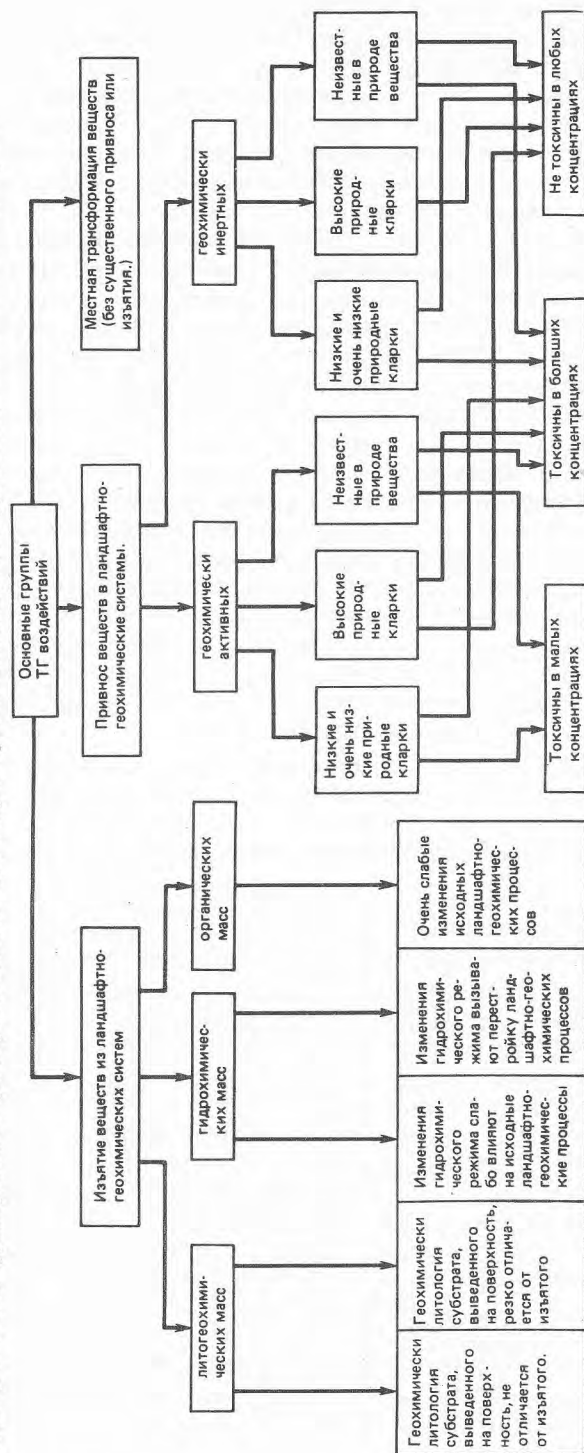
Как отмечают А.Ю.Ретеюм и Л.А.Мухина [Природа, техника..., 1978, с. 20], "перечисленные понятия подвижны и переходят одно в другое. Так, техника средообразования включает элементы добывающей, транспортирующей и других видов техники".

По своей сущности, вне зависимости от класса сооружений, А.Ю.Ретеюм и другие авторы [Природа, техника..., 1978] все воздействия техники на среду делят на механические, физико-химические, термические, шумовые и световые. Рассмотрим более детально воздействие некоторых из них.

С точки зрения функции "техники" в понимании указанных выше авторов медеплавильные заводы и предприятия по выплавке свинца попадают в один класс технических сооружений — перерабатывающих, которые входят в одну группу — группу химических воздействий. Но даже в одних и тех же природных условиях влияние этих предприятий на среду и составляющие компоненты, особенно биоту, достаточно различны, так как различна геохимия соединений и элементов, поступающих в каждом случае в природные системы.

В связи с этим представляется недостаточным учитывать только класс технических сооружений или целеполагающую функцию техники, особенно с учетом "подвижности" выдвинутых понятий. Классификация технических факторов должна прежде всего учитывать их средообразующую роль. Основой такой классификации может служить вероятный характер деструкционной активности [Глазовская, 1978] техногенного импульса, в частности вероятный характер геохимических изменений. Главным при таком подходе является тип ответной реакции природных систем или составляющих их компонентов. Принципы группировки ТГ воздействий с учетом их возможной геохимической роли из-

Таблица 1. Схема группировки ТГ факторов в соответствии с характером их возможной деструкционной активности в ландшафтах



ложены в работе автора [Солнцева, 1976] и в общем виде приводятся в табл. 1 и 2.

Наиболее важные характеристики, от которых зависят типы ответных реакций природных систем (т.е. геохимический эффект их трансформации), связаны с тем, что и сколько вводится в природную среду или что изымается из нее. Деструкционная активность ТГ воздействий зависит от свойств поступающих в природный кругооборот веществ. В общем случае можно выделить геохимически активные и геохимически инертные в местных условиях типы ТГ воздействия.

Показателями возможной интенсивности ТГ нагрузок могут служить: 1) кларки элементов, отражающие их природную распространенность и косвенно возможную адаптированность к ним организмов; 2) кларки концентраций элементов, отражающие превышение содержаний того или иного элемента в местных ТГ потоках относительно его природной распространенности [Солнцева, 1976]. При этом должны обособляться ситуации, когда в ТГ потоках основное значение имеют элементы, характеризующиеся: а) высокими природными кларками — Si, Ca, Fe и др., б) низкими и очень низкими — As, Hg, Mo, Cu, Zn, Pb, Au, Cr, Se.

В особую группу следует выделять вещества, неизвестные в природной обстановке, — результаты промышленного синтеза, если они вследствие несовершенства технологии попадают в природные ландшафты.

В зависимости от свойств поступающих веществ, их количества и степени диспергированности ТГ воздействия могут быть: а) токсичными для природной среды или ее отдельных компонентов — вызывать их устойчивую деградацию, разрушение или коренную перестройку вплоть до уничтожения исходных природных ландшафтов; б) нетоксичными для природной среды. Поступление в природные системы веществ в дозах, превышающих устойчивость систем, вызывает токсический эффект.

Одни и те же соединения в зависимости от характера их поступления оказывают на природные системы существенно разные воздействия (см. табл. 2).

Техногенные нагрузки могут быть: а) постоянными и создавать постоянные потоки ТГ веществ — постоянный модуль давления, что бывает, например, в сфере влияния перерабатывающих предприятий; б) периодическими, например аварийные ситуации на отдельных скважинах нефтепромыслов, согласно А.Ю.Ретеюму и В.С.Преображенскому [Природа, техника..., 1978] — это стабильные или нестабильные воздействия; в) ниже местного порога трансформации; г) выше порога трансформации; д) могут накапливаться в природных системах и е) не обладать кумулятивным эффектом.

В результате модули ТГ давления должны существенно различаться.

Как видно из табл. 2, ответные реакции природных систем не выходят за уровни природной вариабельности свойств (годовых, сезонных или многолетних колебаний) только в случае, если интенсивность ТГ импульсов ниже предельного порога трансформации и при отсутствии кумулятивного эффекта для данного воздействия. Иначе суммарный эффект даже слабых воздействий может оказаться выше предельной емкости системы.

При интенсивности ТГ воздействий, превышающей пороговые уров-

Таблица 2. Возможные типы изменений природных систем при разных модулях ТГ давления

Динамика воздействий	Интенсивность первичного воздействия	Куммулятивный эффект	Примеры отдельных ТГ воздействий	Возможный характер ответных реакций природных систем и устойчивость возникающих изменений
Постоянные воздействия	Ниже порога трансформации – ниже предельно допустимого для данной системы воздействия (ПДВ)	Без выраженного куммулятивного эффекта	Глобальные выпадения соединений углерода	Природные системы активно справляются с ТГ нагрузками. Нарушений функционирования не происходит, варьирование свойств укладывается в рамки природных (сезонных, годовых) колебаний
		С выраженным куммулятивным эффектом	Глобальные выпадения соединений серы	Изменение исходного функционирования из-за постепенного нарастания интенсивности неблагоприятных воздействий. Частичная деградация свойств природных систем
	Выше порога трансформации	Без выраженного куммулятивного эффекта	Воздействия гидроэлектростанций	Изменение характера первичного геохимического функционирования природных систем. Устойчивое сохранение нового геохимического режима
		С выраженным куммулятивным эффектом	Воздействие металлургических предприятий	Устойчиво нарастающая деградация исходных природных систем вплоть до их полного разрушения
Эпизодические (не стабильные) воздействия	Ниже порога трансформации	Без выраженного куммулятивного эффекта	Воздействие органических удобрений при внесении их в физиологически оправданных дозах	Нарушений геохимического функционирования природных систем не происходит
		С выраженным куммулятивным эффектом	Воздействие отдельных групп пестицидов	Постепенное изменение характера геохимического функционирования из-за повторяющихся ТГ воздействий
	Выше порога трансформации	Без выраженного куммулятивного эффекта	Воздействие высокоминерализованных сточных вод и сырой нефти (нефтепромыслы в гумидной зоне)	Изменение характера геохимического функционирования природных систем с последующим возвратом к исходному состоянию по большей части показателей, но при устойчивом сохранении "остаточных" признаков ТГ трансформации
		С выраженным куммулятивным эффектом	Воздействие отвалов токсичных пород	Устойчивое изменение характера геохимического функционирования и невозможность возврата к исходному состоянию

ни, возможны (в зависимости от динамики воздействий) следующие типы ответных реакций: а) необратимая трансформация нормального функционирования – коренные изменения морфологии и (или) геохимических свойств среды вплоть до полного разрушения исходных систем.

В результате происходит формирование нового уровня устойчивости и невозможность возврата к исходному или близкому состоянию. Может происходить замещение природных ландшафтов природно-техногенными системами (например, формирование специфических природно-техногенных систем на отвалах токсичных пород); б) временная, хотя и достаточно глубокая, трансформация (морфологическая и геохимическая) исходных природных систем с последующим возвратом этих объектов к исходному или близкому состоянию по всем свойствам или их большинству.

Приведенная классификация ТГ воздействий (см. табл. 1 и 2) является достаточно общей и учитывает не только возможное геохимическое влияние отходов производства или воздействий других технологически неизбежных нагрузок (например, карьеры), но также любые другие запланированные воздействия, в том числе специально направленные на изменение функционирования природных систем. К последним относятся, например, внесение удобрений, орошение или осушение, расселение, внесение детергентов и т.д.

Реакция природных объектов на запланированные нагрузки может оказаться совсем не такой, как ожидалась. Общеизвестно, например, что превышение физиологически оправданных норм при внесении удобрений вызывает угнетение или гибель растительности и почвенной биоты. Неправильный расчет поливных норм или непродуманное осушение также отрицательно влияют на функционирование исходных ландшафтов, вызывая вторичное засоление, иссушение и уничтожение плодородного слоя почв. Рациональная доза воздействий и здесь определяется уровнем возможной устойчивости природных систем.

При внесении геохимически активных соединений (для улучшения неблагоприятных для хозяйства свойств природных систем) в дозах ниже физиологически обоснованных норм необходимого сдвига свойств не происходит. Это также связано с устойчивостью природных систем или их отдельных свойств и признаков. Например, при низких нормах известкования (ниже порога устойчивости системы) не происходит необходимого повышения значений pH – сохраняется токсичная для растений кислотность вследствие устойчивого сохранения водорода (и алюминия) в поглощающем комплексе. Эффективность вносимых в такие почвы минеральных удобрений оказывается ниже их потенциальных возможностей. Экономический эффект таких мероприятий может оказаться значительно ниже произведенных затрат. Аналогично этому при недостаточных нормах промывочных вод не происходит устойчивого рассоления почв – вложенные затраты не окупаются. Таким образом, устойчивость природных систем в зоне техногенеза является одновременно и их положительным свойством, предохраняющим от разрушения, и вредным, когда требуется преодоление устойчивости для создания новых полезных качеств системы.

Природные факторы и внутренние свойства природных систем, определяющие их устойчивость. В разных географических условиях природные системы обладают неодинаковой способностью к сопротивлению ТГ нагрузкам и неодинаковыми функциями самоочищения [Глазовская, 1972]. Одни ландшафты характеризуются высокой "хрупкостью" (например, тундровые), другие — значительно более устойчивы. В одних и тех же или близких географических условиях разные группы природных комплексов (например, автономные ландшафты водоразделов или подчиненные ландшафты долин) обладают разными пороговыми уровнями устойчивости — разной "естественной емкостью" [Рябчиков, Миланова, 1978] даже к однотипным ТГ нагрузкам. Как показано в работах М.А.Глазовской [1972, 1976, 1978а,б, 1979а,б], буферная способность — устойчивость разных типов ландшафтов — определяется свойствами среды. При этом отдельные природные факторы могут способствовать или препятствовать разрушению природных систем в зоне техногенеза. Так, потенциальная опасность загрязнения почв и грунтов возрастает (при прочих разных условиях) при увеличении сорбционной емкости этих систем, за что ответственны количество и состав минеральных и органических коллоидов. Относительная опасность накопления в природной среде в подвижных, слабоподвижных или инертных формах тех или иных загрязнителей также зависит в основном от щелочно-кислотных и окислительно-восстановительных условий. По представлениям М.А.Глазовской [1972, 1976, 1978а,б, 1979а,б], отдельные свойства природных систем, как и общие факторы их функционирования (количество осадков, количество поступающей солнечной энергии, гипсометрическое положение территории и т.д.), отвечают за ту или иную сторону миграционных процессов, а следовательно, могут рассматриваться в качестве прогнозных показателей, определяющих устойчивость функционирования природных систем в целом (табл. 3).

Как видно из табл. 3, выделяются три основные группы таких природных показателей:

- 1) определяющие возможную интенсивность выноса и рассеяния продуктов техногенеза — показатели интенсивности самоочищения среды (осадки, сток, скорость ветра и т.д.);
- 2) определяющие возможную интенсивность трансформации продуктов техногенеза — перевод их в иные формы или полную утилизацию. Это главным образом показатели энергии и условий разложения: общее количество солнечной радиации, интенсивность фотохимических реакций и т.д.;
- 3) определяющие исходную емкость, возможную интенсивность и прочность закрепления продуктов техногенеза и их метаболитов в природных системах (щелочно-кислотные условия, геохимические барьеры, сорбционная емкость и т.д.).

Такой подход к анализу природных факторов реализован при составлении прогнозных карт устойчивости природных ландшафтов к загрязнению для всей территории Советского Союза и отдельных его регионов [Глазовская, 1972, 1978а, 1979а,б]. При этом отдельные факторы и свойства среды ранжированы по возможным формам их воздействия на продукты техногенеза и приняты в качестве прогнозных градаций устойчивости систем.

Таблица 3. Природные факторы, контролирующие устойчивость нормального функционирования, ландшафтов и составляющих их компонентов [по М.А.Глазовской, 1972, 1976, 1978а,б, 1979а,б]

I. Факторы, определяющие интенсивность выноса и рассеяния продуктов техногенеза	
Возможные показатели рассеяния и выноса продуктов техногенеза из атмосферы	Осадки (по сезонам) Скорость ветров (по сезонам)
Возможные показатели скорости миграции и выноса продуктов техногенеза из почв	Сток (по сезонам) Соотношение осадков к испаряемости Гипсометрическое положение территории Механический состав
II. Факторы, определяющие интенсивность метаболизма продуктов техногенеза	
Возможные показатели энергии разложения вещества	Сумма солнечной радиации, ккал/год Сумма температур выше 0° Количество ультрафиолетовой радиации Количество гроз в год Скорость разложения органического вещества (опадостилочный коэффициент) Интенсивность фотохимических реакций
III. Факторы, определяющие возможность и интенсивность закрепления продуктов техногенеза или их метаболитов	
Возможные показатели интенсивности закрепления продуктов техногенеза в почвах и грунтах и их исходная емкость	Щелочно-кислотные условия Окислительно-восстановительные условия Сорбционная емкость Количество гумуса Тип геохимических арен (открытые — закрытые, контрастные — неконтрастные) Геохимические барьеры Минералогический состав почв и грунтов Исходный запас элементов Процессы надмерзлотной ретинизации
Возможные показатели локальных выпадений продуктов техногенеза из атмосферы	Количество и продолжительность туманов в год Число и продолжительность штилей в год

Свойства среды — свойства отдельных факторов рассматриваются как прогнозные критерии также в работе В.Б.Нефедовой [1976], где в качестве показателей устойчивости ландшафта к механическим нагрузкам приняты физико-механические свойства почв и грунтов, а также крутизна склонов, особенности растительного покрова и т.д.

В предложенном М.А.Глазовской подходе к анализу устойчивости природных объектов (и их компонентов) каждый фактор выступает в качестве независимой переменной: для любого контура можно прочитать их качественные характеристики и градации.

При всей плодотворности рассмотренного подхода на этом пути существуют очень большие трудности для синтетической оценки свойств отдельных систем (или их групп) и сравнительных характеристик степени их устойчивости.

Например, в табл. 4 приводятся два критерия возможной устойчивости

Таблица 4. Относительная опасность загрязнения подвижными биохимически активными элементами субэкральных почв [по М.А.Глазковской, 1978б]

№ группы	Коэффициент увлажнения и преобладающий водный режим	Механический состав		
		пески и суглинки	суглинки	глины
		I	II	III
1	2, резко промывной	+	++	+++
2	2-1, преимущественно промывной	++	+++	++++
3	1-0,5, непромывной	+++	++++	+++++
4	0,5, резко непромывной	++++	+++++	+++++

Примечание. Опасность загрязнения: + очень слабая; ++ слабая; +++ умеренная; ++++ сильная; +++++ очень сильная.

почв к химическому загрязнению: механический состав и преобладающий водный режим.

Как видно из табл. 4, каждый фактор несет определенную прогнозную информацию о возможном состоянии среды, а градации их развития соответствуют определенному уровню ее возможной устойчивости, т.е. характеризуют критерии относительной опасности изменений свойств объекта. Приведенные прогнозные характеристики каждого фактора бесспорны. Так, если рассматривать показатели вдоль строки матрицы, т.е. изменения механического состава при фактически фиксированном увлажнении, то здесь относительная опасность загрязнения возрастает по мере утяжеления механического состава: песчаные почвы более устойчивы к химическому загрязнению, чем глинистые, так как фильтрационная активность последних ниже, а сорбционная емкость выше. Если идти вдоль любого столбца матрицы, т.е. при фиксированном механическом составе, то выявление относительной опасности загрязнения также не представляет затруднений: чем больше осадков и меньше испаряемость, тем менее вероятна возможность устойчивого загрязнения субэкральных почв.

Но как определить комплексную характеристику устойчивости, оценить сочетания условий, ответственных за устойчивость системы в целом или ее отдельных блоков? Так, в приведенном случае только для двух прогнозных показателей (см. табл. 4), характеризующих лишь один компонент природных комплексов — почвы, приводится 12 возможных сочетаний факторов, которые оценены по пятибалльной шкале.

Можно ли в данном случае считать, что устойчивость почв, попадающих в группу III-1, такая же, как устойчивость почв в группе I-3, а в группе II-3 такая же, как в группе III-2, особенно если учесть, что возможная проницаемость для растворов у сухих глин (из-за наличия порозности и трещиноватости) выше, чем у мокрых.

Необходимо подчеркнуть, что устойчивость одного и того же элемента системы не является величиной постоянной, а зависит от общего состояния или фазы развития системы. Например, одни и те же глины обладают не только различной проницаемостью для растворов в зависимости от степени первоначального увлажнения, но и разным запасом ме-

ханической прочности. Степень прочности к механическим нагрузкам — устойчивость к механическим воздействиям — выше у сухих глин, чем у их мокрых разностей.

Кроме того, многие свойства природных систем могут рассматриваться в качестве показателей, играющих и положительную, и отрицательную роль одновременно. Такие признаки несут разную прогнозную информацию об устойчивости отдельных блоков природных комплексов к одному и тому же ТГ воздействию. Так, по данным табл. 4 видно, что субэкральные почвы при легком механическом составе обладают более высокой устойчивостью к загрязнению, чем их глинистые модификации. Но при тех же условиях грунтовые воды оказываются значительно менее защищенными. Следовательно, по отношению к грунтовым водам приведенные в табл. 4 градации факторов по степени опасности загрязнения должны иметь обратные значения.

Таким образом, и в этом случае имеет место не только изменчивость относительного "веса" одной и той же градации фактора в соответствии с изменчивостью других показателей, но также и значимость самого фактора. В этом и заключается главная трудность в разработке методов оценки степени устойчивости природных систем к техногенезу по отдельным показателям, что заставляет искать критерии комплексной оценки факторов.

Устойчивость природных объектов хотя и является функцией отдельных свойств природных комплексов, но эта зависимость не может быть прямой вследствие существования в природе обратных связей — эффекта компенсирования воздействий.

Устойчивость систем нельзя считать также простой совокупностью устойчивости ее частей [Природа, техника..., 1978], как нельзя механически свести к устойчивости отдельных свойств.

По какому же принципу можно оценить сочетания разных факторов при анализе устойчивости среды? Из сказанного понятно, насколько это не просто даже для двух факторов, тем более сложно оценить совместное действие более двух десятков показателей.

Остаются открытыми вопросы о сочетании условий, при которых природные системы или их отдельные блоки являются более устойчивыми, а при каких неустойчивы, и о принципах сравнительной оценки степени относительной устойчивости разных систем или их отдельных блоков. Такой анализ тем более труден, что каждое свойство имеет свое характерное время естественного развития [Арманд, Таргульян, 1974; Соколов, Таргульян, 1976], а также свой "шаг" трансформации — восстановления. В настоящее время нет и общего методологического подхода для решения этой проблемы.

Вероятно, для того чтобы понять механизмы формирования устойчивости, в частности найти принципы прогнозного анализа сочетаний факторов при современном состоянии проблемы, необходимо следующее.

1. Экспериментальное моделирование отдельных природных процессов, например изучение на почвенных монолитах относительной скорости миграции и закрепления определенных веществ при сочетании разных условий миграции.

2. Моделирование на экспериментальных площадках (внесение дозированных количеств определенных загрязнителей). Эксперименты с внесением дозированных количеств нефти в почвы в разных географических районах (тундровые, лесные и полупустынные ландшафты) начаты сотрудниками кафедры геохимии ландшафтов. Географического факультета МГУ по инициативе и под руководством М.А. Глазовской в 1978 г. (см. ч. III этого сборника). Такие же исследования ведутся сотрудниками Института почвоведения и агрохимии АН СССР по пестицидам.

3. Анализ реальных ситуаций — изучение форм и этапов трансформации природных систем в зоне техногенеза и особенностей функционирования новообразованных природно-техногенных объектов. Такие исследования представляют довольно большие трудности, так как в этих случаях часто затруднительно установить дозу исходных нагрузок. В то же время такой подход достаточно корректен, так как исключает экспериментальные упрощения. Объект не "выдерживается" из природной обстановки, не нарушаются его сложившееся функционирование и взаимосвязи.

Попытка такого анализа устойчивости природных объектов была выполнена на примере южнотаежных ландшафтов Европейской территории СССР, находящихся в сфере влияния добывающей промышленности.

Устойчивость функционирования отдельных групп природных систем в районах добычи полезных ископаемых (на примере дерново-подзолистых почв)

Выбор добывающего производства в качестве модели исследования определялся следующими соображениями.

1. Добыча полезных ископаемых относится к наиболее землеемким формам производства [Денисова, 1976], воздействие которых охватывает очень большие площади в самых разных географических условиях: от полярных пустынь и тундр на севере до степей и пустынь на юге. Это позволяет выявить типы возможных изменений и устойчивость природных систем практически для любых ландшафтов Советского Союза.

2. В связи с добычей полезных ископаемых в окружающую среду поступает большое количество веществ, существенно отличных по физико-химическим свойствам от окружающих ландшафтов, что определяет формирование максимально разнородных типов ТГ потоков как органических, так и неорганических загрязнителей.

3. Спецификой этого производства является множество изолированных друг от друга объектов воздействия: терриконов и отвалов, карьеров, добывающих скважин и т.д., что позволяет иметь достаточно широкий спектр территориальных эталонов для характеристики всех возможных видов трансформации природных ландшафтов и соответственно определения их возможной устойчивости к этим воздействиям.

Принципы выбора конкретных территориальных объектов для анализа устойчивости природных систем иллюстрирует табл. 5.

Из табл. 5 видно, что при подборе природно-техногенных эталонов при-

нимались во внимание: 1) специфика геохимического состава ТГ потоков; 2) время с момента окончания технического этапа воздействия (момента аварий для нефтепромыслов и закрытия шахт для угледобычи). В качестве "начальных точек отсчета" — фоновых объектов — подбирались почвы, соответствующие геохимическим ландшафтам, в типологическом отношении идентичным измененным, но не несущим никаких признаков ТГ трансформации.

Основная задача, которая решалась при изучении ключевых объектов, — это определение устойчивости техногенных новообразований (морфологических и геохимических) для оценки вероятности и скорости возврата измененных природных объектов к исходному или близкому состоянию, т.е. изучение устойчивости 2-го рода (устойчивости-нормализации).

Особенности трансформации и устойчивости изменений геохимических процессов в почвах южнотаежных ландшафтов. Характерным примером является влияние нефтедобычи на природные ландшафты. Основные загрязнители в районах нефтепромыслов — это нефть¹, сточные высокоминерализованные воды и продукты сжигания попутных газов.

При авариях нагнетательных или добывающих скважин, а также трубопроводов в природные системы поступает большое количество геохимически активных соединений.

Даже однократного поступления в ландшафты высокоминерализованных вод и (или) нефти достаточно для интенсивной трансформации ландшафтообразующих геохимических процессов. Устойчивость возникающих в связи с этим разных групп геохимических и морфологических изменений неоднозначна и определяется во многом свойствами загрязнителей.

Прежде всего происходит полное изменение солевого состава почв (рис. 1). Из рисунка видно, что количество солей, переходящих в водную вытяжку из загрязненных почв, их состав и распределение по профилю неравномерны. Это определяется: а) составом поступивших загрязнителей, б) строением исходного почвенного профиля, в) механическим составом почв. Большую роль также играют: а) расстояния от источника загрязнений; б) метеорологические условия после аварийного выброса; в) предшествующая история ТГ воздействий на ландшафты территории; г) время с момента загрязнения. Последний показатель является одним из наиболее важных.

В зависимости от сочетания условий сумма простых солей в почвах районов нефтепромыслов может достигать токсичных для растений концентраций. Содержания только хлор-иона изменяются от 1 до 0,2%, а об-

¹ Добываемая сырая нефть представляет собой комплексный загрязнитель, главными составными частями которого являются: а) собственно нефть, представляющая собой сложную смесь углеводородов и растворенных в них смолисто-асфальтеновых веществ; б) природные минерализованные воды, в которых, кроме наиболее широко распространенных галогенов (хлора), часто наблюдаются высокие концентрации йода, брома и ряда микроэлементов. Таким образом, при добыче нефти ее воздействие на почвы и другие компоненты ландшафтов неоднозначно и определяется как составом и свойствами органической составляющей, так и количеством и составом неорганических компонентов (минерализованных вод).

Таблица 5. Территориальные эталоны, подобранные для анализа устойчивости природных объектов в районах влияния добывающего производства

Природные ландшафты	Изученные природные объекты	Тип ТГ воздействий	Длительность посттехногенного этапа — время с момента прекращения воздействия
Южнотаежные ландшафты ЕТС	Дерново-подзолистые суглинистые почвы и их измененные в процессе техногенеза разности	Сточные воды	2 недели после загрязнения 2 месяца после загрязнения 1 год и 2 месяца после загрязнения 18 лет после загрязнения
		Сырая нефть	1 год после загрязнения 10 лет после загрязнения 20 лет после загрязнения
		Отвалы токсичных пород в районах угледобычи	5 лет после закрытия шахты и прекращения работ 30 лет после закрытия шахты 50 лет после закрытия шахты

щее количество солей может достигать 5% и более на 100 г почвы. Состав солей — хлоридно-натриевый, реже сульфатно-хлоридно-кальциевый (рис. 1, разрез 8210).

В условиях гумидного климата распределение поступивших в почвы солей как в вертикальном профиле, так и в горизонтально сопряженных почвенных блоках очень динамично.

Варианты перестройки солевого профиля при загрязнении почв высокоминерализованными водами через разные интервалы времени¹ показаны на рис. 2.

Основная масса солей непосредственно после аварии скапливается в верхней части почвенного профиля, над иллювиальными горизонтами, т.е. локализуется в наиболее легко проницаемой части почв. Повторное опробование, выполненное через год (рис. 2), показало, что за этот срок происходит очень интенсивное рассоление почв. Процесс освобождения от водорастворимых солей протекает активно: стадия техногенного засоления субэкральных таежных почв, загрязненных сточными водами, оказывается крайне неустойчивой.

В случае загрязнения почв нефтью такого быстрого изменения солево-

¹ Интервалы времени см. в табл. 5.

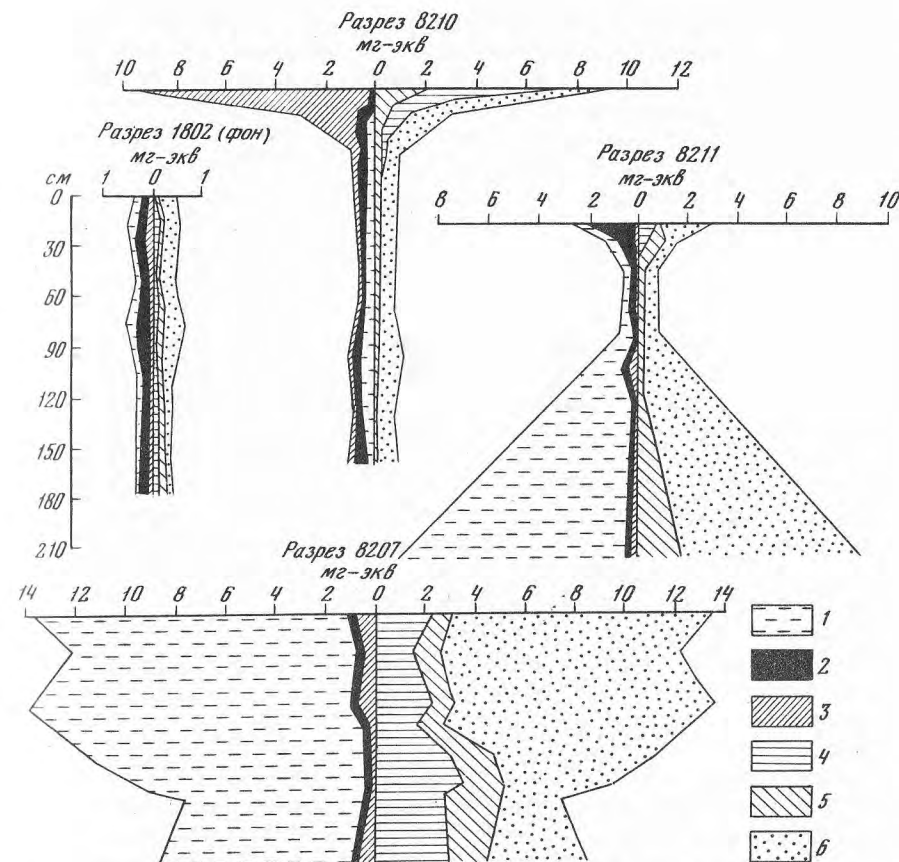


Рис. 1. Варианты солевого состава почв в сфере влияния нефтедобычи
Анионы: 1 — Cl^- ; 2 — HCO_3^- ; 3 — SO_4^{2-} ; Катионы: 4 — Ca^{2+} ; 5 — Mg^{2+} ; 6 — $\text{K}^+ + \text{Na}^+$

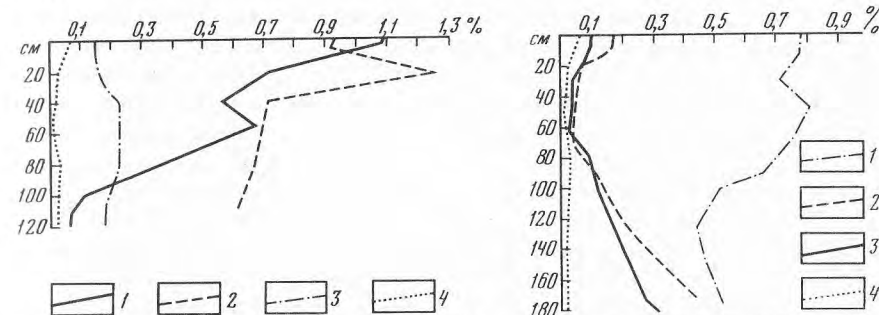


Рис. 2. Содержание водорастворимых солей в почвах, загрязненных сточными водами
1 — через две недели после загрязнения; 2 — через месяц после загрязнения; 3 — через год и два месяца после загрязнения; 4 — в незагрязненных местных почвах

Рис. 3. Содержание водорастворимых солей в почвах, загрязненных нефтью
1 — через год после загрязнения; 2 — через 10 лет после загрязнения; 3 — через 20 лет после загрязнения; 4 — в незагрязненных местных почвах

го профиля не происходит. Это связано с тем, что полное расслоение сырой нефти на собственно битуминозные вещества и минерализованные воды осуществляется не сразу. Кроме того, какая-то часть солей остается долгое время связанной в нефтяных эмульсиях и не поддается быстрому вымыванию атмосферными осадками [Солнцева, 1981]. Поэтому поступление минеральных компонентов из нефти в природные миграционные потоки происходит по мере ее геохимической трансформации. Растянута освобождения солей из нефти во времени делает невозможным их очень быстрое вымывание из загрязненных почв и в течение более длительного времени поддерживает их засоление. Поэтому содержание солей в отдельных горизонтах таких почв, обычно в нижних, несмотря на гумидный тип климата, может сохраняться на довольно высоком уровне даже тогда, когда загрязнение произошло 10–20 лет назад (рис. 3). При поступлении сырой нефти в субэдральные таежные почвы стадии их техногенно обусловленного засоления оказываются более устойчивыми, чем в первом случае, а следовательно, время взаимодействия солей с почвенной массой более длительным.

Несмотря на относительно кратковременное (даже в случае загрязнения нефтью) взаимодействие геохимически активных солей с почвенной массой, происходит глубокая перестройка физико-химических и некоторых морфологических свойств исходных почв.

Наиболее ярким и важным "последствием" — специфической вторичной реакцией — является глубокая перестройка почвенного поглощающего комплекса и щелочно-кислотных условий (рис. 4, 5, 6). Эти изменения, в свою очередь, обуславливают существенную трансформацию и многих других почвенно-геохимических показателей.

Можно проследить изменения геохимических свойств и степень устойчивости в условиях техногенеза не только почвенной системы в целом, но также ее отдельных блоков — генетических горизонтов. Выясняется очень существенная особенность: устойчивость разных генетических почвенных горизонтов к одним и тем же ТГ воздействиям неодинакова. Это проявляется как в скорости трансформации исходных геохимических свойств, так и скорости и формах восстановления нарушений.

Так, при загрязнении дерново-подзолистых суглинистых почв нефтью и сточными водами в поглощающем комплексе верхних горизонтов профиля увеличиваются содержания Ca^{2+} и Mg^{2+} , в то время как в нижних горизонтах тех же почв сколько-нибудь заметных изменений количества этих катионов не отмечается ни на одном из этапов их техногенно обусловленной трансформации.

Наиболее показательна в этом смысле динамика изменений содержания Na^+ . Непосредственно после загрязнения внедрение этого катиона в поглощающий комплекс наиболее активно происходит в верхних горизонтах профиля. Это справедливо как при загрязнении сточными водами, так и нефтью, хотя интенсивность этих процессов различна (рис. 4).

В какой-то степени это связано с "хроматографическими" свойствами почвенного профиля. Однако, как видно из рис. 1 (разрез 8207) и рис. 3 (кривая 1), первичное солевое давление — количество солей в отдельных горизонтах профиля — может быть практически одинаковым, характер же изменений их исходных физико-химических свойств различен.

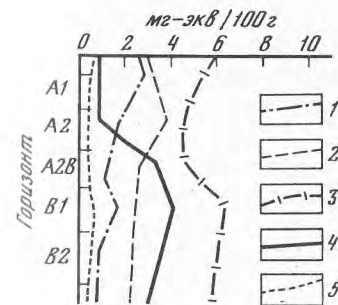


Рис. 4

Рис. 4. Содержание Na^+ в поглощающем комплексе лесных почв после их загрязнения сточными водами
1 — через две недели после загрязнения; 2 — через два месяца после загрязнения; 3 — через год и два месяца после загрязнения; 4 — через 18 лет после загрязнения; 5 — в незагрязненных местных почвах (среднее из четырех разрезов)

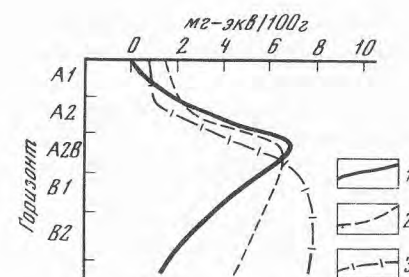


Рис. 5

Рис. 5. Содержание Na^+ в поглощающем комплексе лесных почв после их загрязнения сырой нефтью
1 — через год после загрязнения; 2 — через 10 лет после загрязнения; 3 — через 20 лет после загрязнения

Рис. 6. Изменение щелочно-кислотных условий в лесных почвах через разное время после загрязнения их нефтью
1 — через год после загрязнения; 2 — через 10 лет после загрязнения; 3 — через 11 лет после загрязнения; 4 — через 14 лет после загрязнения; 5 — через 20 лет после загрязнения; 6 — в незагрязненных местных почвах

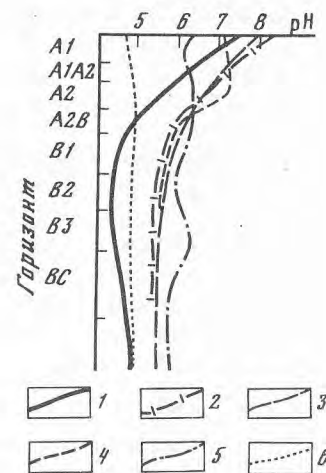


Рис. 6

Таким образом, приведенные данные свидетельствуют о следующем:

- 1) скорость трансформации поглощающего комплекса при загрязнении почв сточными высокоминерализованными водами более высокая, чем при загрязнении их нефтью, но интенсивность вторичных реакций — вторичной трансформации (при равной исходной интенсивности солевого давления) — выше в почвах, загрязненных нефтью. Это определяется большей устойчивостью самого загрязнителя в местных условиях. Происходит увеличение длительности взаимодействия его с почвенной массой и, как следствие, более глубокое влияние на свойства почв;
- 2) скорость трансформации нижних горизонтов отстает от скорости изменений верхних. Исходная буферность горизонтов (т.е. устойчивость — противостояние) у отдельных блоков системы может быть разной;
- 3) скорость самовосстановления свойств поглощающего комплекса верхних горизонтов более высокая. Устойчивость — нормализация для разных горизонтов профиля также неодинакова.

Это является общей характерной чертой развития почв при их геохимической трансформации такого типа и сохраняется во всех случаях, хотя соотношения ионов и их общее количество от суммы катионов

в разных частях ореолов загрязнения — краевых зонах или в центральной части ореола загрязнения могут различаться достаточно сильно.

Сопряженно с динамикой содержаний поглощенного натрия происходят изменения кислотности почв. Здесь разница в свойствах отдельных горизонтов еще более велика.

Изменения реакции среды не адекватны фиксируемому в это время составу поглощенных катионов. Перепады щелочно-кислотных условий, возникающие в загрязненных почвах на разных стадиях их техногенного развития, создают специфические щелочно-кислотные барьеры, что может отражаться даже в морфологии почв: формируются конкреционные горизонты и конкреционные прослои (см. статью Н.П.Солнцевой "Влияние техногенных потоков..." в этом сборнике).

Так же своеобразна и динамика других геохимических показателей: распределения в профиле подвижных форм калия, разных форм азота, подвижного железа и т.д.

Таким образом, темпы и реальные формы изменений свойств отдельных генетических горизонтов исходных дерново-подзолистых суглинистых почв при их загрязнении как сточными водами, так и пластовыми жидкостями (нефтью), как видно из приведенных материалов, достаточно своеобразны. Физико-химические причины погоризонтных различий в скорости и формах трансформации отдельных химических показателей, а следовательно, устойчивости 1-го и 2-го рода до конца не ясны. Играть роль различия в составе и свойствах преобладающих коллоидов — преимущественно органических в верхних горизонтах и преимущественно минеральных — в нижних, а также исходные соотношения и количество тех или иных катионов в поглощающем комплексе, общая геохимическая обстановка, характерная для разных генетических горизонтов, а также их некоторые физические свойства. Таким образом, буферность отдельных частей почвенного профиля различна. При этом верхние горизонты оказываются менее устойчивыми к данному типу геохимических нагрузок, но обладают более высокой активностью восстановления. И наоборот, нижние горизонты первично более устойчивы, но труднее восстанавливают исходные признаки.

Имеющийся фактический материал, частично приведенный выше, позволяет в общих чертах оценить степень устойчивости техногенно обусловленных модификаций морфологических и геохимических признаков, возникающих на разных этапах развития дерново-подзолистых почв после их загрязнения (табл. 6)¹.

Как видно из табл. 6, устойчивость новообразованных свойств очень различна. Так, для рассматриваемого случая — субэкральных дерново-подзолистых суглинистых почв — возможность длительного сохранения высоких концентраций солей заведомо маловероятна, что подтверждается приведенным фактическим материалом. В зависимости от типа загрязнителя (нефть или собственно сточные воды) устойчивость засоления несколько различается — от месяцев — первых лет до первых десятков лет, но всегда остается в категории неустойчивых показателей.

¹ Устойчивость морфологических признаков см. в табл. 8 статьи Н.П.Солнцевой "Влияние техногенных потоков..." в этом сборнике.

Таблица 6. Относительная устойчивость новообразованных геохимических свойств почв при загрязнении их минерализованными водами и нефтью

Относительная устойчивость	Новообразованные свойства и признаки почв	
	загрязненных высокоминерализованными сточными водами	загрязненных нефтью (пластовыми жидкостями)
Очень неустойчивые	Высокие содержания водорастворимых солей	Высокие содержания легколетучих компонентов нефти
Неустойчивые	Изменение свойств поглощающего комплекса (внедрение Na^+ , вытеснение H^+ и Al^{3+}), изменение щелочно-кислотных условий среды	Высокие содержания водорастворимых солей, повышенные содержания закисных форм Fe в верхних горизонтах профиля
Относительно устойчивые	Изменение строения гумусового профиля вследствие повышенной потечности органических веществ; остаточная солонцеватость	Изменение свойств поглощающего комплекса (внедрение Na^+ , вытеснение H^+ и Al^{3+}), изменение щелочно-кислотных условий среды
Устойчивые	Перестройка профиля распределения железа и ила: повышенная ожелезненность верхних горизонтов при их обезыливания; остаточное осолодение	Изменение строения гумусового профиля: увеличение органического углерода по всему профилю при максимуме в его верхней части; изменение состава битуминозных компонентов (увеличение фракций, переходящих в гексановые, хлороформные и спиртобензолные вытяжки); остаточная солонцеватость (главным образом нижних горизонтов); повышенная ожелезненность

Естественно, что стадии засоления почв — техногенные солончаки и солончаковатые разности почв — в таких условиях кратковременны.

Несмотря на быстрое снижение солевого давления, вызванные этими веществами вторичные изменения свойств почв — результаты вторичных реакций (т.е. результаты последствий) и часто оказываются очень устойчивыми.

Так, новообразованные конкреционные горизонты и прослои, активно формирующиеся в местных почвах при их загрязнении, оказываются достаточно устойчивыми, так как гидроксиды железа, составляющие основу конкреций, в окислительной обстановке гумидной зоны сохраняются долгое время.

В восстановительных условиях длительное время сохраняются повышенные содержания органического углерода: битуминозные компоненты нефти закрепляются наиболее активно в супераквальных и периодически супераквальных ландшафтах. Таким образом, с точки зрения устойчивости результаты воздействия ТГ факторов даже в ус-

ловиях одного производства очень неоднозначны: от легко обратимых — неустойчивых до полностью необратимых — очень устойчивых.

Исходя из сказанного проверкой на устойчивость возникающих геохимических и морфологических новообразований в зоне техногенеза может быть их соответствие местным ландшафтно-геохимическим условиям. Сочетания новообразованных свойств и признаков, выраженных через их градации, могут служить в качестве прогнозных геохимических критериев состояния среды, что позволяет охарактеризовать каждую стадию развития процессов трансформации.

Еще одним достаточно ярким примером разной обратимости ответных реакций природных систем (в аналогичных природных условиях) является характер изменений свойств лесных почв в районах угледобычи (Кизеловский угольный бассейн). Здесь при поступлении в природные ландшафты очень агрессивных сернокислых растворов от отвалов пород происходит не только относительно длительное сернокислое засоление, но также усиление кислотного гидролиза первичных и вторичных минералов, активизация миграции ряда химических элементов, особенно марганца, стронция, бария. В конечном итоге даже при освождении природных систем от собственно сернокислых растворов (неустойчивых при промывном водном режиме) ареал их воздействия фиксируется необратимыми изменениями по ряду показателей [Солнцева, Никифорова, 1978]. В частности, формируются положительные и отрицательные геохимические аномалии некоторых элементов (см. статью Н.П.Солнцевой и Е.М.Никифоровой в этом сборнике).

В сфере влияния угледобычи достаточно устойчивыми являются изменения реакции среды (устойчивое усиление кислотности почв), изменения почвенного поглощающего комплекса (увеличение содержания обменного алюминия при устойчивом снижении Ca^{2+} и Mg^{2+}).

Скорость возможных изменений природных процессов и свойств природных систем. Длительность процессов деградации — восстановления и степень обратимости этих процессов являются важнейшими характеристиками природных систем. Представляется полезным с этой точки зрения сравнение временных показателей при трансформации отдельных свойств среды на разных этапах ее техногенно обусловленного развития с характерным временем [Соколов, Таргульян, 1976] естественного саморазвития тех же признаков в системах, аналогичных нарушенным. Попытки такого анализа для дерново-подзолистых почв районов нефтепромыслов и угледобычи приведены в табл. 7 и 8.

Из табл. 7 видно, что характерное время ТГ трансформации всегда меньше, чем время восстановления, а время восстановления больше или такое же, как время естественного саморазвития данного признака; по некоторым свойствам (при неизменности имеющихся физико-географических и ландшафтно-геохимических условий) восстановление затруднено или становится вообще невозможным.

Таким образом, полной обратимости нарушений не происходит: сохраняются "остаточные" признаки прошедших циклов трансформации. В частном случае это относится к дифференциации профиля по содержанию ила и другим показателям.

Первичные ТГ импульсы вызывают изменения, которые затрагивают

Таблица 7. Примерная величина характерного времени естественного развития свойств почв и времени их изменений под влиянием минерализованных вод и сырой нефти

Свойства почвы	Характерное время естественного развития свойства	Время ТГ трансформации	Характерное время восстановления свойства	Время ТГ трансформации	Характерное время восстановления свойства
	по А.И.Соколову, В.О.Таргульяну [1976]	при загрязнении высокоминерализованными сточными водами		при загрязнении сырой нефтью (пластовыми жидкостями)	
		по полевым и аналитическим материалам автора			
Влажность, температура	Часы, сутки	Часы, сутки		Сутки	Сутки, недели
Состав почвенных растворов	Сутки, месяцы	Сутки, месяцы	Месяцы, годы	Недели, месяцы	Годы, первые десятки лет
Состав поглощающего комплекса	Месяцы, годы	То же	Месяцы, десятки лет	То же	Годы (?), первые десятки лет
Солевые горизонты	Годы, десятки лет	”	Месяцы, первые годы	”	Годы, первые десятки лет
Гумусовый профиль	Десятки, сотни лет	Месяцы, первые годы	Десятки, сотни лет, (?)	Сутки, недели	Изменения необратимы (?)
Профиль; дифференцированный по содержанию ила	Тысячи, десятки тысяч лет	Годы, месяцы (?)	Нет данных	Недели, месяцы	Нет данных

не только свойства "почвы-момента", но также и свойства "почвы-памяти", т.е. остаются записанными в почвенной матрице.

Из табл. 8 можно заключить, что обратимость возникающих в почвах изменений (для указанного типа их загрязнения) — процесс более длительный. И в этих случаях характерное время трансформации отдельных признаков не совпадает с временем их естественного саморазвития (см. табл. 7, 8). Важно еще раз отметить, что по отдельным показателям абсолютной обратимости свойств не происходит вообще. В зависимости от форм и интенсивности ТГ воздействий изменения первичных свойств природных объектов могут оказаться настолько глубокими, что их восстановление не происходит до конца. Остаточные изменения могут быть "записаны" в почвах (их физико-химических или морфологических признаках), рельефе, гидрологическом режиме и (или) других компонентах природных комплексов.

Наличие устойчивых остаточных изменений, связанных с ТГ фазами развития, свидетельствует о том, что термин "самовосстановление", применяющийся достаточно часто, не полностью, а иногда и не точно отражает суть происходящих в природе явлений и процессов. Как видно из приведенного материала, конечными этапами развития могут оказаться очень устойчивые в местных условиях признаки и свойства, достаточно

Таблица 8. Группировка свойств дерново-подзолистых почв по примерной величине характерного времени их изменений под влиянием токсичных сернокислых вод от угольных отвалов (по материалам автора)

Свойства почвы	Время ТГ трансформации свойства	Характерное время восстановления свойств
Состав почвенных растворов	Месяцы, первые годы	Десятки лет
Состав поглощающего комплекса	То же	Десятки, первые сотни (?) лет
Реакция среды	Месяцы	Десятки лет
Профиль, дифференцированный по содержанию железа	Первые годы	Изменения необратимы (?)
Профиль, дифференцированный по органическому углероду	То же	Сотни лет, необратимы (?)

сильно отличающиеся от исходных или вообще несвойственные исходным объектам. Можно ли считать процесс самоочищения завершенным, если почвы освободились от загрязнителя (отсутствуют следы первичных ТГ воздействий), но сохраняются устойчивые признаки прошедших циклов ТГ трансформации—устойчивые вторичные реакции? Вероятно, более правильно в таких случаях говорить не о самовосстановлении, а о посттехногенном развитии ("становлении") трансформированных природных объектов.

Приведенные материалы показывают, что характер трансформации природных процессов в зоне техногенеза и степень обратимости возникающих изменений — интегральная устойчивость каждого свойства — различны.

Можно ли предвидеть, как будут происходить процессы геохимического развития природных систем в зоне техногенеза? Каковы принципы прогноза вероятных направлений развития природных комплексов, их отдельных компонентов или свойства? Каковы критерии предвидения путей, форм и интенсивности деградации исходных показателей (объектов) или критерии предвидения результатов посттехногенного развития нарушенных территорий?

Все эти вопросы остаются открытыми. Представляется, что без специально проведенных исследований, о которых говорилось выше (лабораторных экспериментов, природного моделирования и др.), решение этой проблемы невозможно. Одновременно запросы практики заставляют искать и общеметодические подходы к решению выдвинутых задач.

Один из возможных вариантов прогнозного анализа состояния природных систем и их устойчивости в зоне техногенеза рассматривается ниже.

Принцип совместимости ТГ воздействий и свойств природных систем как возможный критерий их устойчивости

Чтобы следить, прогнозировать, управлять функционированием природных систем, мало знать пороговые уровни возможных нагрузок, хотя это и крайне важные показатели. Необходимо, как было показано выше, ясно представлять, какие сдвиги в геохимических процессах соответствуют каждому типу ТГ воздействий, как развиваются процессы трансформации во времени и какова устойчивость возникающих изменений: происходит ли закрепление новообразованных признаков или процессы трансформации среды обратимы.

Будут ли загрязнители окончательно вынесены, т.е. пройдет ли процесс самоочищения до конца, зависит от свойств самого загрязнителя, характера его метаболизма в местных условиях, форм и результатов взаимодействия с компонентами среды — типов вторичных реакций.

Возможны следующие группы соотношений свойств загрязнителей и характера вторичных реакций.

1. Устойчивы в местных условиях сами загрязнители, что во многом определяет стабильность ТГ модификаций природных объектов. Хорошим примером является устойчивость загрязнения природных сред некоторыми пестицидами, например ДДТ, который характеризуется длительным временем распада и способностью к кумуляции.

2. Загрязнители в местных условиях легко выносятся или разлагаются. Но в результате их воздействия возникают специфические вторичные реакции, устойчиво индицирующие загрязнение. Такие характеристики "последствия" могут быть записаны в "памяти" системы (ландшафте или его отдельных составляющих). Здесь могут быть два случая поведения загрязнителей.

В местных условиях закрепляются метаболиты первичных загрязнителей. Например, конечной стадией трансформации сульфидов будут оксиды и гидроксиды железа. Последние очень слабо подвижны в окислительных условиях зоны гипергенеза. При этом могут возникать даже специфические техногенные "железные шляпы" на месте отвалов интенсивно сульфидизированных вскрышных пород, что подтверждается фактическим материалом. Так, исследования, выполненные на отвалах таких пород (в Приморье), показали, что их строение достаточно характерно. Выделяется несколько зон плотной цементации обломков пород. Основным цементирующим материалом являются оксиды и гидроксиды железа и марганца. Прочность цементации довольно высокая. Образуются очень плотные и прочные пленки и "рубашки" на поверхности обломков, в результате чего и происходит склеивание последних. В случае термических процессов в отвалах характер цементации пород уже иной, иная и геохимия этих процессов. В таких случаях возможно формирование не только более устойчивых метаболитов, но также и более токсичных, чем соединения, поступившие в природную среду непосредственно с ТГ потоками. Следовательно, необходимо учитывать не только степень совместимости первичных продуктов техногенеза, но также их метаболитов, формирующихся уже в природных системах.

И загрязнители, и их метаболиты не закрепляются в местных ландшаф-

тах, но результаты их даже кратковременного пребывания в природных системах (результаты последствия) обнаруживаются длительное время, т.е. могут быть "записаны" в памяти систем (см. табл. 6, 7, 8).

Таким образом, по особенностям воздействия на состояние среды результаты вторичных реакций могут быть: а) положительными, б) отрицательными и в) нейтральными, а с точки зрения устойчивости — обратимы и необратимы. Так, в случаях, рассмотренных выше (например, при поступлении в природные ландшафты гумидных районов очень агрессивных сернокислых растворов, от отвалов сульфидизированных пород), происходит не только сернокислое засоление таких территорий, но также усиление кислотного гидролиза первичных и вторичных минералов, активизация миграции ряда химических элементов и т.д. В конечном итоге даже при освобождении природных систем от собственно сернокислых растворов (относительно неустойчивых в окислительных условиях при интенсивном промывном водном режиме) ареал их воздействия фиксируется изменениями ряда показателей: кислотности, поглощающего комплекса, распределения микроэлементов и т.д. Часть этих показателей обратима (засоление), часть необратима (гидролиз первичных минералов).

Возможные типы вторичных реакций природных систем (положительные или отрицательные) на определенные геохимические воздействия в сельском хозяйстве в некоторых случаях известны и учитываются уже довольно давно. Хорошим примером служит применение извести для снижения кислотности почв и гипса для мелиорации солонцов. И в том, и в другом случае использование этих соединений определяется необходимостью введения катиона кальция в поглощающий комплекс вместо H^+ в первом случае и Na^+ — во втором. Хотя кальций входит как в состав гипса, так и в состав извести, взаимозамещаемыми эти соединения не являются из-за существенных различий характера вторичных реакций на них природных систем: вторичной реакцией солонцов на внесение в них извести является образование соды; при внесении гипса в кислые почвы происходит усиление кислотности этих почв. И в том и в другом случае результаты вторичных реакций отрицательно влияют на свойства природных систем.

Этот общеизвестный факт подтверждает важность анализа возможных результатов вторичных реакций на то или иное ТГ воздействие при определении устойчивости к ним природных объектов.

Этапы и формы перестройки среды, как и обратимость или необратимость возникающих изменений (т.е. собственно устойчивость), определяются, таким образом, не только характером первичных ТГ воздействий, но и совместностью результатов вторичных реакций с общими условиями среды и свойствами исходных природных систем.

Такой подход к изучению соотношений между ТГ воздействиями (в частности, геохимическими потоками) и природными факторами был назван принципом совместимости.

Совместимость ТГ воздействий является относительной категорией, неоднозначной (при прочих равных условиях) для разных ландшафтно-геохимических и физико-географических обстановок.

Принцип совместимости ТГ воздействий и результатов вторичных реакций на них природных систем с общими условиями среды может в

определенной мере служить ключом к прогнозу устойчивости природных объектов в зоне техногенеза. Рассмотрим содержание и применение этого принципа более детально.

Следует выделить основные факторы, от которых зависит характер реакций природных систем на ТГ воздействия. Это прежде всего собственно ландшафтно-геохимическая обстановка и геохимическая активность самого воздействия (см. табл. 1).

Зависимость степени совместимости ТГ воздействий от характера природных процессов уже иллюстрировалась выше. Так, устойчивое накопление высоких концентраций водорастворимых солей при поступлении в почвы минерализованных вод в условиях промывного режима гумидных ландшафтов маловероятно. Хотя засоленные почвы в таежной зоне отмечены еще П.С.Коссовичем, С.А.Захаровым, Б.Б.Полыновым [см. Димо, 1960], для их развития необходимо наличие важного фактора — затрудненного дренажа. Промывной режим обуславливает активное отторжение любых водорастворимых соединений — несовместимость загрязнителей такого типа с общими условиями среды. Одновременно в подчиненных геохимических позициях при соблюдении ряда ландшафтно-геохимических ограничений (в частности, плохой дренаж) могут возникать условия, способствующие частичному удержанию (совместимости) подвижных соединений от окончательного выноса.

Лимитирующими факторами совместимости оказываются для этих случаев количество осадков и условия дренажа.

В сухостепных и аридных ландшафтах устойчивость этих же соединений оказывается значительно более высокой. При этом наиболее устойчивыми и здесь являются ореолы ТГ засоления в условиях плохого дренажа и слабого поверхностного стока. Устойчивость техногенных солевых ореолов находится в полном соответствии с общим характером природных геохимических процессов, при которых солевые аккумуляции являются вполне обычными. При ТГ загрязнении здесь могут формироваться достаточно устойчивые солончаки и солончаковатые разности зональных почв.

Лимитирующими факторами совместимости и здесь оказываются условия увлажнения (дефицит влаги) и условия стока.

Таким образом, с севера на юг ухудшаются условия отторжения названных загрязнителей и вывода их за пределы системы из-за понижения самоочистительного потенциала для них природной среды.

Еще одним достаточно известным примером, показывающим особенности изменения степени устойчивости загрязнителя в разных природных обстановках, является характер накопления нефти и нефтепродуктов в почвах различных ландшафтов. Одним из лимитирующих факторов степени возможной совместимости данного типа загрязнителя с условиями среды являются окислительно-восстановительные процессы. Усиление восстановительных процессов увеличивает устойчивость битуминозных компонентов в ландшафтах. Имеется фактический материал, подтверждающий накопление органических загрязнителей в восстановительной среде [Никифорова, Теплицкая, 1979а,б; Перельман, 1976; Глазовская, 1979а] при затрудненном дренаже.

Аналогичным образом можно показать географическую изменчивость

совместимости с природной средой других типов ТГ нагрузок и соответственно разную устойчивость принявших эти нагрузки природных систем.

Степень совместимости зависит, как отмечалось выше, также и от свойств самих ТГ воздействий, в частности степени их геохимической активности и токсичности.

Относительными показателями потенциальной совместимости ТГ воздействий в какой-то степени можно считать кларки элементов, в том числе и местные (чем выше природный кларк, тем выше возможная адаптированность к этим элементам природных систем), и химические соединения, тем выше вероятность его совместимости с природными условиями. Геохимически инертные ТГ потоки не изменяют свойств природных систем. Они совместимы практически с любой природной обстановкой. Поступающие в процессе техногенеза вещества при этом устойчивы. Например, сиаллитные породы, составляющие основные ТГ потоки при разработке строительных материалов, оказываются геохимически очень слабо активными практически в любой природной обстановке.

Важным критерием, определяющим устойчивость возможных изменений природных систем в зоне техногенеза, служит совместимость с общими условиями среды результатов вторичных реакций — устойчивость конечных продуктов трансформации. Некоторые примеры формирования устойчивых вторичных изменений под действием разных групп загрязнителей показаны в табл. 6, 7, 8.

Итак, несовместимыми с природной средой можно считать ТГ воздействия, геохимическая и термодинамическая характеристика которых достаточно резко отличается от свойств, принимающих эти воздействия природных систем. Обязательное условие при этом — неустойчивость ТГ продуктов в местных ландшафтах, в результате чего происходит как бы активное "отторжение" загрязнителя.

Совместимыми с природной обстановкой будут ТГ потоки, не имеющие резких отличий по геохимическим параметрам или другим показателям от свойств местных ландшафтов (и определяющих их факторов). Обязательным условием является устойчивость ТГ потоков в местных условиях.

И в том и в другом случае характер вторичных реакций — результаты последствия — могут быть как положительными, так и отрицательными для исходных природных систем, что зависит не только от свойств первичных ТГ воздействий, но также их метаболитов.

Общая схема возможных соотношений степени активности и совместимости ТГ воздействий и типов ответных реакций природных систем (устойчивости приобретенных ими свойств) показана в табл. 9.

Согласно этой схеме выделяются несколько крупных групп возможных изменений свойств природных комплексов (групп ответных реакций).

При геохимически несовместимых с местными условиями ТГ воздействиях возможны две группы ответных реакций: падение продуктивности и увеличение продуктивности.

1. Падение продуктивности обусловлено двумя типами изменений геохимических процессов.

Таблица 9. Схема соотношений степени совместимости и активности ТГ воздействий с типами ответных реакций природных систем

Степень геохимической совместимости ТГ воздействий, устойчивость загрязнителей и их метаболитов	Геохимическая активность ТГ воздействий	Характер сдвига геохимических процессов	Типы ответных реакций природных систем
Геохимически несовместимы Поступающие вещества неустойчивые, легко разлагаются, активно вступают в химические и физико-химические реакции	Геохимически активны	Возникновение новых отрицательных свойств природных систем. Глубокие изменения исходных геохимических условий, возникновение нехарактерных для зональных процессов свойств и признаков природных систем Резкое усиление природных отрицательных свойств и процессов (эффект резонанса) Ослабление природных отрицательных признаков Усиление природных положительных свойств и признаков	Падение продуктивности из-за токсичности ТГ воздействий и результатов вторичных реакций То же Увеличение продуктивности (при целенаправленных воздействиях) То же
Геохимически совместимы Поступающие вещества устойчивы в местных условиях вне зависимости от степени их геохимической активности	Геохимически инертны Потенциально геохимически активны (токсичны) Геохимически активны	На природные процессы не влияют. Нетоксичны. Результаты вторичных реакций устойчивы. При неизменности характера функционирования природных систем на природные процессы не влияют. Проявлении токсичности при вторичных изменениях свойств среды Возникновение отрицательных свойств и признаков природных систем, но не противоречащих общим зонально-провинциальным ландшафтно-геохимическим условиям	Сохранение продуктивности на исходном уровне То же Падение продуктивности из-за токсичности воздействий

Во-первых, происходит возникновение новых отрицательных свойств природных систем. Несовместимость свойств ТГ импульса и геохимии исходных природных объектов вызывает "срыв" их нормального функционирования вплоть до возникновения принципиально новых геохимических обстановок. Геохимическая несовместимость ТГ нагрузок и местных природных процессов определяет очень резкие изменения геохимии последних, хотя устойчивость самого загрязнителя, как правило, в таких ситуациях (см. табл. 9) может быть и невелика. Происходит отторжение загрязнителя. В то же время глубина трансформации природных процессов из-за отрицательного характера вторичных реакций и устойчивость возникающих изменений по ряду параметров очень высоки (см. табл. 6, 7).

Во-вторых, происходит усиление природных отрицательных свойств и процессов. Соотношения между ТГ воздействиями и природными процессами носят характер синергизма. Достаточно наглядным примером служит воздействие сульфидсодержащих отвалов на кислые почвы в районах угледобычи. Хотя основные загрязнители несовместимы с природными условиями гумидной зоны (неустойчивы в окислительной обстановке зоны гипергенеза), поступление продуктов их разложения (сернокислых водорастворимых соединений) в исходно кислые почвы вызывает лавинообразное усиление имеющихся неблагоприятных свойств таких почв. При этом оказывается, что результаты вторичных реакций (активное усиление общей кислотности, внедрение алюминия в почвенный поглощающий комплекс, сернокислотный гидролиз первичных и вторичных минералов, интенсивное ожелезнение почв и другие признаки) значительно более устойчивы, чем в первом случае, так как они совместимы с условиями среды. Восстановление свойств таких почв (и вмещающих ландшафтов) еще более затруднено.

2. Увеличение продуктивности природных систем. Это чаще всего специально направленные воздействия. Здесь также выделяются два основных варианта изменений геохимических процессов:

а) ослабление природных отрицательных процессов (преодоление устойчивости неблагоприятных свойств). В качестве простейших примеров можно привести воздействие гипса на солонцеватые почвы, извести на кислые почвы или сульфидсодержащие породы;

б) усиление природных положительных процессов и свойств (например, воздействие удобрений или определенных групп пестицидов).

Экономическая отдача на затраченные усилия в значительной степени определяется правильным учетом устойчивости природных систем или их отдельных свойств и характера вторичных реакций.

При геохимически совместимых с местными условиями ТГ воздействиях также возможно две группы ответных реакций (см. табл. 9):

1. Сохранение продуктивности на исходном уровне. Здесь возможны следующие два случая:

а) техногенные импульсы абсолютно совместимы с местными природными условиями. Они не влияют на природные процессы и не вызывают неблагоприятных последствий. Результаты вторичных реакций устойчивы и нетоксичны. В ряде случаев возможно даже некоторое увеличение биологической продуктивности. Например, при песковании (введении инертных соединений кремнезема) происходит изменение водно-физических свойств почв

и грунтов, улучшается аэрация, что благоприятно сказывается на продуктивности систем;

б) техногенные воздействия на природные процессы не влияют, но только при условии сохранения характера функционирования природных систем. При смене природных условий, например из-за наложения дополнительных ТГ воздействий и нарушения первичного функционирования, возникают токсические изменения. Происходит вторичное резкое падение биологической продуктивности природных систем. Например, поступление сульфидов тяжелых металлов в ландшафты восстановительного ряда не вызывает никаких серьезных сдвигов в их свойствах. Потенциальная токсичность сульфидов не проявляется вследствие их совместимости со свойствами принявших их природных систем. Но всякое последующее изменение течения местных геохимических процессов, например при осушении этих территорий и переводе их на окислительный режим функционирования, немедленно вызовет очень интенсивную деградацию мелиорированных систем из-за неустойчивости сульфидов в новых условиях и возникновения геохимически активных продуктов их разложения.

2. Падение продуктивности. Хотя ТГ импульсы и общие условия среды совместимы, результаты влияния ТГ факторов отрицательны. Например, как было показано выше, водорастворимые соли, поступающие с минерализованными сточными или пластовыми водами в сухостепные и аридные ландшафты, оказываются устойчивыми в таких условиях. Необратимы и результаты вторичных реакций (изменение солевого профиля, pH среды, состава поглощенных катионов и др.). Возможно возникновение солончаков и солончаковатых разностей почв, устойчивых в условиях дефицита влаги.

Таким образом, при оценке устойчивости природных объектов в зоне техногенеза, как видно из вышеизложенного, необходимо учитывать как быстро проявляющиеся, так и отдаленные результаты взаимодействия ТГ импульсов и свойств природных систем, ибо в том и в другом случае можно ожидать сдвиги в генетических характеристиках среды — возникновение потенциально опасных экологических ситуаций.

Одновременный учет как быстро проявляющихся, так и отдаленных последствий ТГ воздействий — важнейший принцип нормирования ТГ нагрузок и прогноза развития среды любого уровня.

Далеко не всегда можно заранее представить степень совместимости, а тем более характер ответных реакций природных систем на те или иные нагрузки. Самым сложным здесь является учет возможных отдаленных результатов влияния ТГ факторов, особенно при поступлении в миграционные потоки веществ, вообще неизвестных в природе, — продуктов промышленного синтеза, поэтому уместно еще раз подчеркнуть крайнюю важность модельных экспериментов по изучению влияния ТГ факторов на свойства природных систем. Кроме того для анализа отдаленных последствий влияния тех или иных ТГ нагрузок необходимо привлечение возможных природных аналогий [Николаева, Солнцева, 1977], аэрофотоматериалов, особенно залетов разных лет [Солнцева, Николаева, 1979], изучение датированных эталонных объектов [Солнцева, 1981], серий разновозрастных картографических материалов и архивных данных [Гедымин, Побединцева, 1964; Побединцева, 1967].

Заключение

Неоднозначность явления устойчивости — наличие разного уровня буферных реакций у различных компонентов природных комплексов и у систем в целом, способности у них к посттехногенному восстановлению нарушений определяют наличие нескольких порогов возможных нагрузок на среду, а следовательно, несколько возможных уровней нормирования воздействий.

1. Нормы воздействий, призванные не допустить глубоких изменений функционирования систем, особенно вызывающих опасные сдвиги в экологии среды. Это природоохранный и генетический уровни нормирования. Критерием должно быть качество условий жизни, включающее не только генетическую, но и эстетическую ценность среды. Такие нормы зависят от пороговых уровней систем — их предельной емкости, в понимании А.И. Рябчикова и Е.В. Милановой [1978], с учетом возможных отдаленных последствий.

2. Нормы воздействий, соответствующие самоочистительному потенциалу систем. В этих случаях нормирование должно исходить из учета активности восстановительных функций среды. Этот уровень нормирования призван не допустить необратимых изменений, требующих уже дорогостоящих рекультивационных мероприятий. Критерием нормирования здесь является устойчивость возможных ТГ новообразований — степень и скорость обратимости возникающих изменений.

И тот и другой уровни нормирования предполагают сохранение качества исходных объектов.

Превышение первого уровня нормирования вызывает срыв нормального функционирования природных систем — развитие патологических последствий.

Превышение второго уровня нормирования определяет невозможность или очень большую длительность посттехногенного восстановления исходного качества среды.

3. Нужно выделить еще один уровень нормирования ТГ нагрузок для случаев, когда особенности технологии производства не позволяют сохранить исходные типы природных систем (например, при формировании карьеров, особенно крупных, накоплении отвалов вскрышных пород и т.д.). Нормирование ТГ нагрузок здесь преследует цель не допустить необратимых вторичных реакций в окружающих природных объектах, сопряженных с первично нарушенными. Так, нормирование форм и объемов отвалов призвано предотвратить их самовозгорание, чтобы не допустить возникновения обширных атмогеохимических ореолов токсичных соединений, резко снижающих качество окружающей среды. Одним из последствий оседания таких вторичных продуктов в окружающих ландшафтах является существенное падение продуктивности последних на территориях, значительно превосходящих площади первоначальных нарушений.

Необходимо также нормировать состав и объем фильтрационных вод, потому что и в этих случаях площади полей вторичных повреждений могут во много раз превышать площади первичных нарушений.

Для обоснования нормирования надо знать следующее:

1. Степень потенциальной опасности экологического сдвига для каждого типа природных систем.

2. Обратимость (степень и скорость) возникающих изменений — устойчивость и формы вторичных реакций.

Накопленный к настоящему времени фактический материал свидетельствует о том, что во многих случаях возврат природных систем к исходному состоянию невозможен. Результаты вторичных реакций оказываются устойчивыми, совместимыми с местной природной обстановкой.

Остаточные явления при этом могут быть: а) нетоксичными; они не вызывают лавинообразных срывов функционирования природных систем — новообразованные свойства и признаки нейтральны, не меняют характера природных процессов; биологическая продуктивность ландшафтов сохраняется на исходном уровне, б) токсичными или потенциально токсичными; биологическая продуктивность экосистем падает; в) благоприятными для природных процессов; биологическая продуктивность возрастает.

Необратимость многих процессов — наличие устойчивых техногенно обусловленных изменений свойств и признаков природных систем — определяет усложнение геохимической структуры биосферы — формирование своеобразных геохимических полей разной интенсивности и масштаба.

Происходит формирование трех типов геохимических полей: 1) глобальных геохимических полей, например геохимического поля рассеяния пестицидов, среди которых известны очень устойчивые препараты; 2) региональных геохимических полей, например геохимических полей повышенных концентраций соединений серы, поступающих в природные системы вследствие интенсивного воздушного разноса; устойчивые отрицательные последствия влияния этого поля на продуктивность экосистем особенно четко проявляются в северном полушарии, в зонах развития кислых оподзоленных почв; 3) локальных геохимических полей, которые формируются в связи с отдельными предприятиями или группами предприятий; некоторые примеры таких устойчивых геохимических полей в связи с добывающими предприятиями были показаны выше.

По степени обратимости техногенно обусловленные изменения делятся на полностью обратимые, частично обратимые (остаточные изменения устойчивы, записаны в "память" системы, но не изменяют характер ее функционирования), полностью необратимые.

В последнем случае происходит полное замещение исходных природных систем новообразованными, что определяет потенциальную невозможность возврата к исходному состоянию вследствие абсолютной устойчивости техногенных модификаций. Геохимические нарушения при этом столь существенны, а часто и опасны, что необходима рекультивация. Самовосстановление либо полностью невозможно, либо крайне затруднено.

Посттехногенное развитие трансформированных территорий может иметь три основных направления.

1. Развитие проходит в соответствии с зонально-провинциальным типом природных процессов. Восстанавливающиеся природные системы по типу геохимических процессов соответствуют исходным.

2. Развитие происходит по принципу "сдвинутости зон", т.е. более северному или южному варианту. Например, обнажение в результате техногенеза известняков из-под перекрывающих их нейтральных (как правило, силлитных) отложений в районах развития кислых почв вызывает устойчивое

изменение геохимических процессов: подщелачивание растворов, состава и свойств поглощающего комплекса, характера процессов гумусонакопления и состава гумусовых веществ и других показателей. В результате восстановления почв идет как бы по более южному варианту, в связи с чем изменяется частично и характер растительности, что приводит к изменению биологической продуктивности восстанавливающихся экосистем. Аналогичным образом при других типах геохимических изменений может происходить замещение природных систем более северными модификациями.

3. Развитие по "азональному" принципу — замещение исходных природных объектов устойчивыми техногенными аномалиями, например, как было показано выше, формирование устойчивых аномальных геохимических свойств техногенно образованного субстрата в районах добычи полезных ископаемых — цветных металлов, угля, а также золоотвалов, хвостохранилищ, шламовых полей обрабатывающих предприятий. Посттехногенное развитие таких территорий происходит по типу ТГ геохимических аномалий как в пределах собственно этих площадей, так и сопряженных с ними геохимическими потоками окружающих территорий, где происходят изменения химического состава почв, растений, вод.

Учет уровня устойчивости природных систем, определение степени обратимости изменений тех или иных процессов, выявление направления их посттехногенного развития важно не только для охраны среды. Перечисленные показатели должны лежать в основе расчетных норм воздействия на природные системы и при проведении любых мелиоративных мероприятий: внесение химических мелиорантов, осушении, рассолении и других воздействиях.

В этих случаях решается обратная задача: как преодолеть устойчивость системы, какова должна быть сила импульса, чтобы получить нужные изменения и не вызвать токсического эффекта.

Такой анализ устойчивости природных систем в зоне техногенеза позволяет осуществлять прогнозные картографирование, что очень важно для практических целей. При этом анализ природных факторов — определение их прогнозной информативности, согласно критериям, предложенным М.А. Глазовской [Глазовская, 1972, 1976, 1978а, б, 1979а, б], является первым этапом прогноза. Второй этап — оценка совместимости ТГ воздействий, их метаболитов с исходной геохимической обстановкой сферы трансформации и определение устойчивости или обратимости ТГ новообразований в местных геохимических условиях.

Такой подход во многих случаях позволяет дать однозначный ответ о характере возможных изменений территории под влиянием конкретных типов ТГ нагрузок и определить соответствующие уровни нормирования воздействий.

Основными затруднениями при реализации такого прогнозного анализа является недостаток экспериментальных материалов, что особенно ощущается в случаях изучения влияния веществ, неизвестных в природе, не имеющих близких природных аналогов. Отдаленные последствия наложения таких ТГ потоков на природные часто не предсказуемы из-за многообразия и сложности взаимосвязей в природных системах.

Литература.

- Арманд А.Д., Таргульян В.О. Некоторые принципы ограничения эксперимента и моделирования в географии (принцип дополнительности и характерное время). — Изв. АН СССР. Сер. геогр., 1974, № 5.
- Гедьмин А.В., Побединцева И.Г. Влияние длительной распашки на некоторые свойства почв лесостепи. — В кн.: Почвенно-географические и ландшафтно-геохимические исследования. М.: Изд-во МГУ, 1964.
- Глазовская М.А. Технобиогемы — исходные физико-географические объекты ландшафтно-геохимического прогноза. — Вестн. МГУ. Сер. 5, География, 1972, № 6.
- Глазовская М.А. Ландшафтно-геохимические системы и их устойчивость к техногенезу. — В кн.: Биогеохимические циклы в биосфере: Материалы VII пленума СКОПЕ. М.: Наука, 1976.
- Глазовская М.А. Почвенно-геохимическое районирование нечерноземной зоны для целей охраны почв от загрязнений. — Вopr. географии, 1978а, сб. 108. Природопользование: (географические аспекты).
- Глазовская М.А. Принципы классификации почв по их устойчивости к химическому загрязнению. — В кн.: Земельные ресурсы мира, их использование и охрана. М.: Наука, 1978б.
- Глазовская М.А. Ландшафтно-геохимическое районирование нечерноземной зоны по условиям разложения и рассеяния органических загрязняющих веществ. — Вестн. МГУ, Сер. 5, География, 1979а, № 2.
- Глазовская М.А. Способность окружающей среды к самоочищению. — Природа, 1979б, № 3.
- Денисова Т.Б. Влияние на окружающую среду горнодобывающей промышленности. — В кн.: Природные ресурсы Русской равнины в прошлом, настоящем и будущем. М.: Наука, 1976.
- Димо Н.А. Главные типы засоленных почв и грунтов на территории России. — В кн.: Типы засоления почв. Киев, 1960.
- Дончева А.В. Ландшафт в зоне воздействия промышленности. М.: Лесная пром-сть, 1978.
- Дьяконов К.Н. Становление концепции геотехнической системы. — Вopr. географии, 1978, сб. 108. Природопользование: (географические аспекты).
- Казakov Л.К. Реакции природных комплексов лесной зоны Русской равнины на воздействие тепловых электростанций: Автореф. дис. . . канд. геогр. наук, 1979.
- Нефедова В.Б. Устойчивость природной среды с экстремальными условиями к различным видам техногенных воздействий. — Вестн. МГУ. Сер. 5, География, № 4, 1976.
- Никифорова Е.М., Теплицкая Т.А. Техногенные геохимические аномалии тяжелых углеводородов в почвах северо-запада Русской равнины. — Вестн. МГУ. Сер. 5, География, 1979а, № 5.
- Никифорова Е.М., Теплицкая Т.А. Битуминозные вещества и бенз (а) пирен в почвах Валдайской возвышенности. — Почвоведение, 1979б, № 9.
- Николаева Л.П., Солнцева Н.П. Геохимическая совместимость природных и техногенных потоков вещества как критерий географического прогноза. — Вестн. МГУ. Сер. 5, География, 1977, № 3.
- Перельман А.И. Геохимия биосферы и ноосферы. — В кн.: Биогеохимические циклы в биосфере: Материалы VII пленума СКОПЕ. М.: Наука, 1976.
- Побединцева И.Г. Содержание некоторых микроэлементов в целинных и пахотных дерново-подзолистых почвах Смоленской области. — В кн.: География почв и геохимия ландшафтов. М.: Изд-во МГУ, 1967.
- Природа, техника, геотехнические системы/Под ред. В.С. Преображенского. М.: Наука, 1978.
- Ретеюм А.Ю., Дьяконов К.Н., Куницын Л.Ф. Воздействие техники на природу и образование геотехнических систем. — Изв. АН СССР. Сер. геогр., 1972, № 4.
- Ретеюм А.Ю., Куницын Л.Ф. Функции техники в процессе взаимодействия общества и природы. — В кн.: Взаимодействие природы и общества. М.: Знание, 1975.
- Родоман Б.Б. Некоторые пути сохранения биосферы при урбанизации. — Вестн. МГУ. Сер. 5, География, 1971, № 3.
- Рябчиков А.М., Миланова Е.В. Географические аспекты управления природной средой. — В кн.: Природные ресурсы и окружающая среда. М.: МЦНТИ, 1978.

Светлосанов В.А. О стабильности экосистем. — Вестн. МГУ. Сер. 5, География, 1976, № 4.

Светлосанов В.А. Трудности и успехи в исследованиях устойчивости гео- и экосистем. — Вестн. МГУ. Сер. 5, География, 1977, № 4.

Соколов И.А., Таргульян В.О. Взаимодействие почвы и среды: почва-память и почва-момент. — В кн.: Изучение и освоение природной среды. М., 1976.

Солнцева Н.П. О принципах крупномасштабного картографирования территорий, измененных техногенезом. — Вестн. МГУ. Сер. 5, География, 1976, № 4.

Солнцева Н.П. Методика ландшафтно-геохимических исследований влияния техногенных потоков на среду. — В кн.: Техногенные потоки вещества в ландшафтах и состояние экосистем. М.: Наука, 1981.

Солнцева Н.П., Никифорова Е.М. Геохимическая трансформация дерново-подзолистых почв в районах угледобычи. — В кн.: Опыт и методы экологического мониторинга. Пушкино, 1978.

Солнцева Н.П., Николаева Л.П. Возможности применения аэрометодов при анализе техногенных ландшафтов. — В кн.: Почвообразование в техногенных ландшафтах. Новосибирск: Наука, 1979.

N.P. SOLNTSEVA

**Geochemical resistance of natural systems
to the technogenic impact (basic principles,
methods of research, criteria for the forecast)**

The concept of "resistance" is discussed, as well as the basic trends in the research made. The author examines factors regulating the resistance of natural systems to technogenic impacts. A scheme of grouped technogenic factors is cited with regards of their possible destructive activity. There are examples of relatives stability of soil geochemical properties to pollution; rates of possible changes in properties and processes in natural systems are discussed.

The author introduces the principle of compatibility of technogenic impacts and properties of natural systems as a possible criterion of their stability. Three levels of rated environmental impacts are substantiated.

ЧАСТЬ III

Опыт экспериментальных исследований процессов самоочищения почв от техногенных веществ в различных биоклиматических условиях

УДК 622.323:631.4

А.Г. АХМЕДОВ, Н.П. ИЛЬИН, Н.М. ИСМАИЛОВ,
Ю.И. ПИКОВСКИЙ

Особенности деградации тяжелой нефти в светлых серо-коричневых почвах сухих субтропиков Азербайджана

Добыча нефти во все возрастающих количествах приводит к тому, что площадь земель, подвергающихся единовременному или периодическому загрязнению нефтью и нефтепродуктами, постоянно увеличивается. Поэтому актуальным становится изучение характера и скорости деградации нефти и ее компонентов в различных почвенно-климатических зонах в зависимости от факторов внешней среды.

Нефть и нефтепродукты, попавшие в почву, подвергаются интенсивному воздействию внешних агентов, способствующих ее выветриванию, трансформации. В числе наиболее активных агентов можно назвать солнечную радиацию, режимы температуры и влажности, активность биологических (особенно микробиологических) процессов и минеральный состав почв, во многом определяющий условия протекания химических и биологических преобразований нефтяных веществ. В этой связи несомненный интерес представляет экспериментальное исследование влияния конкретных климатических и почвенно-эдафических условий на динамику, способы трансформации нефтяных веществ и возможности восстановления первоначальных свойств почвы после загрязнения. Изучение поставленных вопросов имеет несомненную теоретическую и практическую ценность, так как позволит разработать научные принципы проблем очистки почв от загрязнения нефтью и нефтепродуктами в различных почвенно-климатических зонах страны.

Для решения поставленных задач по инициативе М.А. Глазовской стали проводиться эксперименты в различных природных зонах СССР. В настоящей статье излагаются результаты, полученные при проведении эксперимента, поставленного в зоне сухих субтропиков (Апшеронский полуостров) на светлых серо-коричневых почвах.

Характеристика исследуемого участка

Экспериментальная площадка была заложена в жаркий сухой период (июль) на целинном участке в центральной части Апшеронского полуострова, на пологом склоне, выше действующих нефтяных промыслов и нефтехранилищ. Абсолютная высота исследуемого участка — 85–90 м над уровнем моря.

Район исследования находится в условиях аридного умеренно теплого климата сухих субтропических степей. Среднегодовая температура колеблется от +10 до +14,5°C. Средняя температура января составляет от -1 до +5°C, а средняя температура июля — от +21 до +27°C. Продолжительность солнечного сияния достигает 2450–2460 часов, а суммарная солнечная радиация равна 130–135 ккал/см² в год. Среднемесячная температура почвенного покрова в течение года изменяется от +4°C в январе до +31°C в июле и вновь постепенно уменьшается к зиме. Сумма осадков за год составляет 130–140 мм.

Для режима осадков характерны два максимума: первый приходится на весну (март) — 25 мм, второй — на осень (ноябрь) — 38 мм. В зимний период норма осадков снижается до 22–33 мм. Наиболее засушливым является летний сезон: с мая по сентябрь выпадает всего 50 мм осадков, что ниже величины среднегодовой испаряемости в 6–7 раз. Преобладающие ветры — северные, северо-восточные и южные. Число дней с сильными ветрами (выше 15 м/с) доходит до 40–150 за год. Снежный покров на поверхности почвы держится 4–8 дней в году.

Почвообразующая порода на экспериментальной площадке представлена засоленными глинами, перекрытыми плащом делювиальных отложений с ближайших грязевых вулканов.

Растительность полынно-солянковая и эфемеровая. В составе травянистого покрова преобладают мятлик луковичный (*Poa bulbosa* L.), мотук восточной (*Eremopyrum orientale* (L.) J. et Sp.), костер Дантонии (*Bromus Dantoniae* Trin.), овес волосистый (*Avena pillosa* M.B.). Покров почвы растительностью составляет около 65–80%. Высота растительного покрова, как правило, не превышает 10–15 см.

Почва экспериментальной площади является характерной для зоны сухих субтропических степей и по результатам исследования морфологических свойств относится к светлым серо-коричневым солонцеватым и гипсоносным. Ниже приводим описание морфологического строения почвенного профиля:

- | | |
|---------------|---|
| АО 0–3 см | — коричневатый-серый, мелкокомковатый с заметной слоеватостью в горизонтальном направлении, легкосуглинистый с включением песчаных частиц. Корни растений скрепляют почвы этого подгоризонта в слабую дернину, прочность которой к осени заметно уменьшается, так что горизонт становится рыхлым; переход к горизонту Аса заметный, граница ровная; |
| Аса 3–13 см | — серо-коричневый, сухой, комковатый, легко делится на горизонтальные непрочные пластинки, рыхлый, среднесуглинистый, заметны вертикальные темно-серые потеки, есть включения дресвы, довольно много корней; переход постепенный; |
| АВса 13–23 см | — серовато-коричневый, сухой, плитчато-призматический, среднесуглинистый, плотноватый, заметны коричнево-серые потеки, на границах отдельностей коричневатый-серый налет, выпчеты карбонатов; переход постепенный по структуре; |
| Вса 23–48 см | — желтовато-коричневый с обильной белоглазкой, свежий, призматические отдельности распадаются на ореховатые, тяжелосуглинистый, плотный; переход постепенный по уменьшению количества белоглазки и по появлению гипса; |
| ВСса 48–80 см | — бурый, влажный, белых пятен белоглазки значительно меньше, много мучнистых выделений гипса кремовой окраски, плотный, глыбистый |

Экспериментальная площадка расположена вблизи нефтепромысла одного из месторождений нефти, действующего в течение приблизительно 50 лет, который находится в 200 м ниже по склону. На территории нефтепромысла почвы сильно загрязнены нефтью, попадавшей на поверхность в течение длительного времени при мелких утечках из скважин и сооружений промысла.

Поверхность территории промысла на отдельных участках (где нет сплошного покрытия продуктами разложения нефти и в стороне от путей сообщения) покрыта местами на 90% растительностью, в основном злаковой. Высота растительного покрова 30–50 см.

Почва, сформировавшаяся в таких условиях, определена как лугово-серо-коричневая, пропитанная нефтью. Описание свойств ее профиля следующее:

- | | |
|---------------|--|
| Аса 0–10 см | — темно-серый с коричневым оттенком, сухой, порошистый, заметна горизонтальная слоистость, среднесуглинистый, рыхлый, пронизан корнями, на корнях бусы комочков почвы; переход заметный по увеличению плотности и изменению структуры, граница ровная; |
| АВса 10–28 см | — коричневатый-серый с черными пятнами гуминокеритов, влажноватый, ореховатый, слоистый, легкосуглинистый, плотный; переход постепенный, граница неровная; |
| Вса 28–51 см | — буровато-серый с белесыми пятнами непрочной, мучнистой (землистой) белоглазки, суглинистый с включением песка, встречаются сизые пятна оглеения, темно-серые и черные пятна просочившейся нефти по ходам корней и землероев, комковато-ореховатый, наблюдаются признаки плитчатости; переход постепенный; |
| ВСса 51–85 см | — цвет неоднородный, серовато-сизый со ржавыми пятнами (3–5 см); отчетливо выделяются черные точечные образования; наблюдаются темно-серые потеки и пятна остатков нефти; карбонаты выделяются в форме мучнистых округлых пятен (размывающиеся новообразования белоглазки); встречаются отдельные корни растений, структура неясно выражена, легкий суглинок с включениями песка; переход постепенный; |
| Сса 85–120 см | — светлый сизый с крупными буровато-темно-серыми пятнами остатков нефти и мелкими бурыми пятнами окисных соединений железа, сырой, бесструктурный, супесчаный. |

Загрязненный почвенный профиль отличается по морфологическому строению от профиля незагрязненной почвы следующими признаками.

1. По всей вскрытой почвенной толще (до глубины 120 см) распространены расплывчатые темно-серые или черноватые пятна нефти или продуктов ее разложения (гуминокеритов) с различной интенсивностью пропитки минеральной части органическим веществом.

2. В переходном АВса горизонте наблюдается отчетливо выраженная ореховатая структура, что, по-видимому, обусловлено влиянием органических веществ, имеющих здесь в повышенном количестве. С увеличением глубины структура быстро теряет форму и прочность.

3. Повышенной влажностью нижних горизонтов почвенного профиля и наличием в них непрочной мучнистой белоглазки и отчетливо выраженных признаков оглеения, таких, как сизые и ржавые пятна неправильной формы, черные точечные образования (по-видимому, марганцовистые примазки).

Причиной повышенной влажности почвы на территории нефтепромысла, вероятно, является дополнительное поступление влаги пластовых вод с нефтью из дренажных сетей или при их разливах; явления гидроморфизма, приводящие к олуговению почвы, по-видимому, следует считать вторичными, появившимися после вмешательства человека в их генезис.

Методика исследования

Для исследования была выбрана сырая нефть, обладающая большой плотностью ($0,935 \text{ г/см}^3$) и практически не содержащая фракций, выкипающих до 200°C . После внесения такой нефти на поверхность почвы эффект простого испарения должен быть незначительным. Нефть содержала 11,4% смолистых веществ и 1,84% асфальтенов. В ее групповом углеводородном составе преобладали нафтеновые и ароматические углеводороды.

Нефть была внесена на поверхность целинных участков, имеющих ровную без уклона поверхность. Радиус участка составлял 12 см, площадь — $0,045 \text{ м}^2$; нефть вносилась на каждый участок в объеме 1 л. Таким образом, нагрузка нефти составила 22 л/м^2 . Участки отстояли друг от друга на расстоянии не менее 5 м.

В ходе опыта образцы генетических горизонтов фоновых и контрольных участков почвы одновременно для химических и микробиологических исследований были отобраны через 3, 9, 12 и 15 месяцев после начала опыта. В отобранных образцах были определены численность микрофлоры, ферментативная активность почв — протеолитическая, гидролитическая, уреазная и каталазная, а также состав водной вытяжки, содержание общего азота, CO_2 карбонатов, органического углерода и групповой состав органического вещества. При анализе группового состава битумоиды экстрагировали без нагревания гексаном, а затем хлороформом и рассчитывали их суммарное содержание в почве.

Результаты исследований

Внешним проявлением действия нефти было полное отсутствие вегетирующих растений на обработанных участках в течение периода наблюдений (2 года).

Изучение контрольных и загрязненных образцов нефти показало, что под влиянием внесенной нефти в химическом составе и свойствах загрязненных почв произошли заметные изменения. Прежде всего после внесения нефти прослеживается некоторое увеличение рН водной суспензии. В загрязненных образцах по сравнению с контрольными несколько увеличилось содержание водорастворимых калия и натрия, в некоторых случаях возросло общее содержание водорастворимых веществ, что нашло свое выражение в увеличении сухого остатка. Наблюдаемые изменения, очевидно, обусловлены влиянием не только сырой нефти, но и сопутствующей минерализованной воды. В верхних горизонтах загрязненной почвы снижается содержание угольной кислоты карбонатов. Все отмеченные различия между контрольной и загрязненными почвами постепенно уменьшаются с увеличением сроков инкубации нефти в почве (табл. 1).

Одним из главнейших эффектов внесения нефти в почву является повышение общего содержания органического вещества. Количество органи-

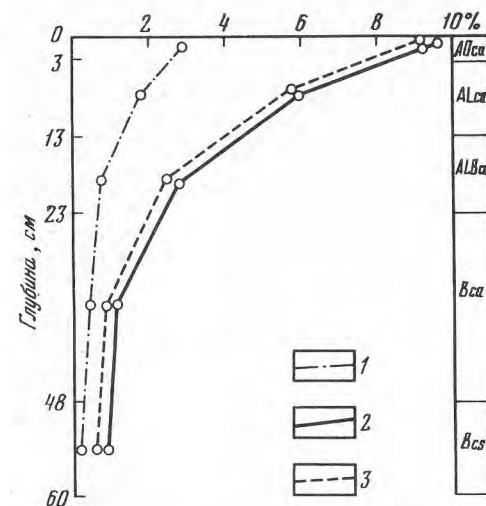


Рис. 1. Изменение содержания углерода в серо-коричневой почве при нефтяном загрязнении

1 — контрольный участок; 2 — через 3 месяца после загрязнения; 3 — через год после загрязнения

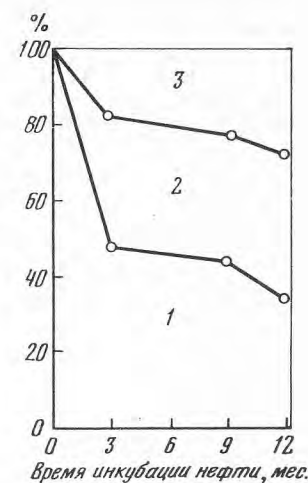


Рис. 2. Динамика соотношения органических продуктов трансформации нефти (% к суммарному содержанию углерода гумуса и нефти)

1 — остаточная нефть; 2 — продукты трансформации нефти; 3 — потери органических веществ в результате испарения и минерализации нефтепродуктов

ческого углерода в гумусовом горизонте загрязненного участка возросло по сравнению с фоном в 3—4 раза (рис. 1). Такое увеличение количества органического углерода в почве вначале неблагоприятно сказывается на ней из-за токсичности углеводородов, но после преобразования нефтепродуктов в процессе выветривания и почвообразования значительное повышенное содержание органических веществ может стать важным фактором, способствующим восстановлению плодородия почвы.

Таблица 1. Изменение содержания карбонатов в светлой серо-коричневой почве Азербайджана под влиянием нефтяного загрязнения, %

Горизонт глубина, см	Время отбора пробы							
	IX 1978 г.		IV 1979 г.		VI 1979 г.		X 1979 г.	
	К	О	К	О	К	О	К	О
АОса 0—3	7,72	5,04	7,92	5,60	7,42	6,29	7,32	6,10
Аса 3—13	9,17	5,22	9,10	7,17	7,90	6,70	8,97	6,40
АВса 13—23	8,90	9,20	11,50	11,07	8,45	8,06	9,10	10,50
Вса 23—48	9,37	9,78	9,13	11,25	9,52	12,66	9,25	11,20
ВСс 48—70	10,00	10,50	9,17	12,65	10,80	9,45	11,30	11,50

Примечание. К — контрольная почва, О — почва, загрязненная нефтью. Время внесения нефти — июнь 1978 г.

Таблица 2. Изменение содержания органических веществ и азота в светлой серо-коричневой почве под влиянием нефтяного загрязнения

Время отбора проб, горизонт, глубина, см	Показатель			
	Сорг, %		Nобщ, %	
	К	О	К	О
IX 1978 г.				
АОса 0-3	1,56	9,94	0,154	0,143
Аса 3-13	0,64	5,23	0,076	0,103
АВса 13-23	0,42	1,04	0,092	0,095
Вса 23-48	0,16	0,89	0,055	0,050
ВСса 48-70	0,20	0,25	0,043	0,045
IV 1979 г.				
АОса 0-3	1,92	8,86	0,156	0,150
Аса 3-13	0,72	5,48	0,099	0,100
АВса 13-23	0,42	1,10	0,082	0,102
Вса 23-48	0,20	0,82	0,050	0,071
ВСса 48-70	0,14	0,20	0,070	0,048
VI 1979 г.				
АОса 0-3	1,65	7,90	0,160	0,190
Аса 3-13	0,56	5,70	0,096	0,120
АВса 13-23	0,48	0,80	0,01	0,098
Вса 23-48	0,22	0,65	0,063	0,070
ВСса 48-70	0,08	0,14	0,046	0,050
X 1979 г.				
АОса 0-3	1,48	6,28	0,169	0,242
Аса 3-13	0,63	5,54	0,097	0,152
АВса 13-23	0,62	0,46	0,095	0,110
Вса 23-48	0,32	0,28	0,054	0,075
ВСса 48-70	0,12	0,10	0,040	0,050

Примечание. К — контрольный образец, О — после внесения нефти.

Показатель					
Сорг / Nобщ		Гексановый битумоид, %		Хлороформный битумоид, %	
К	О	К	О	К	О
10,1	69,7	0,003	5,0	0,02	0,5
8,4	50,7	0,001	4,1	0,01	0,4
4,6	11,0	0,002	0,01	0,001	0,08
2,9	3,2	0,01	0,03	0,008	0,01
4,4	5,6	—	—	—	—
12,3	59,2	0,002	1,6	0,02	1,6
7,3	54,8	0,006	4,0	—	1,5
5,1	10,8	0,005	0,01	0,008	0,15
4,0	11,5	0,003	0,01	0,002	0,1
2,0	4,2	0,002	0,03	0,002	0,05
10,3	41,7	—	2,8	—	2,04
5,8	47,5	0,003	1,8	0,04	1,37
4,8	8,2	0,0005	0,01	0,01	0,1
3,5	9,3	0,003	0,01	0,02	0,1
1,7	2,9	0,0005	0,01	0,01	0,1
8,8	26,0	0,003	0,4	0,05	1,1
6,5	36,4	0,001	0,1	0,08	0,7
6,5	4,9	0,0009	0,005	0,02	0,02
3,8	3,7	0,0001	0,001	0,02	0,02
3,0	2,0	—	—	—	—

полная минерализация идет в два раза медленнее, чем переход нефтяных углеводов в нерастворимые формы органических соединений. Через год инкубации в почве остается менее 30% первоначально внесенной в нее нефти.

Параллельно с уменьшением содержания изменяется и состав остаточной нефти. Прежде всего заметно увеличивается полярность нефтяного вещества в целом. Это отражается на соотношении гексановых и хлороформных битумоидов в загрязненных горизонтах почвы (табл. 2). В гексане растворяется более 98% использованной в эксперименте нефти. Через три месяца отношение гексановых и хлороформных битумоидов было примерно 10:1, через девять месяцев и далее хлороформные битумоиды превышали гексановые уже на два числовых порядка.

В табл. 3 показано изменение состава остаточной нефти во времени (анализы проведены в лаборатории геомикробиологии УНЦ АН СССР под руководством И.Г. Калачниковой). На фоне постепенного уменьшения содержания всех компонентов нефти, находящейся в почве, меняется их соотношение и прежде всего углеводородной и смолисто-асфальтеновой частей. В исходной нефти смолисто-асфальтеновая часть ее составляет менее 14%,

20% полярность = $\frac{C_{\text{ост}}}{C_{\text{исх}}} \cdot 100 = \frac{0,99}{5,56} \cdot 100 = 17,8\%$
 3 мес. минерализация
 3 мес. нег

4,54
 3 мес. минерализация, 0,1-0,2 в составе 90-95% от состава нефти, то же 70,00

Таблица 3. Изменение состава битумоидов в гумусовом горизонте почвенного профиля в зависимости от времени нахождения нефти в светлой серо-коричневой почве

Время отбора пробы	Битумоиды				
	Общее содержание, %	Групповой состав, %			
		метано-нафтенны	нафтенно-ароматические	смолы	асфальтены
Внесено в почву	12,2	7,50	1,84	1,46	0,22
	100	61,3	15,1	12,0	1,8
Через 3 месяца	5,50	3,79	0,47	1,13	0,11
	100	68,9	8,6	20,5	2,0
Через 9 месяцев	3,2	0,93	0,45	1,66	0,16
	100	29,1	14,1	51,8	5,0
Через 15 месяцев	1,5	0,52	0,20	0,68	0,10
	100	34,7	13,3	45,3	6,7

Примечание. В числителе — содержание в почве, в знаменателе — содержание в битумоиде.

тогда как через девять месяцев на эти компоненты приходилось уже более 50% остаточной нефти.

В углеводородной части нефти в 2 раза снижается доля метано-нафтенной фракции, тогда как доля нафтенно-ароматической части остается почти на первоначальном уровне.

Как уже говорилось, значительная часть нефти, внесенной в почву, как бы "гумусируется", т.е. переходит в нерастворимые формы органических соединений. В связи с этим происходят изменения в групповом составе органического вещества загрязненных горизонтов почвы (рис. 3).

Деградация битумоидной части органического вещества почвы, соответствующей остаточной нефти, сопровождается значительным увеличением по отношению к нерастворимому остатку доли гуминовых кислот и фульвокислот. Особенно существенно увеличивается в составе гумуса роль веществ, близких по своим свойствам к фульвокислотам.

В наименьшей степени преобразования затрагивается часть органического вещества, прочно связанного с почвенными минералами, в результате чего абсолютное количество нерастворимого остатка практически не изменяется, а его доля в составе гумуса становится ниже, чем в фоновых образцах.

Обнаруженные изменения дают основание считать, что в условиях сухих субтропиков идет активная трансформация нефти в почве: за год перерабатывается около 30–40% ее первоначального содержания, а свойства нефтяных веществ заметно изменяются, приближаясь к свойствам гумуса, характерного для исследуемой почвы.

Кроме количества и состава органических веществ в загрязненных почвах, по сравнению с фоном изменяются содержание и динамика нитратов. В период инкубации нефти количество нитратов в загрязненной почве заметно снижается по сравнению с фоном (рис. 4). Позднее, в течение первого года, абсолютное содержание нитратов сближается с их содержанием в контрольном опыте и вновь уменьшается на втором году эксперимента.

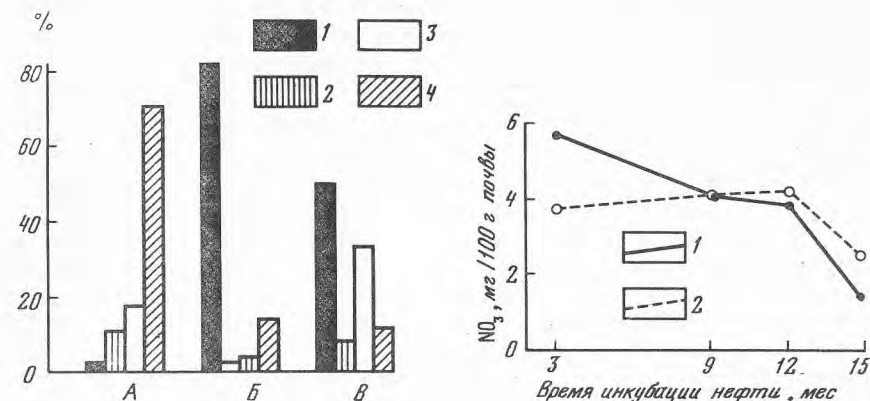


Рис. 3. Изменение группового состава органического вещества серо-коричневой почвы при загрязнении нефтью

A — исходная почва; B — через 3 месяца после внесения нефти; V — через 15 месяцев после внесения нефти. Компоненты: 1 — битумоиды; 2 — гуминовые кислоты; 3 — фульвокислоты; 4 — нерастворимый остаток

Рис. 4. Содержание нитратов в серо-коричневой почве

1 — контрольный участок; 2 — загрязненный участок



Важным фактором развития процессов минерализации, окислительной деструкции и гумификации органических веществ в почве служит бактериальная микрофлора, роль которой в биологическом круговороте веществ общеизвестна. В наших опытах микробиологические исследования показали, что в первый период после одновременного внесения нефти активность почвенной микрофлоры была несколько подавлена (табл. 4). Численность сапрофитной микрофлоры, определенной через три месяца после загрязнения, значительно ниже фоновой. В последующие периоды времени численность и активность представителей почти всех систематических и физиологических групп микроорганизмов, за исключением целлюлолитических, повышается. Необходимо отметить, что несмотря на отсутствие признаков влияния нефти на количество грибной микрофлоры в верхних, пропитанных нефтью почвенных горизонтах, численность дрожжевой микрофлоры в этих горизонтах возрастает, что может указывать на определяющее значение этой группы микроорганизмов в процессах трансформации нефти.

В нижних горизонтах происходит повышение численности грибной микрофлоры, представителей родов *Aspergillus* и *Penicillium*. Из посевов, давших рост на мясопептонном агаре, выделено 48 чистых культур бактерий, исходной средой обитания которых были образцы основных горизонтов почвенного профиля как фоновых, так и загрязненных почв. Изучено отношение микробов выделенных культур к углеводам сырой нефти, к ароматической фракции нефти, состоящей из моноциклических (65%) и бициклических (35%) углеводов, к н-гексадекану, н-ксилолу и нафталину на жидкой и агаризованной минеральных средах.

На жидкой минерализованной среде с нефтью дали рост 43,5% чистых культур, выделенных из образцов фоновой почвы, и 76,0% культур, выделенных из образцов почвы, загрязненной нефтью.

Таблица 4. Изменение численности бактериальной микрофлоры в светлых серо-коричневых почвах под влиянием нефтяного загрязнения

Участок	Горизонт, глубина, см	Общее число бактерий, тыс. в 1 г абс. сухой почвы			
		1	2	3	4
Контрольный	АОса 0-3	750	14660	$14 \cdot 10^8$	632
	Аса 3-13	519	2770	$11 \cdot 10^8$	466
	АВса 13-23	205	419	$8 \cdot 10^8$	256
	Вса 23-48	80	126	$6 \cdot 10^8$	66
Загрязненный	АОса 0-3	326	19417	$18 \cdot 10^8$	$10 \cdot 10^7$
	Аса 3-13	206	3193	$13 \cdot 10^8$	$3 \cdot 10^7$
	АВса 13-23	61	627	$10 \cdot 10^8$	$7 \cdot 10^7$
	Вса 23-48	20	350	$8 \cdot 10^8$	$5 \cdot 10^7$

Примечание. 1, 2, 3, 4 — пробы, взятые соответственно через 3, 9, 12 и 15 месяцев после внесения нефти на поверхность почвы.

Микроорганизмы большей части выделенных культур активно утилизируют гексадекан, некоторые культуры использовали нафталин и нефтяную фракцию углеводов, но ни одна из выделенных культур не ассимилировала ксилит. Во всех случаях среди микроорганизмов, использующих алкановые циклические углеводороды нефти, наиболее активными были штаммы микроорганизмов, выделенные из почв, загрязненных нефтью.

Ферментативная активность почв после внесения нефти заметно снижается и остается ниже фона даже через 12-15 месяцев после начала опыта. Нефть ингибирует протеолитическую, каталазную и гидролитическую активность почв. Исклечение составляет уреазная активность почвы, которая через год инкубации начинает превышать таковую контрольного участка в 2-3 раза.

Увеличение численности почти всех групп микроорганизмов после искусственного внесения нефти, наблюдаемое одновременно с уменьшением содержания самой нефти, позволяет говорить об активном протекании биохимических процессов, направленных на ассимиляцию нефтяных органических веществ и способствующих самовосстановлению загрязненной почвы.

Выводы

Наблюдения, проводившиеся в течение первых 15 месяцев после внесения в серо-коричневую почву тяжелой нефти, показали постепенное снижение содержания последней. Скорость снижения содержания нефти в почве наиболее высокая в весенне-летние периоды, т.е. в периоды максимальной биологической активности почвенной микрофлоры, наиболее высоких температур и солнечной радиации. Эти факторы, по-видимому, играют основную роль в самоочищении почв от нефти.

В первые три месяца микробиологическая активность почв несколько подавлена, поэтому основную роль в трансформации нефти на этом этапе играют физико-химические факторы. За этот период (летние месяцы) полностью минерализовалось около 20% внесенной в почву нефти и более 30% перешло в нерастворимые органические соединения. Оставшиеся в почве нефтяные углеводороды обогатились смолистыми веществами.

Дальнейшая деградация нефти в почве шла в том же направлении, но скорость ее была гораздо ниже, чем в первые три месяца. Через год полной минерализации подверглось всего 27% внесенного углерода, а содержание нефти снизилось на 65% от первоначального веса. Параллельно с уменьшением содержания нефти в почве увеличивается активность микроорганизмов, которая достигает максимума через 15 месяцев после начала опыта. Этот факт позволяет предположить, что микробиологические факторы деградации нефти приобретают ведущую роль в данных условиях после снижения концентрации нефти в почве до определенных пределов.

Общая тенденция процессов трансформации тяжелой нефти в светлой серо-коричневой почве сухих субтропиков заключается в превращении нефтяных углеводородов в нерастворимые в неполярных и малополярных органических растворителях продукты метаболизма. Эти продукты близки по некоторым свойствам к фульвокислотам, от которых их трудно отделить аналитически. Нерастворимые продукты метаболизма нефти остаются в верхнем слое почвы, затрудняя ее аэрацию.

Таким образом, при загрязнении серо-коричневых почв в условиях недостатка влажности процессы полного самоочищения почв существенно затрудняются, особенно при большой нагрузке загрязнителя на почву. Об этом свидетельствует и широкое распространение кировых покровов на Апшеронском полуострове; некоторые из них существуют более ста лет.

A.G. AKHMEDOV, N.P. IL'IN,
N.M. ISMAILOV, YU. I. PIKOVSKY

Degradation of heavy oil in light grey-cinnamonic soils of Azerbaidjan dry subtropics

The authors present experimental results on the rates of oil degradation in the dry subtropics of Azerbaidjan (Apsheiron Peninsula). They describe the soil and climatic features of the experimental plots, methods of their experiments, as well as changes in the chemical, microbiological and bituminological parameters of soils observed 3, 6, 9 and 15 months after they received certain doses of oil. The carbon balance in soil is described in its changes caused by oil degradation in this natural zone.

УДК 631.461:622.323

Н.М. ИСМАИЛОВ

Нефтяное загрязнение и биологическая активность почв

Среди органических веществ, загрязняющих почвенные и водные экосистемы, важное место занимают нефть и продукты ее переработки. Нефтяное загрязнение в любых экосистемах обуславливает долговременный экологический эффект [Baldwin, 1922; Ranwell, 1968; Nemet, Munjko, 1978; Kerr, 1977; Андросон и др., 1980; Мукатанов, Ривкин, 1980].

Освождение почв от нефтепродуктов — процесс биогеохимический, при этом определяющую роль играет деятельность почвенной микрофлоры. Обмен веществ и энергии в почве в немалой степени осуществляется фер-

ментами. В литературе отсутствуют сведения о влиянии отдельных компонентов нефти на биологическую активность почв. В связи с этим большой интерес представляет изучение характера влияния нефтяного загрязнения на биодинамику почв.

Поверхность серо-коричневой почвы (Апшеронский полуостров) в июле 1978 г. была залита сырой нефтью одного из месторождений из расчета 200 т/га. Наблюдение за почвами с внесенной в них нефтью проводили в течение более двух лет. Образцы почв для анализа отбирали на третий день и через 3, 9, 12, 15 и 22 месяца после загрязнения — в весенний, летний и осенний периоды. Одновременно отбирали и анализировали почвы с незагрязненных участков. Пробы брали из четырех горизонтов почвенного профиля: 0–3, 3–13, 13–23, 23–48 см. В них определяли численный состав микрофлоры, способность ее разлагать нефть и углеводороды нефти, активность ряда почвенных ферментов. Анализ микрофлоры почв осуществляли по общепринятой методике [Практикум по микробиологии, 1976]. Ферменты почв определяли методами, описанными в руководстве [Хазиев, 1976]. Продуцирование CO_2 почвой изучали по методике [Галстян, 1974]. Для исследования способности выделенных микроорганизмов утилизировать нефть и углеводороды использовали агаризованную и жидкую минеральные среды. Нефтяные смолы и ароматическую фракцию выделяли из нефти адсорбционным методом в колонках с окисью алюминия.

Добавление нефти в почву в 3–4 раза увеличивало содержание в ней углерода, обуславливало экологическую сукцессию.

В результате добавления нефти в почву отмечалась гибель растительности, представленной преимущественно злаками (*Poa bulbosa*); фитотоксичность загрязненной почвы по отношению к высшим растениям была продолжительной и проявлялась в течение всего периода наблюдений.

В первый период после загрязнения нефтью численность микрофлоры несколько снижается и обедняется видовой состав по сравнению с незагрязненными почвами. Этот период необходим почвенному биоценозу для адаптации к изменившимся физико-химическим условиям среды, перестройки своей структуры. Затем численность и активность почти всех систематических и физиологических групп микроорганизмов повышается, за исключением целлюлозоразлагающих и нитрификаторов (рис. 1). Нефтяное загрязнение обуславливает депрессию нитрификационного процесса. Развитию в почве денитрификационных процессов при нефтяном загрязнении способствуют избыток органических соединений, слабощелочная реакция среды, вероятность создания анаэробных микрозон в почвенных частицах, пропитанных нефтью.

Согласно средним данным, в составе микробных ассоциаций незначительно преобладают бактерии. Свыше 40% от общего количества микроорганизмов составляют актиномицеты и очень незначительную долю — грибы (0,1–0,2%). В почве, загрязненной нефтью, активно протекают процессы минерализации, что косвенно подтверждается значительным преобладанием численности бактерий, использующих минеральные формы азота, над численностью бактерий, утилизирующих органический азот.

В горизонте А, наиболее пропитанном нефтью, повышается численность дрожжевой микрофлоры, что при известной способности дрожжей рода *Candida* и *Torulopsis* окислять углеводороды нефти [Градова и др., 1971;

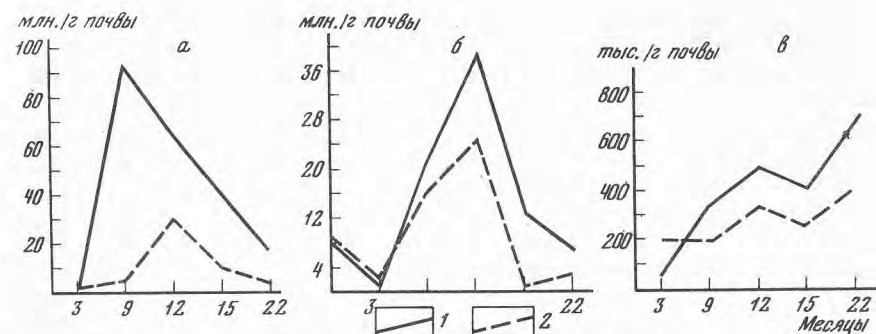


Рис. 1. Динамика численности микроорганизмов в почвах
а — бактерии и актиномицеты; б — бактерии; в — спорообразующие микроорганизмы; 1 — контрольная почва; 2 — загрязненная почва

Исмаилов и др., 1976; Исмаилов, Абдуллаева, 1980] указывает на определенную роль этой группы микроорганизмов в деградации нефти в почвенных экосистемах.

Активность почвенной микрофлоры возрастает не только в горизонте А, непосредственно пропитанном нефтью, но и в нижележащих горизонтах. Повышение активности микроорганизмов в этих горизонтах может быть связано с продуктами метаболизма нефти, поступающими в нижние горизонты с почвенным раствором.

Жизненно важным процессом почвы, характеризующим ее биологическую активность, является дыхание. По интенсивности дыхания почвы можно судить об интенсивности процесса биodeградации нефти.

Исследования показали, что процесс дыхания почв чутко реагирует на нефтяное загрязнение и коррелирует с численностью микрофлоры. Сначала нефтяное загрязнение, вызывая снижение численности микрофлоры, не влияет на интенсивность дыхания или несколько снижает его, затем, с увеличением численности микроорганизмов, интенсивность дыхания возрастает, что косвенно свидетельствует об интенсивности процессов биodeградации нефтяных углеводородов почвенным микробиоценозом (табл. 1).

Увеличение интенсивности дыхания с повышением численности микроорганизмов в почве четко прослеживается в модельных опытах. В свежую садовую почву, отсеянную через сито, добавляли суспензию двухсуточной культуры дрожжей *Candida guilliermondii*, выращенной на сусло-агаре и омытой три раза в фосфатном буфере с pH 6,8. Одновременно в почву добавляли сырую нефть и ароматическую фракцию (1% от веса почвы).

Добавление нефти и отдельно ее ароматической фракции не вызывало заметного увеличения интенсивности дыхания, в то время как при добавлении суспензии микроорганизмов она заметно увеличивается (рис. 2), что может свидетельствовать о направленности и интенсивности процессов биodeградации нефтяных углеводородов в почве.

Увеличение интенсивности дыхания и связанная с ним интенсивность процесса биodeградации имеют свой предел, обусловленный возможной предельной нагрузкой экосистемы, уровнем загрязнения. Так, при одновременном добавлении в почву суспензии микроорганизмов и различных

Таблица 1. Влияние нефтяного загрязнения на дыхание почв (через 22 месяца после загрязнения)

Почва	Горизонт, см	CO ₂ , мг/100 г почвы за 24 часа
Незагрязненная	0-3	72,3
	3-13	74,8
Загрязненная	0-3	121,8
	3-13	99,0

концентраций ароматической фракции было выявлено, что при концентрации углеводородов в почве более 1% от веса почвы интенсивность дыхания снижается (рис. 3). Сходные результаты были получены и в полевых условиях при искусственном загрязнении почвы различными концентрациями нефти [Алиев, Гаджиев, 1977].

По интенсивности ферментативных процессов загрязненные и незагрязненные почвы сильно различаются. Ингибируя гидролазы, протеазы и дегидрогеназы почв, нефтяное загрязнение несколько повышает уреазную и каталазную активность (табл. 2).

Повышение каталазной активности почв можно объяснить увеличением численности микрофлоры, особенно углеводородоокисляющих микроорганизмов, и повышением уровня окислительно-восстановительных реакций биодegradации нефтяных углеводородов.

При высоком уровне загрязнения в почве создаются условия анаэробии, численность микрофлоры и каталазная активность почв снижается [Алиев, Гаджиев, 1977].

В почве активно действуют дегидрогеназы [Галстян, 1974], а наиболее активно — глюкозодегидрогеназы. Нефтяные углеводороды ингибируют дегидрогеназу почв. Даже к 22-му месяцу после начала эксперимента, когда более 60% нефти было подвергнуто биодegradации, активность этого фермента не восстанавливалась.

Таблица 2. Влияние нефтяного загрязнения на активность почвенных ферментов

Вариант	Горизонт, см	Активность ферментов почв					
		Уреаза в 100 г почвы			Каталаза, мл 0,1-н KMnO ₄		
		12	15	22	12	15	22
А	0-3	2,8	5,5	1,36	0,07	0,07	0,4
	3-13	0,8	0,2	1,66	0,07	0,07	0,4
	13-23	0,6	1,3	0,8	0,06	0,05	0,3
	23-48	0,6	1,4	0,2	0,06	0,05	0,3
Б	0-3	4,4	5,5	3,3	0,2	0,3	0,3
	3-13	1,7	3,0	1,4	0,1	0,35	0,26
	13-23	1,9	3,6	0,36	0,08	0,07	0,35
	23-48	1,6	1,6	0,28	0,07	0,03	0,35

Примечание. А — почва не загрязненная; Б — почва загрязненная. 12, 15, 22 — время (месяцы), прошедшие после загрязнения.

Инвертаза свойственна всем почвам и является одним из важных ферментов, характеризующих биологическую активность почв. Снижение активности инвертазы в загрязненных почвах может быть связано с низкой активностью целлюлозоразлагающих микроорганизмов и соответственно меньшим содержанием в почве дисахаридов.

Как отмечает Н.Д. Звягинцев [1973], в разложении белковых соединений в почве главную роль играют экзоферменты. Судя по активности фермента протеазы, связанного с циклом азота, можно было бы прийти к заключению, что активность процесса аммонификации в загрязненных почвах идет с торможением. Однако ингибирование нефтяными углеводородами активности почвенных протеаз компенсируется увеличением численности аммонифицирующих микроорганизмов, и следовательно, увеличением выделения ими протеаз в почвенную среду. Кроме того, стимулируется активность фермента уреазы.

Анализ полученных данных позволяет заключить, что изученные показатели биологической активности загрязненных почв изменились в течение периода наблюдений. Это особенно характерно для каталазной, протеолитической, гидролитической и дегидрогеназной активности. Так, уровень гидролазной активности загрязненных почв повышается в процессе самоочищения почв от нефти.

Выше уже указывалось, что в первый период после внесения нефти в почву численность микрофлоры несколько снижается и обуславливает сукцессию микробиоценоза.

Как известно, состав нефти довольно сложен. Основными классами углеводородов, входящих в его состав, являются парафиновые, циклопарафиновые и ароматические углеводороды. Количественные и качественные соотношения этих классов различны в зависимости от условий образования. Мы попытались выяснить, какие из указанных групп нефтяных углеводородов в наибольшей степени влияют на биологическую активность почв. Садовая почва обрабатывалась нефтью, н-гексадеканом, циклогексаном, ароматическими углеводородами и смолами. Ответной реакцией почвы на добавление нефти было торможение основных биологических процессов,

Активность ферментов почв						
Инвертаза, мг глюкозы на 1 г почвы			Протеаза, ед. оптической плотности			
12	15	22	12	15	22	
122	122	122	0,25	0,38	0,36	
38	70	89	0,17	0,13	0,25	
14	47	46	0,13	0,08	0,2	
8	16	36	0,12	0,08	0,2	
26	72	89	0,16	0,14	0,2	
17	35	42	0,11	0,13	0,18	
12	43	43	0,11	0,12	0,17	
7	24	36	0,10	0,08	0,17	

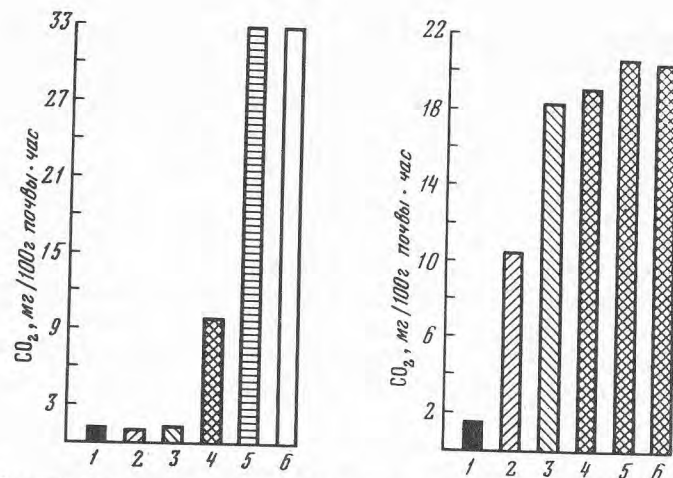


Рис. 2. Влияние инокуляции почв нефтью, ароматической фракцией и дрожжами на интенсивность дыхания

1 — контрольная почва; 2 — почва и нефть; 3 — почва и ароматические углеводороды; 4 — почва и дрожжи; 5 — почва, дрожжи и нефть; 6 — почва, дрожжи и ароматические углеводороды

Рис. 3. Влияние инокуляции почв дрожжами и ароматическими углеводородами разной концентрации (1–4% от веса почвы) на интенсивность дыхания

1 — почва, 2 — почва и дрожжи; 3–6 — почва, дрожжи и ароматические углеводороды; концентрации ароматических углеводородов: 3 — 1%; 4 — 2%; 5 — 3%; 6 — 4%.

связанных с функциональной активностью почвенных ферментов (табл. 3). Однако влияние различных компонентов нефти на почвенные ферменты и процесс дыхания почв было неодинаково. В наибольшей степени ингибирующим эффектом на биологическую активность почв обладают ароматические компоненты нефти; н-гексадекан и циклогексан повышали каталазную активность почв и значительно ингибировали гидролизную активность. На модельных опытах было показано, что компонентами нефти, стимулирующими уреазную активность загрязненных почв, являются, вероятно, парафиновые углеводороды. Эти же компоненты нефти стимули-

Таблица 3. Влияние нефтяных углеводородов на ферментативную активность и дыхание почв

Варианты опыта	Активность ферментов почв				
	Каталаза	Инвертаза	Уреаза	Дегидрогеназа	Дыхание
Почва	0,69	28	1,8	9,0	62
Почва + нефть	0,64	17	2,9	9,5	25
Почва + н-гексадекан	0,70	10	2,6	11,8	51
Почва + циклогексан	0,71	19	1,8	7,2	62
Почва + ароматические углеводороды	0,66	9	1,6	5,0	31
Почва + смолы	0,68	—	—	6,8	79

ровали активность дегидрогеназы почв. В свете положительного эффекта самой нефти и н-парафинов на активность дегидрогеназы почв (см. табл. 3) ингибирование этого фермента в загрязненных нефтью почвах было обусловлено продуктами окисления нефти ароматического характера; продукты окисления парафиновых углеводородов не влияли на активность.

Источником почвенных ферментов являются микроорганизмы, растения и фауна почв. Как показали наши наблюдения, а также исследования, проведенные другими авторами, нефтяное загрязнение губительно действует на флору и фауну [Мукатанов, Ривкин, 1980; Андресон и др., 1980; Молодова, 1980]. Снижение активности ряда почвенных ферментов под влиянием нефтяного загрязнения может быть обусловлено как гибелью почвенной флоры и фауны — важных источников почвенных ферментов, так и химическими факторами — влиянием нефтяных углеводородов, при этом эффект ингибирования могут вызывать наряду с исходными углеводородами также и продукты их окисления.

Заключение

Все процессы в почве, в том числе микробиологические и ферментативные, взаимосвязаны, взаимообусловлены и тесно скоординированы таким образом, чтобы обеспечить жизнедеятельность экосистемы, находящейся в равновесном состоянии [Галстян, 1974; Никитин, Никитина, 1978; Одум, 1975]. Поступление нефти в почву обуславливает экологическую сукцессию — репрессию функциональной активности флоры и фауны, приводит в движение все компоненты микробного сообщества, находящегося в состоянии гомеостаза; изменяются структура почвенного микробиоценоза, жесткость его строения, характер трофических связей, активность биоценоза, направленность и скорость биохимических реакций. Под влиянием нефтяного загрязнения в почве прежде всего резко увеличивается валовая численность микроорганизмов. Нарушение структуры микробных компонентов почвенных экосистем проявляется не только в увеличении численности микроорганизмов и в обеднении видового разнообразия, но и в развитии "специализированных" эколого-трофических групп микроорганизмов, участвующих на разных этапах в утилизации добавочной энергии, поступившей в почву в виде нефтяных углеводородов. Это наиболее четко проявляется в увеличении популяций углеводородоксилирующих микроорганизмов. Только 46% бактерий, выделенных из незагрязненных участков, были способны утилизировать нефть, в то время как более 76% из общего числа бактерий, выделенных из загрязненных участков, были способны расти в среде с нефтью и нефтяными углеводородами.

Заметно увеличивается численность физиологических групп микроорганизмов, участвующих на отдельных этапах круговорота азота. Важной тенденцией в развитии сукцессии является замыкание, или "уплотнение", биогеохимического круговорота азота. В результате бурного развития почвенной микрофлоры происходит усиленная иммобилизация минерального азота, недостаток которого в почве может лимитировать процесс биодegradации при избытке органического углерода.

В почве при нефтяном загрязнении вырабатывается своеобразный "ком-

пенсационный" механизм ауторегуляции биохимических процессов. Так, снижение активности почвенных протеаз компенсируется увеличением численности аммонифицирующих организмов, увеличение соотношения C : N в почве — круговоротом азота по короткозамкнутому циклу.

Большинство почвенных ферментов реагирует на нефтяное загрязнение снижением своей активности; нарушается корреляция между активностью почвенных ферментов и дыханием почв. Вероятно, роль почвенных ферментов в процессах, непосредственно связанных с биodeградацией углеводов, незначительна. Решающее значение в этих процессах имеют микроорганизмы, осуществляющие внутриклеточное окисление углеводов. Важное значение имеет нормальное функционирование почвенных ферментов как биосистемы, обеспечивающей круговорот биогенных элементов на уровне, необходимом для жизнедеятельности почвенного микробиоценоза. Поэтому все возможные пути активного вмешательства человека в управление процессами биodeградации нефтяных загрязнений в почве должны быть направлены прежде всего на активизацию микробных сообществ, создание оптимальных условий их функционирования.

Литература

- Алиев С.А., Гаджиев Д.А. Влияние загрязнения нефтяным органическим веществом на активность биологических процессов почв. — Изв. АН АЗССР. Сер. биол., 1977, № 2, с. 46–49.
- Андресон Р.К., Мукатанов А.Х., Бойко Т.Ф. Экологические последствия загрязнения почв нефтью. — Экология, 1980, № 6, с. 16–25.
- Галстян А.Ш. Ферментативная активность почв Армении. Ереван, 1974. 276 с.
- Градова Н.Б., Диканская Э.М., Михалева В.В. Использование углеводов дрожжами. М., 1971. 120 с.
- Звягинцев Н.Д. Взаимодействия микроорганизмов с твердыми поверхностями. М.: Изд-во МГУ, 1973. 176 с.
- Исмаилов Н.М., Абдулаева Э.М. Пути окисления толуола дрожжами *C. guilliermondii*. — Докл. АН АЗССР, 1980, № 5, с. 72–75.
- Исмаилов Н.М., Ганбаров Х.Г., Абдулаева Э.М., Мехтиева Н.А. Окисление низкомолекулярных ароматических углеводов дрожжеподобными грибами рода *Candida*. — Изв. АН АЗССР. Сер. биол., 1976, № 4, с. 73–78.
- Молодова Л.П. Особенности распределения почвенной мезофауны вблизи нефтяной скважины. — Экология, 1980, № 3, с. 89–91.
- Мукатанов А.Х., Ривкин П.Р. Влияние нефти на свойства почв. — Нефт. хоз-во, 1980, № 4, с. 53–54.
- Никитин Д.И., Никитина Э.С. Процессы самоочищения окружающей среды и паразиты бактерий. М.: 1978. 205 с.
- Одум Ю. Основы экологии. М.: Мир, 1975. 168 с.
- Практикум по микробиологии/Под ред. Н.С. Егоровой. М.: Изд-во МГУ, 1976. 306 с.
- Хазиев Ф.Х. Ферментативная активность почв: (Метод. пособие). М., 1976. 179 с.
- Baldwin I.L. Modification of the soil flora induced by applications of crude petroleum. — Soil Sci., 1922, N 44, p. 465–475.
- Kerr R. Oil in the ocean; circumstances control its impact. — Science, 1977, N 198, p. 1134–1136.
- Nemet Z., Munjko I. Utjecaj nekih smjesa petrokemijskih proizvoda na mikrofloru tla. — Hem. ind., 1978, vol. 32, N 1, p. 36–46.
- Ranwell D.S. Extent of damage to coastal habitats due to the "Torrey Canyon" incident 1968. — "Fld. Studies", 2 (suppl.), p. 39–47.

N.M. ISMAILOV

Oil pollution and soil biological activity.

Under study was the effect of oil pollution on soil microflora and enzymic activity. Oil pollution enhances the total number of microorganisms, including the hydrocarbon-oxidizing ones. It boosts the activity of physiological groups of microorganisms taking part in the nitrogen cycle which now follows a closer circuit. Oil pollution determines the development of "compensation" mechanisms of autoregulating biochemical processes. When oil polluted, most of soil enzymes decrease their activity, which gets worse correlated with soil respiration. Soil enzymes do not affect much the processes of direct oxidation of oil hydrocarbons. These processes are chiefly ruled by microorganisms which are responsible for the intracellular hydrocarbon oxidation.

УДК 631.461:622.323

С.М. САМОСОВА, Г.П. КУРБСКИЙ, Г.М. УСАЧЕВА,
Т.С. ГУБАЙДУЛЛИНА, В.И. ФИЛЬЧЕНКОВА, В.В. АБУШАЕВА

Изменение микрофлоры и состава нефти в черноземной почве Татарии в первый период после загрязнения

Бурный рост добычи нефти сопровождается загрязнением территорий, прилегающих к нефтяным скважинам и нефтепроводам, поэтому весьма важной задачей является изучение экологических последствий загрязнения почв нефтью и приемов их восстановления. Особое значение приобретает вопрос о характере изменения химического состава нефти под влиянием атмосферных и биологических факторов для изучения самоочищения почвы от нефтяного загрязнения.

Почва — одна из систем, где накопление загрязняющих веществ техногенного происхождения может достигать больших размеров, что приводит к нарушению в функционировании экосистем. Для разработки мероприятий по восстановлению нарушенных почв необходимы диагностика изменений в экологической обстановке почв и изучение механизмов и скорости деградации загрязняющих веществ. Условия, скорость самоочищения и опасность загрязнения окружающей среды в разных почвенно-климатических зонах различны [Глазовская, 1979].

Настоящая статья является одной из первых комплексных работ, проводимых биологами и нефтяниками на территории одного из нефтедобывающих районов страны — Татарской АССР. Она посвящена изучению изменения химического состава нефти под воздействием природных факторов и влияния нефтяного загрязнения на биологическую активность почвы.

Г.К. Скрыбин и Л.А. Головлева [1976] считают, что специфика углеводов — их предельная восстановленность и гидрофобность — имеет большое значение для химизма микробиологического окисления этих соединений. В настоящее время имеется обширная литература относительно обильного накопления микрофлоры вблизи нефтяных скважин, мест хранения и потребления нефти [Кузнецов, 1957, 1967; Розанова, Кузнецов, 1974; Нельсон-Смит, 1977; и др.]. Причиной этого является способность

микроорганизмов использовать углеводороды нефти в качестве единственного источника углерода и энергии [Söhrngen, 1913; Таусон, 1934, 1950; Zobel, 1946; Ворошилова, Дианова, 1952; и др.]. Ряд авторов в своих сводках приводят материал о видовом составе микрофлоры, использующей углеводороды [Розанова, Кузнецов, 1974; Ворошилова, Дианова, 1952; Позмогова, 1968; Розанова, 1967; Foster, 1962; Fuhs, 1961].

Д.Д. Уолкер и др. [Walker et al., 1976], исследуя скорость расщепления отдельных компонентов сырой луизианской нефти при воздействии на нее смешанной микрофлоры из донных отложений зал. Чезапик, выявили, что биологическое расщепление нефти является динамическим процессом, в котором отдельные компоненты хотя и расщепляются одновременно, но с различными скоростями. Скорость и глубина разложения нефти зависят от состава нефти, активности микроорганизмов и экологических условий.

Объект и методика исследований

Объектом исследований служили нефть Ромашкинского месторождения и пахотная почва — чернозем, загрязненная нефтью весной 1977 г. Степень загрязнения — 7,8%. Нефть сосредоточивалась в основном в поверхностном слое и подвергалась действию микробиологических и атмосферных факторов. Загрязнению подвергалось поле ржи, и в зоне интенсивного загрязнения растительность полностью отсутствовала.

Почва опытного участка — мощный тяжелосуглинистый чернозем. В загрязненной и контрольной почвах учитывалось развитие различных систематических и физиологических групп микроорганизмов путем посева почвенной суспензии на соответствующие питательные среды общепринятыми методами; токсичность почвы оценивали по А.М. Гродзинскому [1965]. Как показатель общей биологической активности почвы определялась ее ферментативная активность. Активность уреазы и дегидрогеназы учитывались по А.Ш. Галстяну [1972], протеазы — по Ф.Х. Хазиеву [Хазиев, Агафарова, 1975].

Анализировались как исходная нефть, так и нефть, извлеченная из почвы через 4 месяца после загрязнения. Экстракция проводилась бензолом на укрупненной экстракционной установке непрерывного действия. После отгона бензола при стоянии продукт разделился на жидкую подвижную и полутвердую неподвижную части, которые исследовались отдельно. В исходной нефти, жидком и полутвердом продуктах экстракции определяли некоторые физико-химические свойства (плотность, вязкость, содержание серы), компонентный состав и содержание ванадиевых и никелевых порфиринов, групповой углеводородный состав, физико-химические свойства и структурно-групповой состав парафино-циклопарафиновых (ПЦП) углеводородов (УВ) средних фракций и остатка выше 350°C (методом $n - d - M$).

Парафино-циклопарафиновые УВ изучали методом газо-жидкостной хроматографии (ГХ) на хроматографе "Цвет-2" с пламенно-ионизационным детектором в условиях программирования температуры от 50 до 300°C со скоростью 2°/мин (капиллярная колонка $l = 50$ м, $d = 0,25$ мм, 236

Апиезон L). Содержание исследуемых УВ рассчитывали по площадям и высотам пиков, но ввиду близких полученных значений приводятся данные, определенные по высотам пиков.

В выделенных из исходной нефти и из жидкой и полутвердой частей продуктов экстракции асфальтенов определяли плотность, молекулярный вес, элементарный состав, коэффициент взаимодействия с эталонными веществами методом обращенной газовой хроматографии (ОГХ) [22] и концентрацию парамагнитных центров (КПМЦ) методом ЭПР — спектроскопии.

Результаты исследований

Результаты микробиологических исследований приведены в табл. 1. Ее данные свидетельствуют о значительном повышении численности микроорганизмов в почве при свежем нефтяном загрязнении. Повышение численности большинства групп микроорганизмов обусловлено попаданием в почву свежего органического материала в виде погибших в результате загрязнения корней и надземной массы растений, животных и микроорганизмов, а также с нефтью. Однако это повышение для некоторых групп микроорганизмов было кратковременным. Доминирующими в загрязненной почве были бактерии, растущие на среде Мюнца с нефтью, т.е. бактерии, исполь-

Таблица 1. Влияние свежего нефтяного загрязнения на биологическую активность чернозема (первая половина марта 1977 г.)

	15.V 1977 г.	6.VII 1977 г.
Бактерии, усваивающие органический азот	903,6	1841,1
	324,9	409,1
Бактерии, усваивающие минеральный азот	1806,8	1762,1
	427,4	1020,5
Бактерии, растущие на среде Мюнца с нефтью	49096,8	19503,9
	19100,5	7162,7
Актиномицеты	1501,4	387,3
	462,0	379,6
Грибы	38,6	32,30
	8,6	12,6
Целлюлозоразлагающие микроорганизмы	91,3	386,0
	80,8	106,9
Сумма микроорганизмов	53438,5	23921,2
	20404,1	9091,4
Активность протеазы, мг тирозина на 1 г почвы за 24 ч	0,195	0,164
	0,244	0,240
Активность уреазы, мг NH_3 на 1 г почвы за 24 ч	2,26	2,02
	0,94	0,99
Активность дегидрогеназы, мг формазана на 1 г почвы за 24 ч	3,02	3,11
	5,84	3,59

Примечание. В числителе — количество микроорганизмов в загрязненной почве, в тыс. на 1 г абс. сухой почвы; в знаменателе — количество микроорганизмов в чистой почве.

Таблица 2. Использование бактериями индивидуальных углеводородов и некоторых нефтепродуктов (% от общего количества испытанных штаммов)

Интенсивность роста	н-парафиновые углеводороды							
	C ₆	C ₈	C ₉	C ₁₀	C ₁₁	C ₁₂	C ₁₄	C ₁₆
+++	3,1	4,3	3,9	12,3	10,5	30,6	35,8	30,2
++	4,7	4,3	5,4	6,0	21,8	13,8	16,6	16,3
+	71,9	60,0	58,9	58,0	46,6	29,2	26,6	37,0
—	20,3	31,3	31,8	32,8	21,0	26,3	21,0	16,5
Всего штаммов, %	100	100	100	100	100	100	100	100

Примечание. +++ интенсивный рост; ++ средний рост; + слабый рост; — отсутствие роста.

зующие углеводороды нефти в качестве источника углеродного питания и энергии. В табл. 2 приведены полученные нами данные, показывающие способность бактерий, выделенных из загрязненных почв, использовать некоторые индивидуальные углеводороды и нефтепродукты. Цифры показывают, что бактериями лучше всего используются нормальные парафины. Большинство микроорганизмов лучше усваивался тетрадекан, затем гексадекан, додекан и парафиновое масло, слабо — циклические и ароматические УВ (на них хорошо росли всего 2—3% испытанных штаммов бактерий). По мере укорачивания углеводородной цепи способность к разложению УВ микроорганизмами снижалась. Нонан, октан, гексан и декан хорошо использовались лишь небольшим числом микроорганизмов.

Почвенные микроорганизмы участвуют в превращении как природных органических соединений, так и загрязняющих веществ техногенного происхождения. Несмотря на высокую общую биогенность загрязненной почвы, в ней резко подавлены процессы биохимического превращения органических веществ (см. табл. 1). Активность фермента протеазы понижалась от 20 до 32%, дегидрогенезы — от 14 до 48%. Повышалась лишь активность уреазы, разлагающей мочевину. Это объясняется, по-видимому, специфичностью взаимоотношений мочевины с парафинами, привлекающими микрофлору, большая часть которой способна продуцировать уреазу.

Подавление биохимической активности почвы, загрязненной нефтью, объясняется нарушением ее водно-физических свойств и высокой токсич-

Таблица 3. Влияние нефтяного загрязнения на токсичность почвы

Объект исследования	Слой почвы, см	Токсичность в условных кумариновых единицах (УКЕ)	
		15.V 1977 г.	6.VII 1977 г.
Почва, загрязненная нефтью	0—10	33,4	75,5
	10—20	12,2	29,0
Контрольная почва	0—10	6,3	10,8
	10—20	6,3	9,5

Циклогексан	Декалин	Ксилол	Толуол	Бензол	Парафиновое масло	Вазелиновое масло
3,2	0	0	3,3	2,0	33,1	0
8,9	4,1	6,4	8,3	16,0	20,6	5,8
60,1	54,6	52,0	46,2	45,3	25,0	46,7
35,8	41,3	41,6	42,2	36,7	21,3	47,5
100	100	100	100	100	100	100

ностью (табл. 3). Данные таблицы показывают, что токсичность была особенно высокой в верхнем слое почвы, где сосредоточено основное количество загрязняющего агента.

Результаты химического анализа исходной и экстрагированной из почвы нефти приведены в табл. 4—8. Из данных табл. 4 следует, что в жидкой части экстракта наблюдается резкое увеличение плотности и вязкости, исчезли легкие фракции и относительно возросло содержание масляных фракций по сравнению с исходной нефтью. По содержанию фракции НК—350°С в обоих продуктах легко подсчитать, что потери за счет испарения легких фракций составили 13,6%.

Расчет средневзвешенных значений для продуктов экстракции дает следующие величины: серы — 2,6%, асфальтенов — 10%, порфиринов — 28,4%. Отсюда можно сделать вывод, что увеличение содержания серы лишь кажущееся и связано потерей практически не содержащих ее легких фракций. При обратном пересчете полученного средневзвешенного содержания серы (2,6%) в остатке от испарения (86,4% от исходной нефти) на 100% получается исходное содержание серы (2,25%).

Подобный же расчет для асфальтенов показывает, что их содержание увеличилось почти в два раза (при потере 13,6% легких фракций содержание асфальтенов должно было возрасти лишь до 5,7%).

Содержание смол тоже увеличилось. Содержание ванадиевых порфиринов заметно уменьшилось, а никелевые порфирины полностью исчезли. Это объясняется большой чувствительностью порфиринов к процессам окисления [Ходжсон и др., 1970].

Некоторое увеличение соотношений между ПЦП и ароматическими углеводородами во фракции 150—350°С и в остатке (табл. 5, 8) объясняется относительным накоплением насыщенных углеводородов по сравнению с ароматическими УВ, так как убыль насыщенных за счет использования их бактериями меньше, чем убыль ароматических УВ в процессе частичного перехода их в смолы и асфальтены при окислении. Это иллюстрируется увеличением содержания ПЦП и падением содержания ароматических УВ фракции 150—350°С и остатка в жидкой части продукта экстракции по сравнению с исходной нефтью.

Таблица 4. Характеристика исходной нефти и продукта, экстрагированного из почв, загрязненных нефтью

Продукт	Содержание, % на почву	Содержание, % на нефть	σ_4^{20}	ν^{20}	Содержание, %	
					серы	масел
Исходная нефть	7,8	100	0,8997	75; 20	2,25	38,0
Жидкая часть продукта		80	0,9360	125,4	2,27	46,5
Полутвердая часть продукта		20	—	—	3,79	—
Средневзвешенные значения для продуктов экстракции		—	—	—	2,61	—

Таблица 5. Групповой углеводородный состав фракции 150–350°С и остатка выше 350°С и характеристика их ПЦП УВ из исходной нефти и жидкой части продуктов экстракции

Продукт	Фракция 150–350°С					
	Содержание, % на продукт	Групповой УВ состав, %		Характеристика ПЦП УВ		
		ПЦП	Ар	% $C_{\text{П}}$	$K_{\text{ЦП}}$	$C_{\text{П}}/C_{\text{КОЛ}}$
Исходная нефть	36,1	72,2	27,8	74,7	0,71	2,94
Жидкая часть продукта экстракции	22,5	73,1	26,9	73,0	0,82	2,70

Таблица 6. Распределение н-парафиновых УВ во фракции 150–350°С исходной нефти и продуктах экстракции из почвы

Продукт	Число атомов углерода н-парафиновых УВ, отн. %					
	C_{10}	C_{11}	C_{12}	C_{13}	C_{14}	C_{15}
Исходная нефть	4,1	6,4	7,0	10,3	11,7	12,3
Жидкая часть продукта экстракции	1,4	1,6	3,8	8,5	11,2	13,3
Твердая часть продукта экстракции	0	0,9	3,1	6,2	9,4	12,0
Средневзвешенные значения	1,1	1,5	3,7	8,0	10,8	13,0

* А — показатель деградации н-парафиновых УВ.

** НЧ — нечетные алканы; Ч — четные алканы.

Содержание, %			Содержание фракции, %				Содержание порфиринов	
	смола	асфальтенов	фракций до 200°	фракция НК-350°	остатка выше 350°	потери	V	Ni
	17,8	4,9	11,2	36,1	60,7	3,2	36,2	1,2
	22,3	7,4	0	22,5	76,2	1,3	24,8	0
	—	25,4	0	—	—	—	45,3	0
	—	10,0	—	—	—	—	28,2	0

Остаток выше 350°С					
Содержание, % на продукт	Групповой состав УВ, %		Характеристика ПЦП УВ		
	ПЦП	Ар	% $C_{\text{П}}$	$K_{\text{ЦП}}$	$C_{\text{П}}/C_{\text{КОЛ}}$
60,7	43,3	56,7	70,0	1,78	2,33
76,2	47,2	52,8	68,3	1,89	2,16

Число атомов углерода н-парафиновых УВ, отн. %					А*	$K = \frac{НЧ^{**}}{Ч}$
	C_{16}	C_{17}	C_{18}	C_{19}		
	12,0	11,8	10,4	8,3	0,76	0,99
	13,7	14,5	13,2	10,8	0,46	0,90
	13,2	14,2	14,4	13,1	0,36	0,84
	13,6	14,4	13,4	11,3	0,44	

Таблица 7. Распределение изопреноидных УВ во фракции 150–350°С исходной нефти и продуктах экстракции

Продукт	Содержание, %		Изопреноиды/н-парафины	Число атомов углерода изопреноидных УВ, отн. %	
	н-парафинов C ₁₁ –C ₂₀	изопреноидов C ₁₄ –C ₂₀		C ₁₄	C ₁₅
Исходная нефть	78,0	22,0	0,28	11,4	16,4
Жидкая часть продукта экстракции	71,5	28,5	0,40	8,2	14,3
Полутвердая часть продукта экстракции	74,1	25,9	0,35	4,1	12,4
Средневзвешенные значения	72,0	28,0	0,39	7,4	13,9

* Б – показатель деградации н-парафиновых УВ.

Таблица 8. Результаты исследования асфальтенов, выделенных из исходной нефти и продуктов экстракции методами обращенной ГХ и ЭПР-спектроскопии

Продукт	Коэффициенты взаимодействия с эталонными веществами (метод ОГХ)			
	голуол	бутанол	бутил-ацетат	цикло-гексан
Исходная нефть	31,5	3,2	12,3	35,6
Жидкая часть продукта экстракции	30,1	0,9	17,3	13,6
Полутвердая часть продукта экстракции	33,0	17,0	19,0	27,1
Средневзвешенные значения	30,7	4,1	17,6	16,3
Изменение, в % к исходной нефти	–2,5	+28,1	+43,1	–54,2

Увеличение содержания ПЦП УВ в насыщенной части сопровождается относительным накоплением нафтеновых УВ, чем объясняется падение показателя алифатичности ($C_n/C_{кол}$). Из данных табл. 6, 7 следует, что в распределении н-парафиновых и изопреноидных УВ в средних фракциях отмечается резкое уменьшение н-парафиновых УВ состава C₁₆–C₁₃ и изопреноидных УВ состава C₁₄–C₁₅, что вызывает падение величины показателей [Курбский и др., 1975]:

$$A = \frac{n - (C_{11} - C_{14})}{n - (C_{15} - C_{18})} \text{ и } B = \frac{i - (C_{14} - C_{18})}{i - (C_{19} - C_{20})}.$$

Это могло быть следствием или более интенсивной биodeградации УВ, или их потерь за счет испарения. Использование предложенного в работе показателя биodeградации.

$$Ki = \frac{i - (C_{19} + C_{20})}{n - (C_{17} + C_{18})}$$

Число атомов углерода изопреноидных УВ, отн. %				Б*	Пристан/фитан	$Ki = \frac{i - (C_{19} + C_{20})}{n - (C_{17} + C_{18})}$
C ₁₆	C ₁₈	C ₁₉	C ₂₀			
16,9	15,0	17,0	23,3	1,48	0,73	0,52
16,3	16,2	19,0	26,0	1,22	0,73	0,65
15,7	17,7	19,6	30,5	1,00	0,64	0,61
16,2	16,5	19,1	26,9	1,18	0,71	0,64

Коэффициенты взаимодействия с эталонными веществами (метод ОГХ)					Концентрация парамагнитных центров (КПМЦ)
метилциклопентан	тиофен	тиофан	метил-этил-кетон	1-децен	
12,0	42,6	41,7	7,8	3,6	0,535
7,0	43,0	32,0	9,0	7,0	0,057
11,1	44,0	44,1	25,5	12,0	0,047
7,8	43,2	34,4	12,3	8,0	0,055
–35	+1,4	–17,5	+57,7	+122	–89,7

говорит скорее в пользу первого предположения, так как рост Ki трудно объяснить различием в степени летучести входящих в него УВ (температура кипения: n–C₁₇–302,5°; n–C₁₈–317,5°; i–C₁₉–299°; i–C₂₀–316°С).

Таким образом, можно считать доказанным, что выветривание изученной нефти сопровождалось ее биodeградацией, но без наложения процесса вторичного осернения. Процесс биodeградации связан не только с исчезновением части парафиновых УВ нормального строения в результате их использования бактериями, но и с реакциями химического окисления. Если принять положение авторов метода обращенной газовой хроматографии (Девис и др.) о том, что коэффициенты взаимодействия исследуемого вещества с эталонными соединениями отражают степень взаимодействия функциональных групп последних с подобными же функциональными группами исследуемого вещества (в данном случае асфальтенов), то можно сделать вывод о том, что выветривание нефти сопровождается сильным нарастанием в асфальтенах карбонильного (CO) и сложно-эфирного кислорода

и в меньшей степени — гидроксильного кислорода, т.е. имеют место изменения, характерные для процесса окисления. Наличие окислительных изменений продукта выветривания подтверждается также резким снижением концентрации парамагнитных центров в асфальтенах (табл. 7), что является характерным для процессов окисления [Вистерпун, Зиннифорд, 1970]. Об этом же свидетельствует возрастание содержания кислорода в асфальтенах по разности $100 - (C - H + S + N)$ с 2,45% в исходной нефти до 6,81% в продуктах экстракции (средневзвешенное значение). Других характерных изменений состава и свойств асфальтенов не обнаружено.

Приведенные данные свидетельствуют о глубоком влиянии загрязнения почвы нефтью на ее биологическую активность. При наличии свежего загрязнения в почве повышается численность большинства групп микроорганизмов, но их биохимическая активность подавлена. Такая особенность поведения микроорганизмов требует дальнейших исследований. Наблюдаются значительные изменения в химическом составе нефти после ее соприкосновения с почвой и ее микрофлорой и в первую очередь исчезновение части парафиновых углеводородов нормального строения. Наблюдаются также изменения в содержании смол и асфальтенов, порфиринов, вязкости и плотности нефти.

Литература

- Вистерпун П.А., Зиннифорд Р.С. Асфальтеновые компоненты нефти. — В кн.: Основные аспекты геохимии нефти. М.: Недра, 1970.
- Ворошилова А.А., Дианова Е.В. Окисляющие нефть бактерии — показатели интенсивности биологического окисления нефти в природных условиях. — Микробиология, 1952, т. 20, вып. 4.
- Галстян А.Ш. Унификация методов определения активности ферментов почв. — Почвоведение, 1972, № 2.
- Глазовская М.А. О классификации почв по их устойчивости к химическому загрязнению. — В кн.: Методы и проблемы экотоксикологического моделирования и прогнозирования. Пуццо, 1979.
- Гродзинский А.М. Аллелопатия в жизни растений и их сообществ. Киев: Наук. думка, 1965.
- Кузнецов С.И. Основные итоги по исследованию микрофлоры нефтяных месторождений. — Микробиология, 1957, т. 26.
- Кузнецов С.И. Роль микроорганизмов в преобразовании и разрушении месторождений нефти. — Изв. АН СССР. Сер. биол., 1967, № 6.
- Курбский Г.П., Каюкова Г.П., Муталапова Р.И. О характере распределения парафиновых углеводородов нормального и изопреноидного строения в ряде нефтей ТАССР. — В кн.: Успехи газовой хроматографии. Казань, 1975, вып. 4, ч. 2.
- Курбский Г.П., Усачева Г.М., Хасанов В.Г. Определение степени превращенности нефти методом обращенной газовой хроматографии асфальтенов. — Нефтехимия, 1975, т. 15, № 4.
- Нельсон-Смит А. Нефть и экология моря. М.: Прогресс, 1977.
- Позмогова И.Н. Возможные пути окисления жидких n-алканов микроорганизмами. — Успехи микробиологии, 1968, вып. 5.
- Розанова Е.П. Использование углеводородов микроорганизмами. — Успехи микробиологии, 1967, вып. 4.
- Розанова Е.П. Участие микроорганизмов в преобразовании битумов (нефтяных углеводородов) в осадочных отложениях земной коры. — В кн.: Микробиологическая промышленность: Науч.-техн. реф. сб., 1977, № 3/145.
- Розанова Е.П., Кузнецов С.И. Микрофлора нефтяных месторождений. М.: Наука, 1974.
- Скрябин Г.К., Головлева Л.А. Использование микроорганизмов в органическом синтезе. М.: Наука, 1976.

- Таусон В.О. О разложении углеводов микроорганизмами. — Природа, 1934, № 6.
- Таусон В.О. Основные положения растительной биоэнергетики. М.; Л.: Изд-во АН СССР, 1950.
- Хазиев Ф.Х., Агафарова Я.М. Протеолитическая активность черноземов Западного Приуралья. — Науч. докл. высш. школы. Биол. науки, 1975, № 5.
- Ходжсон Д.И., Бейкер Б.Л., Пик И. Геохимия порфиринов. — В кн.: Основные аспекты геохимии нефти. М.: Недра, 1970.
- Foster J.W. Hydrocarbons as substrate for microorganisms. Antonie van Levenhock. — Microbiol. serol., 1962, vol. 28.
- Fuhs J.W. Der mikrobielle Abbau von Kohlenwasserstoffen. — Arch. Mikrobiol., 1961, N 39.
- Söhrngen N. L. Bensin, Petroleum, Paraffinol und Paraffin als Kohlenstoff und Energiequelle für Microben. — Zentr.-Bl. Bakteriologie, 1913, Abt. 2, N 37.
- Walker J.D., Colwell R.R., Petrakis L. Biodegradation rates of components of Petroleum. — Canad. J. Microbiol., 1976, vol. 22.
- Zobell C.E. Action of microorganisms on hydrocarbons. — Bacteriol. Rev., 1946, vol. 10, 1.

S.M. SAMOSOVA, G.P. KURBSKY, G.M. USACHEVA,
T.S. GUBAIDULLINA, V.I. FILCHENKOVA, V.V. ABUSHAIEVA

Changes in soil microflora and in oil composition in a Tatarian chernozem in the first post-pollution period

The biological activity of chernozem is shown to be changing due to oil pollution. Getting into the soil, oil becomes subjected to microbiological decomposition, as seen by the increasing index of biodegradation. There are changes in the content of resins, asphaltenes, porphyrins, oil viscosity and density.

УДК 631.4:622.323

Н.П. ИЛЬИН, И.Г. КАЛАЧНИКОВА, Т.И. КАРКИШКО,
А.А. ОБОРИН, Ю.И. ПИКОВСКИЙ, Г.В. ПОСТОНОГОВА,
В.И. ТРИПОЛЬСКИЙ

Наблюдения за самоочищением почв от нефти в средней и южной тайге

Значительная часть нефтедобычи мира сосредоточена в гумидной зоне в умеренном и холодном физико-географических поясах. В СССР к таким районам относятся Западная Сибирь, Европейский Север, Сахалин, а также перспективные районы Восточной Сибири, Северо-Востока, Камчатки. Значительная влажность, низкие среднегодовые температуры и другие факторы создают существенно иные, чем в аридной зоне, геохимические условия в загрязненных нефтью почвах.

В этой статье освещаются результаты наблюдений за поведением нефти в лесных почвах Среднего Приобья (средняя тайга) и Пермского Прикамья (южная тайга) на экспериментальных площадках "Обь" и "Кама".

На обеих площадках было изучено изменение морфологических и некоторых химических свойств почв, попавших под воздействие нефтяного потока.

Таблица 1. Некоторые почвенно-климатические характеристики районов экспериментальных площадок

Показатели	Площадка "Обь"	Площадка "Кама"
Среднегодовая температура воздуха, °С	-3,1	1,5
Среднегодовая температура почвы, °С	-3	2
Продолжительность безморозного периода, число дней	82	97
Среднее количество осадков за год, мм	676	697
в том числе:		
твердых осадков, %	32	30-37
жидких осадков, %	57	48-57
смешанных осадков, %	11	13-15
Продолжительность солнечного сияния за год, часы	1642	1799
Суммарная коротковолновая радиация за год, ккал/см²	82,3	85,0
Почва	Песчаная подзолистая	Суглинистая дер- ново-подзолистая

Некоторые почвенно-климатические характеристики обеих площадок приведены в табл. 1. Эти характеристики не очень контрастны, хотя различия отчетливо прослеживаются: климатические условия Пермского Прикамья более мягкие, чем в Среднем Приобье. Экспериментальные исследования ведутся в районах с интенсивной нефтедобычей.

Район площадки "Обь" представляет собой волнистую, полого-увалистую равнину, сложенную речным аллювием, состоящим в основном из слабо-ожелезненного кварцевого песка. Разрезы в геохимически сопряженных ландшафтах закладывались в следующих местах: на вершине увала (разрезы 1 и 1н) в лишайниковом бору, на его склоне (разрезы 2 и 2н), также занятом лишайниковым бором, и в пойме реки под березняком с примесью хвойных пород (разрезы 3 и 3н). Разрезы 1н, 2н, 3н находились в зоне нефтяного загрязнения в пределах нефтепромысла, разрезы 1, 2 и 3 были контрольными.

Ниже приводим описание морфологических свойств почв в указанном ряду сопряженных ландшафтов.

✓ Разрез 1 был, как уже указывалось, заложен на вершине увала, занятого лишайниковым бором. Доминирующая древесная порода — сосна обыкновенная (*Pinus silvestris*) с редкой примесью березы (*Betula penclura*). Сомкнутость крон — до 50%. Кустарниковый ярус разрежен, состоит из редкого багульника высотой до 60–100 см. Хорошо развит кустарничковый ярус, степень покрытия 60–70%; доминируют черника и брусника. Мохово-лишайниковый покров сплошной, маломощный, в составе мхов преобладают дикранум (70%), мох Шребера (до 10%) и птичий гребешок (до 10%). Лишайники представлены в основном оленьим мхом и в меньшей степени —

корковыми лишайниками из рода *Cladonia*. На ветвях и стволах деревьев развиты эпифитные лишайники. Подрост редкий: сосна в возрасте 10–15 лет и небольшая примесь березы. Поверхность почвы покрыта сплошным опадом хвои, коры и веток растительности.

- A 0 0–3 см — полуразложившаяся подстилка, сложенная опадом хвойной растительности.
- A 2 3–17 см — белый влажный песок, структура не выражена, рыхлый, пронизан корнями растений (довольно редко); на месте отмерших корней — углистые черные точечные образования; переход ясный по изменению окраски, граница неровная: имеются мощные карманы, языковатые затеки до глубины 80 см и более.
- Bh 17–20 см — в верхней части горизонт белесово-серый, к низу изменяется до буровато-серого, структура не выражена, супесчаный, рыхлый, переход постепенный, заметный по изменению окраски.
- B 1 20–60 см — оранжевый с редкими красновато-бурными прожилками ортзанда, ориентированными и в горизонтальном, и в вертикальном направлении, структура не выявлена, рыхлый, переход постепенный.
- BC 60–150 см — окрашен неоднородно, на сухом фоне оранжевые пятна, прослои слабо выраженного ортзанда.

Почва подзолистая иллювиально-гумусовая, холодная.

✓ Разрез 1н заложен на почве, сформировавшейся в тех же условиях, что и почва, вскрытая разрезом 1.

- A 0 0–5 см — лесная подстилка, сложенная слабо разложившимся опадом хвойной растительности; сильно пропитана нефтью, имеет черновато-серую окраску, маслянистый блеск; переход заметный по совокупности изменений морфологических свойств.
- A 2 5–12 см — буровато-серый, влажный песок, структура не выражена, липкий, пронизан корнями, имеет запах нефти; переход постепенный по ослаблению окраски.
- Bh 12–22 см — белый с черными точками углистых образований (остатков полуразложившихся корней) песок, влажный, бесструктурный; переход заметный по изменению окраски, граница неровная — с карманами и языками до 120 см.

В строении нижней части почвенного профиля и в свойствах генетических горизонтов по сравнению с разрезом 1 существенных отличий не выявлено.

Ландшафт склона отличается от ландшафта вершины увала рядом признаков.

Поверхность почвы имеет наклон до 7–10°, местами встречаются промоины глубиной 20–30 см.

В составе древесных пород увеличивается количество березы, появляются ель, рябина, осина; в кустарниковом ярусе, кроме багульника, встречается шиповник. В составе кустарничков преобладает брусника, в мохово-лишайниковом покрове преобладает ягель, появляются плауны, хвощи. Со стволов и ветвей также свисают эпифитные лишайники.

По сравнению с вершиной увала более обильна и разнообразна травянистая растительность: встречаются луговой чай, иван-чай, седмичник звонец, орхидные, отрыжник мужской.

Ниже приводим описание разреза 2.

- A 0 0–6 см — лесная подстилка, сложенная в основном полуразложившимся опадом древесной растительности.
- A 0A 1 6–10 см — черный грубогумусированный, влажный, интенсивно пронизанный корнями растений и перемешанный с полуперегнившими остатками опада; фрагментарен, переход заметный, граница волнистая.

- A2 10–17 см — белый, влажный, неоструктурен, песчаный, рыхлый; встречаются корни и на месте отмерших корней — черные точечные образования; переход заметный, граница неровная, языковатая.
- Bh 17–26 см — буровато-серый с розовым оттенком, влажный, бесструктурный, песчаный, рыхлый, встречаются корни; переход постепенный по изменению окраски.
- B1 26–67 см — оранжевый, в верхней части профиля темнее, книзу — светлее, влажный, супесчаный, структура не выражена, встречаются корни, прослойки ортзанда; переход заметный, граница неровная.
- BC 67–120 см — серовато-сизый с рисовыми пятнами и прослойками ортзандов, песчаный, рыхлый, бесструктурный, встречаются отдельные корни
- Почва подзолистая иллювиально-гумусовая, холодная.

Разрез 2н также заложен на склоне увала, как и разрез 2, в аналогичных ландшафтно-геохимических условиях. В морфологическом строении почвенного профиля, загрязненного нефтью, выявлены следующие закономерности:

- A0т 0–5 см — подстилка из слаборазложившегося опада древесной растительности, пропитана нефтью, имеет специфический запах, маслянистый блеск.
- A1 5–10 см — желто-серый, влажный, песчаный, бесструктурный, рыхлый, к нижней части горизонта светлеет до желтоватой окраски; переход постепенный.
- A2 10–25 см — белый с черными точками обугленных корней, местами пятна просачивающейся нефти, влажный, песчаный, бесструктурный, рыхлый; переход заметный по изменению окраски, граница неровная с языками и карманами до глубины 64 см.
- Bh 25–28 см — изменений в морфологических свойствах горизонта по сравнению с разрезом 2 нет.
- B1 28–62 см — ржаво-желтый с серыми пятнами просачивающейся нефти в верхней части и голубоватыми глеевыми пятнами — в нижней, влажный, бесструктурный, песчаный, рыхлый, корни редки; переход постепенный.

В более глубоких горизонтах почвы существенных отличий от аналогичных горизонтов, охарактеризованных разрезом 2, не выявлено.

Третья пара разрезов заложена в ложбине, выполненной старичными иллювиальными отложениями реки. Растительная ассоциация — березняк с примесью хвойных пород (ели, сосны обыкновенной, сосны кедровой). Сомкнутость крон — более 70%. В подлеске представлены рябина, осина обыкновенная, подрост основных древесных пород.

Кустарниковый ярус выражен слабо: встречаются редкие кусты шиповника. Из кустарничков отмечается брусника. Травянистый покров разнотравный: мятлик полевой, луговой чай, седмичник, плауны, хвощ. Мохово-лишайниковый покров слабо развит (низкорослые типовые и сфагновые мхи, корковые лишайники).

Почвенный профиль, вскрытый на этой площадке разрезом 3, слабо дифференцирован, неоднородный, с наличием погребенных горизонтов.

- A0 0–3 см — полуперепревший опад деревьев и кустарников, мха, перемешан с мелкоземом, черный, рыхлый.
- A1 3–12 см — темно-серый с сизым оттенком, влажный, тяжелосуглинистый, структура плохо выражена, комковатая, рыхлый, обильно переплетен корнями; переход заметный, граница ровная.
- A1A2 12–22 см — буровато-серый с сизым оттенком, влажный, тяжелосуглинистый, структура слоегато-мелкокомковатая, непрочная, рыхлый; переход заметный, граница неровная, языковатая с карманами до 30 см.

- B 22–62 см — серовато-сизый с рисовыми и сизыми пятнами, суглинистый, более плотный, чем предыдущие; крайне слабая ореховатость, по границам — зерна кварца; переход постепенный.
- B2 62–95 см — серо-сизый с ржавыми пятнами (прослойками ортзанда), сырой, неоднородный по механическому составу (встречаются суглинистые и супесчаные прослойки), по ходам корней — черные точки; переход заметный, граница неровная.
- C 95–130 см — сизый с серым оттенком, мокрый, песчаный, неоструктурен; на глубине 125 см — уровень грунтовых вод.

Морфологическое строение профиля и свойства почвенных горизонтов, вскрытых разрезом 3н, не имеют существенных отличий от признаков, характерных для горизонтов разреза 3. Отмечено лишь, что лесная подстилка на загрязненном участке имеет запах нефти.

Из генетических горизонтов почв, вскрытых описанными выше разрезами, были отобраны образцы для определения в них содержания органического углерода, азота pH и состава подвижных катионов, чтобы выявить возможные изменения основных химических свойств почв при их загрязнении нефтью.

Все образцы, взятые из контрольных разрезов, имеют кислую реакцию (pH сол. 3,5–4,4), свойственную подзолистым почвам. Для почвенного поглощающего комплекса характерно практически полное отсутствие обменных оснований (Ca и Mg), содержание которых довольно велико лишь в горизонте A1 перегнойно-глеевой почвы, что может быть связано с их биогенной концентрацией. В составе обменных катионов присутствуют заметные количества ионов водорода и алюминия, а также некоторое количество натрия (табл. 2).

В почвах, подвергшихся воздействию кратковременного нефтяного потока, наблюдается повышение pH как водной, так и солевой суспензии, что, по-видимому, связано с замещением водорода почвенного раствора и поглощающего комплекса натрием. Наряду с обменным водородом уменьшается и содержание обменного алюминия. В почве вершины увала и поймы, кроме натрия, несколько увеличено количество обменного кальция. Обнаруженные изменения связаны, очевидно, с приносом натрия и кальция с сопутствующими нефти пластовыми водами и внедрением их в поглощающий комплекс.

Под влиянием поступившей в почву нефти происходят существенные изменения в составе органического вещества (табл. 3). Содержание органического углерода и общего азота во всех исследованных образцах контрольных подзолистых почв невелико, но в перегнойно-глеевой почве оно возрастает.

Во всех изученных почвах имеется иллювиально-гумусовый горизонт, для которого характерно увеличение содержания $C_{орг.}$ в горизонте B по сравнению с горизонтом A2. Общее содержание азота очень низкое во всех почвах. Отношение $C_{орг.}/N_{обш.}$ в почве вершины увала — 5,7–8,7, на склоне — до 10,0 и в пойменной почве — до 39,8. Это может быть объяснено накоплением органических веществ в аккумулятивных ландшафтах. В почвах, обогащенных нефтяными веществами, количество азота практически не изменяется, но заметно возрастает содержание органического углерода и вместе с ним отношение $C_{орг.}/N_{обш.}$, которое достигает 31–39 в подзолистых почвах и еще более увеличивается в пере-

Таблица 2. Измерение pH, состава обменных катионов и водорастворимого натрия в почвах средней тайги под влиянием нефтяного потока, мг-экв на 100 г почвы

Показатель	Разрез (р.)	Вершина увала			
		Подзолистая иллювиально-гумусовая холодная глеевая почва			
		A2 3-17 см	Bh 17-20 см	B1 20-60 см	BC 60-150 см
pH водный	K	5,5	4,4	5,5	5,5
	H	6,3	6,5	6,0	5,7
pH солевой	K	4,4	3,4	4,7	4,4
	H	5,4	5,3	4,8	4,5
H обменный	K	Не обн.	1,9	0,2	0,5
	H	"	Не обн.	0,2	0,2
Al обменный	K	"	"	Не обн.	Не обн.
	H	"	"	"	"
Ca обменный	K	"	"	"	"
	H	0,6	0,5	0,6	0,5
Mg обменный	K	Не обн.	Не обн.	Не обн.	Не обн.
	H	2,0	"	"	"
Na обменный	K	0,19	0,22	0,19	"
	H	0,62	0,65	0,54	0,25
Na водный	K	0,11	0,08	0,11	Не обн.
	H	0,08	0,05	0,16	0,05

Примечание. K – контрольные разрезы (вершина увала – р. 1, склон увала – р. 2, пойма – р. 3); H – разрезы, заложенные на пути нефтяного потока (вершина увала – р. 1н, склон увала – р. 2н, пойма – р. 3н).

Таблица 3. Изменение содержания органического углерода и общего азота в почвах средней тайги под влиянием нефтяного потока

Показатель	Разрез*	Вершина увала				Склон увала	
		Подзолистая иллювиально-гумусовая холодная глеевая почва				Подзолистая иллювиально-гумусовая холодная глееватая почва	
		A2 3-17 см	Bh 17-20 см	B1 20-60 см	BC 60-150 см	A2 10-17 см	Bh 17-26 см
Органический углерод, %	K	0,08	0,20	0,12	0,05	0,11	0,55
	H	0,62	0,29	0,17	0,06	0,97	0,42
Азот общий, %	K	0,014	0,023	0,014	0,012	0,011	0,082
	H	0,020	0,024	0,020	0,012	0,025	0,016
C:N	K	5,7	8,7	8,6	4,2	10,0	6,8
	H	31,0	12,1	8,5	5,0	38,8	26,3

*См. примечание к табл. 2

Склон увала				Пойма (старица)			
Подзолистая иллювиально-гумусовая холодная глееватая почва				Перегноино-глееватая почва			
A2 10-17 см	Bh 17-26 см	B1 26-67 см	BC 67-120 см	A1 3-12 см	A1A2 12-22 см	B1 22-62 см	B2 62-95 см
5,4	4,7	5,4	6,0	4,2	5,1	Не опр.	Не опр.
6,1	6,3	5,8	5,2	5,8	5,0	5,0	5,1
3,9	3,7	4,5	4,6	3,5	4,1	Не опр.	Не опр.
5,5	4,8	4,4	4,4	4,8	3,9	4,1	4,1
Не обн.	0,9	0,4	Не обн.	6,3	2,7	Не опр.	Не опр.
"	Не обн.	0,3	2,6	1,2	1,3	2,2	2,9
"	0,2	Не обн.	Не обн.	Не обн.	Не обн.	Не опр.	Не опр.
"	Не обн.	"	0,7	0,4	0,2	0,1	0,2
"	"	"	Не обн.	15,0	Не обн.	Не опр.	Не опр.
"	"	"	"	39,0	1,2	Не обн.	0,6
Не обн.	Не обн.	Не обн.	Не обн.	Не обн.	Не обн.	Не опр.	Не опр.
"	"	"	"	2,0	"	"	0,4
"	"	"	0,19	1,59	0,59	"	Не опр.
0,25	0,22	0,25	0,59	1,38	0,59	0,48	0,11
Не обн.	Не обн.	Не обн.	0,11	0,61	0,11	Не опр.	Не опр.
0,05	0,08	0,05	0,11	1,12	0,35	0,22	0,19

Склон увала		Пойма (старица)					
Подзолистая иллювиально-гумусовая холодная глееватая почва		Перегнойно-глееватая почва					
B1 26-67 см	BC 67-120 см	A0 0-3 см	A1 3-12 см	A1A2 12-22 см	B1 22-62 см	B2 62-95 см	
0,22	0,07	13,72	2,83	1,79	2,81	0,76	
0,44	0,14	40,29	4,53	4,51	8,51	1,33	
0,099	0,05	Не опр.	Не опр.	0,045	0,087	0,032	
0,018	0,019	”	”	0,056	0,047	0,060	
2,2	1,4	”	”	39,8	32,3	23,8	
24,4	7,4	”	”	80,5	181,0	22,2	

Таблица 4. Состав нефти Федоровского месторождения (нижнемеловые отложения, глубина 2132–2306 м)

Параметры	Значения параметров	Параметры	Значения параметров
Плотность, г/см ³	0,840	Смолы силикагелевые, %	12,0
Вязкость, при 20° С	6,60	Асфальтены, %	0,5
Температура застывания, ° С	–10	Выход фракции, %	
Парафин, %	4,21	до 200° С	29,2
Сера, %	1,06	до 350° С	56,5
Азот, %	0,13		

Таблица 5. Изменение во времени содержания нефти (%) в почвах на экспериментальных площадках в зонах средней и южной тайги

Срок отбора после внесения нефти	Площадка "Кама", горизонт А1		Площадка "Обь", горизонт А2	
	% на нефть	% на почву	% на нефть	% на почву
Внесено, %	100	27,4	100	8,1
Через 3 дня	Не определено		84,0	6,8
Через 15 дней	"		64,0	5,2
Через 3 месяца	18,0	5,0	Не определено	
Через 12 месяцев	Не определено		10	1,4
Через 15 месяцев	6,0	2,0	Не определено	
Через 24 месяца	4,0	12,0	"	

Таблица 6. Изменение содержания и группового состава нефти в почвах на экспериментальных площадках в зонах средней и южной тайги (горизонт А1)

Площадки	№ разреза	Время пребывания нефти в почве	Глубина, см	Горизонт
"Обь" и "Кама"		Исходная нефть		
"Обь"	1232	15 суток	4–12 (20)	А2
	1208	1 год	3–13	А2
"Кама"	1801	3 месяца	2–9	А1
	1805	15 месяцев	2–9	А1

* В числителе – % на нефть, в знаменателе – % на почву.

гноино-глеевой почве. Наибольшее накопление нефтяных органических веществ в подзолистых почвах наблюдается в верхней, оподзоленной части профиля, в перегнойно-глеевой почве – в горизонте В1д (без учета содержания нефти в местной подстилке), что, вероятно, связано в основном с механической задержкой нефти в почвенных горизонтах. Аналогично изменению общего содержания органического углерода изменяется содержание битумоидов: в меньшей степени они накапливаются в почвах автономных ландшафтов (2,37%) и в большей степени – в пойменной почве (3,9%) в горизонте А1.

Территория района, где находится экспериментальная площадка "Кама", сложена сульфатно-карбонатными породами верхнепермского возраста, перекрытыми четвертичными лёссовидными покровными суглинками.

Растительность опытной площади представлена хвойно-широколиственным лесом с преобладанием в древостое ели, липы, березы, осины. Подлесок слабо выражен и сформирован рябиной, лещиной, ольхой, подростом лиственных и хвойных древесных пород. Травянистый покров злаково-широколистный с преобладанием полевицы обыкновенной, мятлика полевого, ежи сборной, сныти обыкновенной, медуницы, седмичника, ветреницы дубравной, лютика едкого, василистника водосборолистного, ландыша майского с примесью папоротниковых и бобовых растений. Сформировавшаяся в этих условиях почва типична для района исследований и на основании изучения морфологического строения почвенного профиля отнесена нами к типу дерново-подзолистых почв.

- А0 0–2 см – мокрая подстилка из полуразложившегося опада древесных пород и травянистой растительности.
 А1 2–9 см – темно-серый сырой, мелкокомковатый, тяжелосуглинистый, рыхлый, пронизан корнями кустарниковой и древесной растительности; переход постепенный по окраске.

Содержание нефти в почве, %	Групповой состав нефти, %*			
	метано-наф-теновые углеводороды	наф-тено-аро-матические углеводороды	смолы	асфальтены
	71,8	16,0	9,2	3,0
5,2	37,7	17,8	21,7	4,3
	1,75	0,8	1,0	0,2
1,4	29,1	8,7	30,2	6,7
	0,41	0,12	0,43	0,09
5,0	35,9	46,8	5,0	2,3
	1,79	2,34	0,25	0,11
2,0	44,3	20,9	31,0	3,8
	0,89	0,42	0,62	0,08

Таблица 7. Скорость деградации нефти на экспериментальной площадке "Кама" в пересчете на углерод нефти, внесенный в почву (дерново-подзолистая почва, горизонт A1 2–9 см)

Время пребывания нефти в почве	Общее содержание, %	Углерод нефти, %	Углерод микробов, %	Вынесенный и минерализованный углерод, %
В момент внесения	100	100	—	—
3 месяца (август–октябрь)	32	15	17	68
15 месяцев	24	5	19	76

Таблица 8. Количество нефтеокисляющих организмов в песчаных дерново-подзолистых почвах экспериментальных площадок "Обь" в разные сроки после внесения нефти (20–25 л/м²)

Время инкубации	№ разреза	Глубина, см	Горизонт	Количество нефтеокисляющих микроорганизмов в 1 г почвы	
				контрольный участок	загрязненный участок
3 дня	1201	0–3	A0	$4,0 \cdot 10^3$	$30,0 \cdot 10^3$
		3–12 (24)	A2	$0,2 \cdot 10^3$	$0,16 \cdot 10^3$
		12 (24)–16 (40)	B	17,0	30,0
15 дней	1232	0–4	A0	$55 \cdot 10^3$	$70 \cdot 10^3$
		4–12 (20)	A2	$0,55 \cdot 10^3$	$6 \cdot 10^3$
		12 (20)–35	B	50	140
1 год	1208	0–3	A0	$700 \cdot 10^3$	$1400 \cdot 10^3$
		3–13	A2	$2 \cdot 10^3$	$16 \cdot 10^3$
		13–30	B	Не обн.	80
2 года	1207	0–2 (5)	A0	$3,5 \cdot 10^3$	$35 \cdot 10^3$
		2 (5)–10 (20)	A2	$0,3 \cdot 10^3$	$0,5 \cdot 10^3$
		10 (20)–12 (34)	B	20	35

Таблица 9. Количество CO₂ (мг), выделенного биоценозом почвенных микроорганизмов в процессе минерализации нефти на площадке "Обь" (лабораторный опыт)

Время пребывания нефти в почве	№ разреза	Глубина, см	Горизонт
3 суток	1201	0–3	A0
		3–12 (24)	A2
		12 (24)–16 (40)	B
1 год	1208	0–3	A0
		3–13	A2
3 года	1207	0–2 (5)	A0
		2 (5)–10 (20)	A2

- A2 9–17 см – светло-серый с палевым оттенком, порошистый, с непрочной листовой структурой, рыхлый, тяжелосуглинистый с присыпкой SiO₂; переход постепенный.
- A2 17–28 см – светло-серый с палевым оттенком, сырой, тяжелосуглинистый, уплотненный, листовато-плитчатый со слабыми признаками ореховатости, много корней; переход заметный по окраске, граница неровная (языками).
- A2B1 28–35 см – буровато-серый, мокрый в структуре, смазаны признаки плитчатости и ореховатости, тяжелосуглинистый, плотный; переход постепенный.
- B1 35–55 см – красновато-бурый с желтым оттенком, мокрый, мелкоореховатый, тяжелосуглинистый, плотный; переход постепенный по изменению окраски и структуры.
- B2 55–85 см – красновато-бурый, мокрый, ореховатый, тяжелосуглинистый, плотный.

Результаты исследования трансформации дерново-подзолистых почв в районе площадки "Кама" под воздействием нефтяных потоков приведены в работах Ю.И. Пиковского и Н.П. Солнцевой [Солнцева, Пиковский, 1980; Пиковский, Солнцева, 1981].

Для изучения процесса изменения почв при нефтяном загрязнении и динамики изменения нефти в условиях почвы были поставлены опыты по дозированному внесению нефти на поверхность почвы для последующего изучения направления и скорости изменения нефтяных веществ и почв. С этой целью были заложены опытные участки в зоне средней тайги на подзолистой иллювиально-гумусовой почве в лишайниковом бору, а в зоне южной тайги – на дерново-подзолистой почве в хвойно-лиственном лесу, в условиях автономно сформированных ландшафтов.

Экспериментальные площадки "Обь" и "Кама" заложены в автономных ландшафтно-геохимических позициях в лесу. Почвенный профиль в районе площадок соответствует почвенному профилю в разрезах 1 и 1n площадки "Обь" и приведенному профилю площадки "Кама".

В почву обеих площадок была внесена товарная нефть Федоровского месторождения из расчета нагрузки на почву от 22 до 57 л/м². Нефть содержала воды не более 2%. Физико-химическая характеристика нефти приведена в табл. 4. Обе площадки были заложены в середине лета (июль),

Дни культивации микроорганизмов					
3-й день		6-й день		9-й день	
контроль	опыт	контроль	опыт	контроль	опыт
11,42	9,44	21,16	22,50	22,01	34,64
5,29	6,32	13,20	17,18	20,22	24,82
5,55	2,87	13,01	10,78	18,04	18,11
13,06	11,6	25,53	33,96	26,35	39,47
5,32	6,78	13,7	19,70	19,16	25,41
9,19	12,12	22,78	29,98	33,95	41,22
5,36	6,57	16,20	13,72	19,34	20,51

в период, когда выпадали обильные осадки. Нефть на площадки вносилась по отдельным изолированным участкам площадью от 0,08 до 0,36 м². До внесения нефти в почву на каждой площадке были изучены контрольные разрезы. Отбор проб каждый раз проводился в новом разрезе, заложенном на загрязненном участке, а также в контрольном его аналоге. На площадке "Обь" пробы были взяты на третий и пятнадцатый день после внесения нефти, а также через год и два года соответственно в разрезах 1201, 1232, 1208 и 1216, 1207. На площадке "Кама" пробы исследовались через 3, 15 и 24 месяца после внесения в почву нефти (соответственно в разрезах 1801, 1805, 1814).

Внесенная нефть фронтально просачивалась в почву до кровли горизонта В, после чего ее дальнейшее продвижение вглубь замедлилось.

В табл. 5 показано изменение содержания нефти в почвах по сравнению с внесенной дозой для горизонта А1 на площадке "Кама" и горизонта А2 на площадке "Обь". В этих горизонтах была сосредоточена основная масса нефти, попавшей в почву. Ниже ее содержание уменьшается почти на числовой порядок, поэтому о процессах деградации нефти можно судить, рассматривая только эти почвенные горизонты.

Как видно из данных, приведенных в табл. 5, на третий день почва теряет только 16% внесенной нефти, которая расходуется на испарение и рассеяние за пределы площадки. Через две недели в почве на данном участке теряется 36% внесенной нефти, а через год ее остается только 10%. Та же тенденция наблюдается по площадке "Кама".

Таким образом, скорость изменения содержания нефти в почвах неравномерна. Основная масса нефти теряется в первые 3 месяца после попадания в почву. В дальнейшем это изменение идет очень медленно, особенно оно замедляется при достижении концентрации в почве около 1,0–1,5%.

Параллельно с изменением концентрации происходит изменение состава нефти (табл. 6). Быстрее всего происходит исчезновение метано-нафтенной фракции, которая деградирует через год на 93–95%. Содержание остальных компонентов нефти снижается в почве со временем на обоих участках, хотя заметны и существенные различия.

На площадке "Обь" от смол и асфальтенов, внесенных в почву во время нефтяного загрязнения, осталось соответственно 61,4 и 34,5%, в то время как на Камском полигоне — 24,8 и 10,0%. Это может указывать на более глубокую деструкцию органического вещества в условиях менее сурового климата.

Был подсчитан баланс углеродистого вещества в почве в процессе деградации внесенной в нее нефти (табл. 7).

Через три месяца после загрязнения в горизонте А1 на Камской площадке было вынесено или минерализовано 68%, а через 15 месяцев — 76% углерода нефти. За год на Обской площадке было удалено 65% углерода нефти. Как показывают наблюдения, значительная часть нефти механически выносятся водой за пределы площади загрязнения и рассеивается на путях движения водных потоков. При этом загрязняются грунтовые воды. Этим объясняется резкое уменьшение нефтяных компонентов в почвах в первые месяцы после загрязнения. После того, как в результате промывания почвы возможности механического выноса нефти резко уменьшились, уменьшилась и скорость деградации нефти.

Таблица 10. Численность нефтеокисляющих микроорганизмов (на 1 г почвы) в дерново-подзолистой почве на экспериментальной площадке "Кама" через 2 года после загрязнения и количество СО₂ (мг), выделенного этим биоценозом в процессе минерализации нефти (лабораторный опыт)

№ разреза	Глубина, см	Горизонт	Численность нефтеокисляющих микроорганизмов, п · 10 ⁻³		Количество СО ₂ (мг), выделенного в разные дни культивации					
					3-й день		6-й день		9-й день	
			конт-роль	опыт	конт-роль	опыт	конт-роль	опыт	конт-роль	опыт
1814	0–5	А0	6,0	80,0	13,03	14,62	23,89	27,99	34,87	50,44
	5–12	А1	0,16	3,0	7,52	13,25	17,69	25,39	26,34	42,14
	12–19	А1А2	0,017	0,13	5,62	7,34	9,50	13,18	15,68	20,39
	19–24	А2	0,009	0,13	4,70	8,03	10,20	12,83	13,98	17,63

Рассмотрим другие факторы самоочищения почв от нефти. Наиболее важным из них является микробиологический фактор.

Нефтеокисляющие группы микроорганизмов начинают работать сразу же после загрязнения, несмотря на высокую концентрацию нефти в почвах. В верхнем горизонте уже на третий день после загрязнения количество нефтеокисляющих бактерий возрастает почти в 8 раз.

Через 15 дней после загрязнения нефтеокисляющие организмы интенсивно развиваются уже в горизонте А2. Снижение активности этой группы микроорганизмов наблюдается только через два года, но их численность по-прежнему больше, чем в контроле (табл. 8).

Микробиологическая деятельность нефтеокисляющих бактерий в течение первого года их работы приводит к частичной минерализации нефтяного вещества, а также к образованию нерастворимых в органических растворителях продуктов метаболизма нефти.

Через год после начала опыта в горизонте А2 на Обской площадке осталось 35% от внесенного углерода нефти, из них 9% составляет углерод остаточной нефти, а 26% — углерод метаболитов.

Было учтено количество углекислоты, выделяемой биоценозом микроорганизмов из почв обеих экспериментальных площадок в процессе минерализации нефти (табл. 9 и 10). Более высокая скорость минерализации нефти наряду с повышением численности нефтеокисляющих организмов свидетельствует о идущих здесь процессах биodeградации нефти. Вместе с тем эти процессы не столь интенсивны из-за недостатка тепла и бедности кислых подзолистых почв питательными веществами.

Выводы

Результаты экспериментальных наблюдений за самоочищением от нефтяного загрязнения почв средне- и южнотаежных зон позволили установить ряд существенных особенностей этого процесса.

Большая влажность и обильное выпадение осадков приводят к тому, что загрязнение не локализуется в пораженном участке, а быстро распро-

страняется по пути водных потоков. Это приводит к значительному уменьшению концентрации нефти на первично загрязненных почвах, снижению токсичности, в отдельных случаях возобновлению роста травянистой растительности. Этот процесс нельзя назвать самоочищением, так как нефтяные продукты не минерализуются, а загрязняют сопряженные компоненты ландшафта.

Остаточная нефть с самого начала подвергается микробиологической переработке. При этом данный процесс интенсифицируется по мере снижения концентрации нефти. Часть нефти, по всей вероятности, незначительная, минерализуется, другая часть превращается в нерастворимые продукты метаболизма.

В южной тайге все процессы деградации нефти в почвах идут интенсивнее, чем в более северных районах, о чем наглядно свидетельствуют приведенные в таблицах данные. Примерно через год после загрязнения в обеих зонах эти процессы затормаживаются и дальнейшая деградация нефти происходит чрезвычайно медленно. Для полной естественной переработки нефтяных компонентов в условиях средней и южной тайги требуется не менее 10–20 лет, о чем говорят тенденции в изменении нефти в приведенных опытах, а также результаты исследований старых нефтяных загрязнений почвы [Солнцева, Пиковский, 1980].

В свете полученных данных к наиболее актуальным задачам защиты почв холодной и умеренной зон следует отнести изучение возможности интенсификации деятельности микроорганизмов-аборигенов, наиболее активно участвующих в окислении нефти, исследование продуктов метаболизма нефти с точки зрения их влияния на качество почвы, разработку способов управления потоками рассеяния нефтяных углеводородов вокруг загрязненных участков.

Литература

- Пиковский Ю.И. Геохимические особенности техногенных потоков в районах нефтедобычи. — В кн.: Техногенные потоки вещества в ландшафтах и состояние экосистем. М.: Наука, 1981, с. 134–148.
- Пиковский Ю.И., Солнцева Н.П. Геохимическая трансформация дерново-подзолистых почв под влиянием потоков нефти. — В кн.: Техногенные потоки вещества в ландшафтах и состояние экосистем. М.: Наука, 1981, с. 149–154.
- Солнцева Н.П., Пиковский Ю.И. Особенности загрязнения почв при нефтедобыче. — В кн.: Миграция загрязняющих веществ в почвах и сопредельных средах. Л.: Гидрометеиздат, 1980. с. 76–82. (Тр. II Всесоюз. совещания, Обнинск, 1978 г.)

N.P. IL'IN, I.G. KALACHNIKOVA, T.I. KARKISHKO,
A.A. OBORIN, Yu.I. PIKOVSKY,
G.V. POSTONOGOVA, V.I. TRIPOLSKY

Observation over soil self-purification after oil pollution in the middle and southern taiga

Under consideration are the results of experimental research carried for two years with podzol soils of the middle taiga (the Middle Ob' region) and soddy-podzolic soils of the southern taiga (the Perm' area of the Kama river), so that to see changes in the soil development after its pollution. Specific changes in the oil composition and content are discussed, as well as alteration of soil chemical and microbiological properties, the rate of soil self-purification. The authors present the carbon balance in the polluted soils showing the considerable role of oil dispersion in soils due to water flows.

УДК 577.4:582.26/27:622.323

В.А. ВЕСЕЛОВСКИЙ, В.С. ВШИВЦЕВ, Ю.И. ПИКОВСКИЙ,
К.А. НИКИТИНА

Влияние углеводов нефти на автотрофный компонент водных экосистем

Главная задача, которая ставится при изучении геохимического цикла нефти, попавшей в природные экосистемы в ходе ее добычи и транспортировки, состоит в выявлении характера и глубины воздействия нефтяных углеводородов на биотическую составляющую. Несмотря на то, что над этой проблемой усиленно работают во многих странах, методика изучения ответных реакций биоты на воздействие нефтяных углеводородов в природной обстановке требует еще своей разработки.

Рассмотрим состояние данного вопроса на примере водных биоценозов, главным образом автотрофов как наиболее удобной модели для изучения воздействия нефти на живые организмы.

Исследования токсичности углеводородов нефти на водные автотрофы проводили многие ученые [Baker, 1970, 1971; Pulish et al., 1974; и др.]. Д. Бекер изучала влияние нефтяного загрязнения на фитобентос и выявила разную степень чувствительности его компонентов к нефтепродуктам. Неодинаковую устойчивость по отношению к нефти планктонных водорослей отмечали в своих работах О.Г. Миронов и Л.А. Ланская [1969], М.И. Роухияйнен и О.Г. Миронов [1973], П. Каусс и Т. Хатчинсон [Kauss, Hutchinson, 1973]. И.А. Дивавин, И.М. Цымбал [1975], изучавшие влияние эмульгированной нефти на десять видов водорослей макрофитов, указывают на разную степень изменения в обмене нуклеиновых кислот.

После аварии танкера "Торри-Каньон" от разлива нефти больше всего пострадали красные водоросли *Porphyra imbricatus* и в меньшей степени — зеленые *Euteromorpha intestinalis* и *Ulva augusta* [Нельсон-Смит, 1977; Ranwell, 1968]. От нефтяной пленки и эмульсии, возникающих на поверхности воды в прол. Санта-Барбара, страдают в основном бурые водоросли. Другая растительность пострадала в меньшей степени [Foster et al. 1971]. По данным Диас-Пиферрера [Diaz-Piferre, 1962], морские травы более чувствительны к загрязнению нефтью, чем водоросли. Поэтому некоторые исследователи предлагают использовать для биоиндикации нефтяного загрязнения макрофиты, например *Laminaria saccharina*, как наиболее чувствительные к углеводам организмы [Burrows, Rybus, 1971].

Различная чувствительность организмов к действию нефтепродуктов может быть связана с разными причинами.

В опытах с макрофитами *Macrocystis* и *Laminaria* было показано, что старые растения менее чувствительны к углеводам нефти, чем их проростки [Manwell, Baker, 1967]. Степень влияния нефти на организмы изменяется со временем года. Так, нефть оказывала большее действие на маршевую растительность зимой, т.е. в период покоя растений [Baker, 1971].

Отмечали также, что под влиянием нефтяных загрязнений может

изменяться сезонная ритмика растений. Например, у *Spartina* максимум жизнедеятельности сдвигался с осени на конец лета [там же].

В ряде случаев наблюдалось стимулирующее действие нефти на физиологическую деятельность водных автотрофов. Выяснено, что у устойчивых к нефти некоторых видов макрофитов наблюдается стимуляция роста [Морозов, Петров, 1972]. Аналогичный эффект был обнаружен в естественных условиях у морских трав [Maskin, 1950]. Но обычно стимулирующий эффект проявляется при действии малых концентраций нефтей и нефтепродуктов [Kauss, Hutchinson, 1973]. О.Г. Миронов и Л.А. Ланская [1969] отмечали, что действие нефти и нефтепродуктов на деление планктонных клеток зависит от концентрации углеводов в воде. Небольшое количество нефтепродуктов оказывало стимулирующее действие на размножение микроорганизмов. Замедление и полное прекращение деления клеток происходит при концентрации нефти (10^{-4} – $1,0$ мл/л).

Отмечали также, что при малых концентрациях венесуэльской нефти происходит усиление фотосинтеза у некоторых видов микроводорослей [Gordon, Prouse, 1973]. Однако большие концентрации сырой нефти довольно скоро останавливали фотосинтез и клетки *Thalassiora pseudomonas* погибали [Pulish, 1974].

А.А. Калугина-Гутник [1975] сообщает о преимущественной гибели красной водоросли *Callitamnium sarcyobosum* после попадания в морскую воду большого количества нефтепродуктов с кораблей.

На малые концентрации углеводов нефти и нефтепродуктов в воде не реагирует *Fucus virsoides*, но погибает при высоких концентрациях [Gesaner, Hammer, 1971]. Действие нефти и нефтепродуктов на околобереговые экосистемы особенно сказывается в литоральной зоне, где концентрация нефти бывает выше. С увеличением глубины отрицательное влияние нефти ослабляется [Bellammy et al., 1967]. В. Норт, М. Ир и К. Клендинг [North et al., 1965], исследовавшие влияние дизельного топлива на *Macrocystis*, отметили, что 0,01%-ная эмульсия нефти не влияла на фотосинтез у макрофита, а 0,1%-ная эмульсия подавила фотосинтетическую активность.

Более токсичными по сравнению с дизельным топливом оказались эмульсии котельного топлива. Уровень ингибирования фотосинтеза водорослей возрастал по мере увеличения концентрации нефти.

Разница в биологическом действии нефти на организмы зависит во многом от свойств ее отдельных фракций [Нельсон-Смит, 1977]. Токсичность углеводов обратна пропорциональна температурам их кипения. Она нарастает от парафинов с прямой цепью к олефинам и циклопарафинам. Наиболее губительное действие на биологические объекты оказывают ароматические соединения. Легкие летучие фракции нефти проявляют биологический эффект сразу после контакта с организмами, тогда как эффекты тяжелых компонентов нефти проявляются позже.

Для исследования механизма влияния углеводов нефти на биологические объекты представляют интерес данные количеств углеводов, попадающих в живые клетки. Известно, что углеводы в незначительных количествах постоянно присутствуют в морской и речной воде, а также в клетках фотоавтотрофов и животных. По Р. Кларку и Дж. Файнли [Clark, Finley, 1974], содержание алканов в организме в норме составляет

10^{-9} г/г. Приблизительно в таком же количестве у автотрофов обнаружены полициклические ароматические углеводороды $1-5 \cdot 10^{-9}$ г/г сухого веса [Слепян и др., 1979].

Полициклические углеводороды найдены во всех морских организмах [Zobell, 1971; Горталум, 1979]. В морском фитопланктоне в основном преобладают нормальные алканы с 15, 17 и 21 углеродными атомами в цепи, а в макрофитах — с 21 — 29 атомами [Clark, 1966]. Алканы с C_{27} – C_{33} у гидроавтотрофов входят в состав воскообразного слоя, предохраняющего растения от неблагоприятных факторов [Farrington, Meyers, 1973].

В условиях нефтяного загрязнения количество углеводов в организме резко возрастает. Количество алканов повышается до 10^{-7} – 10^{-6} г/г [Clark, Finley, 1974]. В таком же размере, т.е. в несколько сот раз, увеличивается количество полициклических углеводов в клетках [Слепян и др., 1979]. Г.М. Горталум [1979], исследовавший накопления полициклических углеводов в морских литоральных водорослях (*Callitamnium*) Балтийского и Черного морей, приводит такие цифры: у макрофитов, обитающих на берегу, содержание углеводов составляло до 10^{-8} г/г, а у плавающих в воде форм — до $2 \cdot 10^{-7}$ г/г.

Отрицательное действие нефтяного загрязнения воды на автотрофы осуществляется в основном двумя способами: в результате прямого контакта с нефтепродуктами [Миронов, 1979, 1980] и вследствие уменьшения фотосинтетически активной радиации под пленкой нефти на поверхности воды [Ottway, 1971]. На диффузию кислорода из атмосферы в воду нефтяная пленка оказывает малое влияние, и потому ее наличие на поверхности воды не сказывается на газообмене автотрофов [Brown, Reid, 1951].

Воздействие углеводов нефти на обитающие в воде автотрофы начинается с контактов молекул углеводов с оболочкой клеток. Прежде всего поверхность клеток должна быть смочена углеводами нефтепродуктов. Скорость и степень их проникновения в цитоплазму зависят от химических свойств нефти и клеточной оболочки. Цитоплазматическая мембрана клеток фотоавтотрофов защищена довольно плотным слоем гидратированных полиуглеводов и потому молекулы нефтепродуктов не могут оказывать мгновенного действия на живые протопласты. Некоторые исследователи считают, что многие бурые водоросли мало чувствительны к нефтяным загрязнениям потому, что имеют плохо смачиваемый углеводами слизистый полисахаридный покров [Stebbins, 1970; Foster et al., 1971].

Попаданию углеводов нефти в клетки могут способствовать всегда присутствующие в воде органические соединения — продукты жизнедеятельности организмов биоценоза. Эти соединения могут образовывать комплексы с углеводами и в таком виде проходить через липидную фазу клеточной мембраны в протопласт [Lee, Benson, 1973].

Вероятно, нефть оказывает биологическое действие через липидный компонент цитоплазматической мембраны [Overbek, Blondeau, 1954]. Нарушение проницаемости последней и потеря тургора клеткой является одним из первых признаков ее поражения.

Вопрос о степени участия водных автотрофных организмов в разру-

шении нефтепродуктов недостаточно ясен. Есть указания, что зеленые водоросли могут утилизировать нефть и таким образом участвовать в самоочищении воды [Нельсон-Смит, 1977; Баталь, 1980]. По-видимому, зеленые водоросли могут сенсibilизировать утилизацию нефти микроорганизмами за счет поставки кислорода, необходимого для окисления углеводородов [Баталь, 1980].

У высших растений процесс биodeградации углеводов изучен лучше [Угрехелидзе, 1976]. Полагают, что, как и в случае микроорганизмов, процесс разрушения гидрофобных молекул углеводов начинается с их гидроксильирования. В дальнейшем оксипроизводные превращаются в органические кислоты. Алканы окисляются монотерминально, а арены — с расщеплением ароматического кольца. В конечном счете углеродный скелет молекулы углеводорода включается в общий метаболизм автотрофной клетки.

Учитывая многие черты сходства в обмене высших растений и водорослей, можно предполагать, что микроводоросли и микрофиты в принципе в состоянии осуществлять внутриклеточный процесс детоксикации углеводородных молекул нефти.

Таким образом, в научной литературе более или менее подробно освещено влияние нефтяных загрязнений на видовой состав и структуру водных биоценозов и физиологические функции организмов. Менее всего изучены биохимические изменения, которые происходят в клетках в результате соприкосновения живой системы с нефтью. Этот вопрос представляется нам наиболее важным, так как все патологические изменения в биоценозах в конечном счете являются функцией изменения молекулярной структуры организмов.

Цель настоящей работы состояла в экспериментальном исследовании влияния нефтяных углеводородов на биохимию клеточных мембран организмов.

В качестве модели исследования были взяты автотрофные организмы, которые являются первичными продуцентами водных биоценозов, их фундаментом. В процессе жизнедеятельности они выделяют в окружающую среду и поглощают из нее много органического вещества, что является условием существования биоклеточных организмов в сообществе. Однако именно "открытость" обмена делает водные сообщества чувствительными к загрязнению среды.

Как было показано выше, наблюдается неодинаковая реакция обитающих в воде автотрофов на нефтяное загрязнение, которое зависит как от морфо-физиологического строения организма, так и от различного углеводородного состава нефтей. Исследовалась степень влияния двух контрастных по отношению друг к другу нефтей на типичного представителя водных биоценозов — цианобактерии (синезеленая водоросль) *Anabaena variabilis*.

В работе были использованы малосмолистая относительно легкая метано-нафтенная нефть Самгорского месторождения Грузии и смолистая тяжелая нафтенно-ароматическая нефть Нафталанского месторождения Азербайджана. В табл. 1 приведены данные о свойствах и составе этих нефтей.

Самгорская нефть относится к типичным промышленным нефтям,

Таблица 1. Физико-химическая характеристика самгорской и нафталанской нефтей

Физико-химические параметры нефти	Самгорская нефть [Топуридзе и др., 1979]	Нафталанская нефть *
Плотность	0,8373	0,9330
Молекулярный вес	240**	329
Вязкость, сст при 20°С	4,69	162,0
Температура застывания, °С	-23	-40
Содержание, вес. %:		
серы	0,17	0,15
азота	0,13	0,21
сернокислых смол	6,0	25,0
силикагелевых смол	6,97	12,5
асфальтенов	0,95	1,13
парафина	14,71	0
Выход светлых фракций, объемные %		
до 200°С	38,0	1,21
до 350°С	71,2	37,4

* По справочнику "Нефти СССР". М.: Химия, 1972. Т. 3.

** Расчетный.

добываемым во многих нефтеносных районах. Это малосернистая, высокопарафинистая, смолистая нефть, выкипающая при 350°С более чем на 70%. В составе бензиновых фракций этой нефти (перегоняемых до 200°С) содержится 61,9–77,5% метановых углеводородов, 18,5–31,2% — нафтенных и 4,0–10,9% — ароматических. В более тяжелых фракциях нефти (200–450°С) также наблюдается значительное преобладание метано-нафтенных углеводородов (79,74–81,95%), причем метановых обычно в 2–2,5 раза больше, чем нафтенных. Содержание ароматических углеводородов во фракциях от 200 до 450°С составляет по весу от 9,37 до 18,3%.

Нафталанская нефть относится к чрезвычайно редкому типу нефтей. Она обладает большой биологической активностью и применяется в лечебных целях. Почти по всем параметрам нафталанская нефть отличается от самгорской. Они сходны только по невысокому содержанию гетероатомов — серы и азота. В составе лечебной нафталанской нефти практически отсутствуют легкие фракции и метановые углеводороды. Вся нефть состоит из циклических структур — нафтенных и ароматических, среди которых значительную роль играют полициклические нафтенные углеводороды [Караев, и др., 1959]. Ю.Т. Мамедалиев [1953] выделяет в данной нефти гибридную нафтенно-ароматическую систему. Содержание ароматических углеводородов в нафталанской нефти равно 23–25%. Канцерогенных свойств у углеводородов нафталанской нефти не обнаружено [Караев и др., 1959]. Смолистая часть нафталанской нефти отличается от смол других нефтей и представляет собой, по-видимому, высококонденсированную систему циклических углеводородных структур с малым количеством гетероциклов.

В составе нафталанской нефти присутствуют сильные биологические

стимуляторы, которые при оптимальной дозировке оказывают положительное влияние на организм, восстанавливая некоторые из его нарушений.

Вместе с тем отмечаются и некоторые токсичные свойства нафталанской нефти, проявляющиеся, как правило, при неумеренной дозировке: наблюдаются уменьшение гемоглобина и числа эритроцитов, увеличение числа ретикулоцитов, выпадение шерсти у животных. Токсичные свойства нефти проявляются при попадании в нее легких фракций с метановыми углеводородами из более глубоких горизонтов [Караев и др., 1959].

Культуру цианобактерии *Anabaena variabilis* выращивали на среде Кратца—Майерса при освещении интенсивностью 2000 лк и температуре +5, +15 и +35°C. Легкую фракцию самгорской нефти (30–150°C) и нафталанскую нефть добавляли в колбы с цианобактериями из расчета 0,5 мл/л на восьмье сутки со дня посева культуры.

Поскольку биологические мембраны представляют собой высокофункционально активные образования клетки и являются главным барьером на пути углеводов в клетку, мы проанализировали влияние нефти на некоторые структурные и функциональные свойства мембран (*Anabaena variabilis*).

Для наблюдения за изменением структуры биомембраны цианобактерий при интоксикации среды нефтью исследовали жирнокислотный состав их липидов. Последний определяли методом газожидкостной хроматографии на хроматографе ЛХМ — 8 МД с пламенно-ионизационным детектором. Длина хроматографической колонки 2 м, диаметр 3 мм. Насадка: неподвижная жидкая фаза — 8% PEGA (полиэтилен-гликольадипинат) на носителе Chromaton N-AW-HMDS с размером частиц 80–100 меш. Температура колонок в термостате хроматографа 185°, давление газа-носителя гелия 5 атм, скорость потока гелия в колонках — 35 мл/мин.

Для анализа функциональной активности биомембран водоросли использовали явление длительного послесвечения фотосинтетических мембран инкатных клеток. Послесвечение водоросли происходит в результате обращения первичных фотохимических реакций в фотосинтетической электронно-транспортной цепи и зависит от скорости нормальных процессов утилизации энергии света в клетке [Шувалов, Литвин, 1969]. Явление длительного послесвечения (ДПС) в настоящее время широко используется в целях быстрой регистрации состояния фотосинтезирующих организмов и их устойчивости к экстремальным факторам [Тарусов, Веселовский, 1978].

Длительное послесвечение культуры цианобактерии регистрировали в лаборатории на стационарной установке с двухдисковым фосфороскопом. ДПС возбуждали белым светом от 75-ваттной лампы типа ГКМ и регистрировали фотоэлектронным умножителем (ФЭУ-79). В полевых условиях использовали переносной портативный вариант установки для регистрации длительного послесвечения.

Жирнокислотный состав липидов биологических мембран должен обеспечивать нормальное функционирование вмонтированных в эту мембрану ферментативных белков. В различных температурных условиях обитания пойкилотермных организмов липиды мембран находятся в жидком состоянии, что необходимо для конформационных переходов в белках во время

Таблица 2. Состав жирных кислот культуры цианобактерии *Anabaena variabilis* разного возраста, выращенной при температурах 5, 15 и 35°C

Жирные кислоты	Содержание жирных кислот, % от общего количества					
	5° С		15° С		35° С	
	Возраст в сутках					
	7	60	10	30	7	30
Каприновая C _{10:0}	2,41	3,58	1,85	Не обнаружено		
Лауриновая C _{12:0}	0,74	1,48	3,50	7,15	2,21	2,50
Миристиновая C _{14:0}	3,65	1,03	Не обн.	1,07	2,61	2,80
Пентадециловая C _{15:0}	Не обн.		"	Не обн.	0,40	0,50
Пальмитиновая C _{16:0}	29,50	23,71	33,66	27,30	26,28	24,55
Пальмитолеиновая C _{16:1}	10,91	12,94	10,72	13,87	16,75	14,43
Маргариновая C _{17:0}	3,75	5,85	4,14	5,39	0,90	0,90
Стеариновая C _{18:0}	7,57	2,44	5,03	2,02	3,31	2,30
Олеиновая C _{18:1}	12,59	5,45	6,36	5,50	18,35	27,96
Линолевая C _{18:2}	4,24	6,75	5,39	7,10	22,37	18,04
Линоленовая C _{18:3}	25,21	36,78	30,13	30,57	3,21	1,80
Эйкозеновая C _{20:1}	2,86	0,70	Не обнаружено			

их ферментативной деятельности. Вязкость мембранных липидов определяется степенью ненасыщенности жирных кислот. Чем больше ненасыщенных жирных кислот, тем жиже мембраны и ниже температура существования живого организма. Клетки и организм способны в зависимости от температуры среды изменять жирнокислотный состав биомембран [Александров, 1975]. Можно было предположить различную реакцию мембранного аппарата водоросли с разным жирнокислотным составом. В связи с этим мы прежде всего проанализировали влияние температуры культивирования клеток *Anabaena variabilis* на липиды мембран.

Жирнокислотный состав липидов клеток, выращенных при 5 и 15°C, практически не различался (табл. 2). У клеток, культивированных при 35°C, возрастало содержание олеиновой (C_{18:1}) и линолевой (C_{18:2}) кислот. В то же время количество линоленовой кислоты уменьшалось (C_{18:3}). Такое перераспределение ненасыщенных жирных кислот указывает на уменьшение количества ненасыщенности у клеток водоросли, выращиваемой при высокой температуре. Это наблюдение согласуется с известным в литературе фактом о росте степени ненасыщенности липидов биомембран клеток у организмов, существующих при пониженных температурах [Александров, 1975]. Возраст культуры в зависимости от температуры выращивания по-разному сказывался на жирнокислотном составе липидов. У культуры, выращиваемой при 5°C, мы наблюдали возрастание ненасыщенности липидов в основном за счет повышения содержания линоленовой кислоты (C_{18:3}). У клеток, росших при температуре +15°C, существенных изменений в жирнокислотном составе липидов не наблюдалось даже в течение нескольких месяцев выращивания. Культивирование *Anabaena variabilis* при температуре +35°C приводило к прогрессивному возрастанию олеиновой кислоты (C_{18:1}) и снижению лино-

Таблица 3. Состав жирных кислот цианобактерии *Anabaena variabilis*, выращенной при +15 и +35°C на третьи и двадцать вторые сутки после внесения в среду нафталанской нефти (концентрация – 0,5 мл/л)

Жирные кислоты	Содержание жирных кислот, % от общего количества							
	15° С				35° С			
	Возраст в сутках							
	10 (3) *		30 (22)		10 (3)		30 (22)	
	контроль	нефть	контроль	нефть	контроль	нефть	контроль	нефть
Каприновая C _{10:0}	1,85	4,14	Не обнаружено		Не обнаружено			
Лауриновая C _{12:0}	3,50	Не обн.	7,15	1,98	2,51	2,23	2,51	2,11
Миристиновая C _{14:0}	Не обн.	”	1,07	0,41	2,33	2,08	2,81	2,31
Пентадециловая C _{15:0}	”	”	Не обнаружено		0,36	0,41	0,50	0,70
Пальмитиновая C _{16:0}	33,66	32,48	27,30	35,48	25,41	28,96	24,55	30,58
Пальмитолеиновая C _{16:1}	10,72	9,18	13,87	9,63	16,87	15,31	14,43	13,48
Маргариновая C _{17:0}	4,14	3,00	5,39	4,28	0,81	1,13	0,90	1,31
Стеариновая C _{18:0}	5,03	5,64	2,02	3,72	3,30	3,49	2,30	2,72
Олеиновая C _{18:1}	6,36	8,58	5,50	5,47	21,31	20,03	27,96	24,14
Линолевая C _{18:2}	5,39	7,38	7,10	8,63	16,91	13,76	18,04	14,99
Линоленовая C _{18:3}	30,13	29,11	30,57	30,35	2,11	1,61	1,80	1,21
Арахидовая C _{20:0}	Не обнаружено				0,61	Не обнаружено		

* В скобках здесь и далее приводится время интоксикации нефтью.

левой (C_{18:2}), по-видимому, в результате старения культуры (2–3 месяца выращивания).

Добавление в восьмидневную суспензию клеток водорослей сырой нафталанской нефти, богатой тяжелыми смолистыми веществами (–0,5 мл/л), не приводило в течение месяца наблюдений к изменению жирнокислотного состава липидов (табл. 3).

Из табл. 3 видно, что каких-либо изменений в количестве ненасыщенных жирных кислот в составе липидов не было обнаружено как у клеток, выращенных при температуре +15°C, так и у клеток, которые росли при температуре +35°C. Лишь в небольшой степени увеличилось содержание пальмитиновой кислоты (C_{16:0}). Таким образом, независимо от исходного жирнокислотного состава биомембран нафталанская нефть, по-видимому, не влияет на структуры их липидной фазы.

В отличие от нафталанской нефти обогащенная легкими метаново-алифатическими углеводородами самгорская нефть уже через два дня после ее прибавления в культуру водорослей на 1/3 уменьшала количество линоленовой кислоты (C_{18:3}) в клетке (табл. 4). Однако через несколько недель контакта культуры клеток с нефтью жирнокислотный состав восстанавливался до нормы, что, вероятно, указывает на адаптацию водоросли к загрязнению углеводородами нефти.

Поскольку изменение в липидном составе клеток мы наблюдали только в первые дни интоксикации самгорской нефтью и поскольку первичные поражения организмов связывают с ее легкими фракциями [Baker, 1971], мы исследовали влияние на жирнокислотный состав клеток *Anabaena*

Таблица 4. Состав жирных кислот у культуры цианобактерии *Anabaena variabilis*, выращенной при +15°C на третьи и двадцать вторые сутки после внесения в среду самгорской нефти или ее легкой фракции 30–150° (концентрация – 0,5 мл/л)

Жирные кислоты	Содержание жирных кислот, % от общего количества					
	Возраст в сутках					
	10 (3) *		30 (22)		10(3)	
	контроль	нефть	контроль	нефть	контроль	легкая фракция
Каприновая C _{10:0}	1,85	6,37	4,80	4,20	1,90	0,27
Лауриновая C _{12:0}	3,50	3,89	4,50	3,41	9,10	2,25
Миристиновая C _{14:0}	Не обнаружено		0,50	0,33	0,30	0,48
Пентадециловая C _{15:0}	"		0,10	0,30	Не обнаружено	
Пальмитиновая C _{16:0}	33,66	35,03	27,30	31,01	30,70	34,66
Пальмитолеиновая C _{16:1}	10,72	9,95	16,60	15,25	12,90	14,82
Маргариновая C _{17:0}	4,14	1,26	3,30	3,04	3,00	3,23
Стеариновая C _{18:0}	5,03	6,85	4,20	3,83	2,70	2,79
Олеиновая C _{18:1}	6,36	9,42	11,70	11,04	6,50	8,46
Линолевая C _{18:2}	5,39	7,66	9,20	10,72	9,50	10,61
Линоленовая C _{18:3}	30,13	20,29	17,40	16,15	20,30	21,36
Арахидовая C _{20:0}	Не обнаружено				0,50	1,29

* В скобках приводится время интоксикации нефтью.

variabilis фракции самгорской нефти, кипящей при температуре от 30 до 150°C. Как видно из табл. 4, легкая фракция нефти не оказала заметного влияния на состав жирных кислот липидов водорослей. По-видимому, биологическое действие самгорской нефти связано с большей концентрацией легкой фракции нефти, чем та, которая была испытана в наших опытах.

Таким образом, только самгорская нефть и лишь в первые дни загрязнения ею среды обитания водорослей вызывала изменения в липидной фазе биомембран клеток.

Использованное в данной статье для характеристики функционального состояния водорослей явление длительного послесвечения отражает функционирование фотосинтетической электронной транспортной цепи клеток. Температура выращивания клеток и присутствие углеводов нефти в среде оказывали заметное влияние на функционирование фотосинтетических мембран. Клетки, выращенные при 35° С, имели более высокий уровень излучения длительного послесвечения по сравнению с клетками, культивируемыми при 15°С, что указывает на большую функциональную активность первых. Самгорская и нафталанская нефти после введения в среду инкубации вызывали противоположные реакции биомембран. Направленность реакции не зависела от температуры среды, но была сильнее выражена у клеток, выращенных при +15°С. Уменьшение степени ненасыщенности липидов при интоксикации культуры углеводородами самгорской нефти сопровождалось замедлением фотосинтетического электронного транспорта. У клеток, выращенных при +35°С, судя по индукционной кривой послесвечения, которая отражает переходный адап-

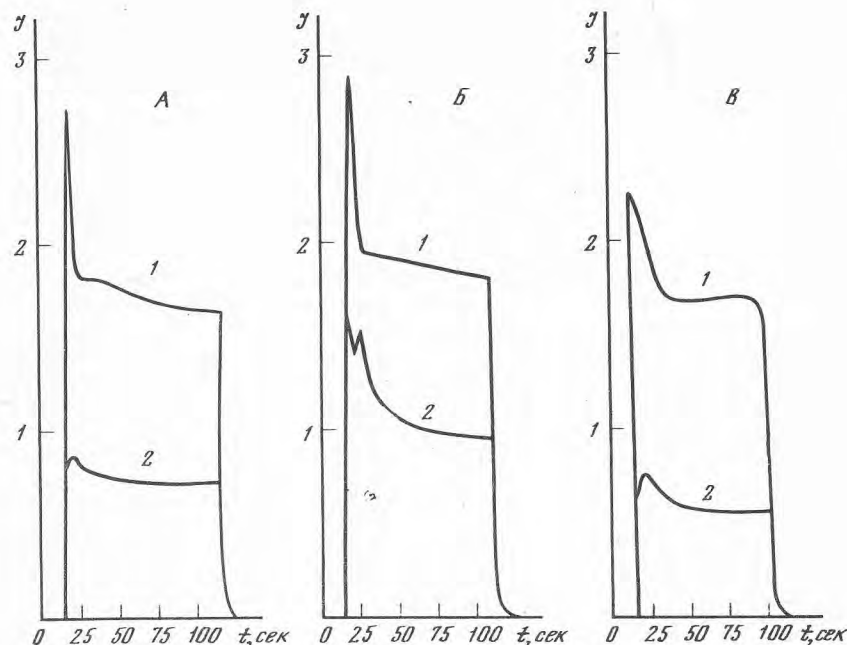


Рис. 1. Влияние сырой нефти на индукционные кривые длительного послесвечения 10-дневной культуры *Anabaena variabilis*

А — контрольные культуры; Б — культуры, выращенные под воздействием нафталанской нефти; В — культуры, выращенные под воздействием самгорской нефти
1 — культура, выращенная при температуре $+35^{\circ}\text{C}$; 2 — культура, выращенная при температуре $+15^{\circ}\text{C}$

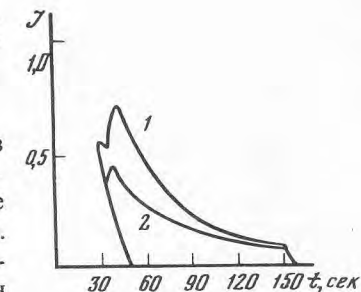
Кривые послесвечения записаны через два дня после внесения нефти (концентрация 0,5 мл/л) в культуру цианобактерий

тивный процесс в фотосинтетических мембранах, после начала освещения объекта (рис. 1) тоже происходило замедление фотосинтетического потока. Но эти изменения в культуре, выращенной при 35°C , были выражены в меньшей степени, чем у клеток, выращенных при температуре 15°C . Нафталанская нефть давала эффект, противоположный тому, который наблюдался в случае интоксикации углеводородами самгорской нефти. Скорость фотосинтетического электронного транспорта увеличивалась. Эффект был больше у клеток, растущих при температуре $+15^{\circ}\text{C}$. Интересно, что нафталанская нефть не вызывала в этих опытах сдвига в жирнокислотной структуре липидов биомембран.

Сопоставление эффектов двух типов нефтей на жирнокислотный состав биомембран и их функциональную активность показывает, что длительное послесвечение является более чувствительным приемом наблюдения за реакцией автотрофных клеток на загрязнение окружающей среды углеводородами нефти.

Учитывая, что загрязнение среды углеводородами вызывало изменение функциональной активности биомембран даже в тех случаях, когда жирнокислотный состав их липидов оставался неизменным, можно предполо-

Рис. 2. Индукционные кривые послесвечения водорослей *Ulva rigida*, растущих в чистой воде (1) и в воде, загрязненной дизельным топливом (2)



жить, что мишенью действия углеводородов нефти является не сама липидная фаза биомембран, а те белки-ферменты, которые локализованы в липидном слое мембран.

Портативный прибор для регистрации длительного послесвечения был использован для анализа действия углеводородов нефти, загрязняющих водные акватории в пределах большого порта, на водные автотрофы (водоросль *Ulva rigida* и др.). Анализ характеристик послесвечения *Ulva rigida* и некоторых других макрофитов, взятых из загрязненных нефтепродуктами (дизельным топливом) и чистых вод, показал угнетенность фотосинтетической активности объектов, подвергавшихся систематическому действию углеводородов (рис. 2). Эти наблюдения говорят о перспективности использования явления длительного послесвечения фотосинтезирующих организмов для изучения влияния нефтяных загрязнений на водные фотоавтотрофы.

Литература

- Александров В.Я. Клетки, макромолекулы и температура. Л.: Наука, 1975.
Батаев М.М. Изучение закономерностей деградации нефти гидробионтами разных трофических уровней: Автореф. дис. . . канд. биол. наук. М., 1980.
Горталум Г.М. О накоплении бензапирена в морских водорослях. — В кн.: Растения и химические канцерогены. Л.: Наука, 1979.
Дивавин И.А., Цымбал И.М. Изменение полимерности ДНК как метод выявления чувствительности некоторых водорослей к нефтяному загрязнению. — В кн.: Биологическое самоочищение и формирование качества воды. М.: Наука, 1975.
Калузина-Гутник А.А. Фитобентос Черного моря. Киев: Наук. думка, 1975.
Караев А.И., Алиев Р.К., Бабаев А.З. Нафталанская нефть, ее биологическое действие и лечебное применение. М.: Изд-во АН СССР, 1959.
Мамедалиев Ю.Г. О химическом составе действующего начала лечебной нафталанской нефти. Баку: Изд-во АН АзССР, 1953.
Миронов О.Г. Нефть и морские организмы. — В кн.: Человек и биосфера. М.: Изд-во МГУ, 1979.
Миронов О.Г. Развитие планктонных водорослей в условиях нефтяного загрязнения. — В кн.: Человек и биосфера. М.: Изд-во МГУ, 1980.
Миронов О.Г., Ланская Л.А. Развитие микроскопических водорослей в морской воде, загрязненной углеводородами. — В кн.: Продукционно-биологические процессы в южных морях. Киев: Наук. думка, 1969.
Морозов Н.В., Петров Г.Н. Опыты по самоочищению воды от нефти в присутствии водной растительности. — В кн.: Теория и практика биологического самоочищения загрязненных вод. М., 1972.
Нельсон-Смит А. Нефть и экология моря. М.: Прогресс, 1977.
Роухияйнен М.И., Миронов О.Г. Развитие некоторых мелких жгутиковых водорослей в присутствии углеводородов. — В кн.: Гидробиологические исследования северо-восточной части Черного моря. Ростов, 1973.
Слепян Э.И., Шейнман Н.А., Андреева З.А., Фирсов Г.А., Эрик В.А., Кольчевский А.Г. Содержание бензапирена в опадающих листьях. — В кн.: Растения и химические канцерогены. Л.: Наука, 1979.

- Тарусов Б.Н., Веселовский В.А. Сверхслабые свечения растений и их прикладное значение. М.: Изд-во МГУ, 1978.
- Топуридзе Л.Ф., Хитири Г.Ш., Меликадзе Л.Д. Исследование самгорской нефти. — Изв. АН СССР. Сер. хим., 1979, т. 5, № 1.
- Угрехелидзе Д.Ш. Метаболизм экзогенных алканов и ароматических углеводородов в растениях. Тбилиси: Мецниереба, 1976.
- Шувалов В.А., Литвин Ф.Ф. О механизме длительного послесвечения листьев растений и запасании энергии в реакционных центрах фотосинтеза. — В кн.: Молекулярная биология, 1969, т. 3, вып. 1.
- Baker J.M. The effects of oils on plants. — Environ. Pollut., 1970, vol. 1.
- Baker J.M. The effects of oils on plant physiology. — Mar. Pollut. Bull., 1971, vol. 1.
- Bellamy D.J., Clarke P.H., John D.M. et al. Effects of pollutions from the Torrey Canyon on littoral sublittoral ecosystems. — Nature, 1967, vol. 216.
- Brown S.O., Reid B.L. Experiments to test the diffusion of oxygen through a surface layer of oil. Texas A Research Foundation, College Station, 1951.
- Burrows E.M., Rybus C. Laminaria saccharina and Marine pollution. — Northeast England Mar. Pollut. Bull., 1971, vol. 2.
- Clark R.C. Saturated hydrocarbons in marine plants and sediments. M.S. the Dep. of Geol. and Geophys. Cambridge (Mass.), 1966.
- Clark R.C., Finley J.S. Acute effects of out board motor effluent on two marine shell fish. — Environ. Sci. and Technol., 1974, vol. 8.
- Diaz-Piferrer M. The effects of an oil on the shore Guanica, Puerto-Rico. Assoc. Island mar. Lab. 4th Meet. Curacao, 1962.
- Farrington J.W., Meyers P.A. Hydrocarbons in marine environment. — In: Review of recent literature concerning the organic chemistry of environment. L.: Chem. Soc. U.K., 1973.
- Foster M., Charters A.C., Nenahul M. The Santa Barbara oil spill. Part. Initial quantities and distribution of pollutant crude oil. — Environ. Pollut., 1971, vol. 2.
- Gesener F., Hammer L. Physiologische Untersuchungen über die Toleranz von Fucus virgoides (Don.). — Hydrobiol., 1971, vol. 56.
- Gordon K.S., Prouse N.J. The effects of three oils on marine phytoplankton photosynthesis. — Mar. Biol., 1973, vol. 22, N 4.
- Kauss P.R., Hutchinson T.C. The toxicity of crude oil and its components to fresh-water algal. — In: Proc. Joint Conf. prevention and control of oil spills. Wash., 1973.
- Lee R.F., Benson A.A. Fate of petroleum in the sea. Biological aspects. — In: Background papers. Workshop on petroleum in the marine environment. Wash: Nat. Acad. Sci., 1973.
- Mackin J.G. A comparison of the effects of the application of crude petroleum to marsh plants and to oysters. Texas A and M Research Foundation, College Station, 1950.
- Manwell C., Baker C.M. A study of detergent pollution by molecular methods; starch gel electrophoresis of a variety of enzymes and other proteins. — J. Mar. Biol. Assoc. U.K., 1967, vol. 47.
- North W.J., Ir M.N., Clendenning K.A. Successive biological changes observed in a marine cove exposed to a large spillage of mineral oil. Pollutions marines per les microorganismes et les Produits pétroliers. P., 1965.
- Overbeek J., Blondeau R. Mode of action phytotoxic oils. — Weeds, 1954, vol. 3.
- Ottway S.M. The comparative toxicity of crude oils. — In: The ecological effects of oil pollution on littoral communities. L.: Inst. of Petrol., 1971.
- Pulish W.M., Ir M.N., Winters K., Van Baalen C. The effects of a N 2 fuel oil and two crude oils on the growth and photosynthesis of microalgae. — Mar. Biol., 1974, vol. 28, N 2.
- Ranwell D.S. Extent of damage to coastal habitats due to the "Torrey Canyon" incident. — Field Stud., 1968, vol. 2.
- Stebbins N.E. Recovery of salt marsh in Brittany 16 months after heavy pollution by oil. — Environ. Pollut., 1970, vol. 1.
- Zobell C.E. Sources biodegradation of carcinogenic hydrocarbons. — In: Proc. Joint Conf. on prevention and control of oil spill. Wash.: Amer. Petrol. Inst., 1971, vol. 44.

V.A. VESELOVSKY, V.S. VSHIVTSEV,
Yu.I. PIKOVSKY, K.A. NIKITINA

The impact of oil hydrocarbons on the autotrophic component of the aquatic ecosystems

The authors discuss the impact of two oils with different chemical structure on the physiological-biochemical functions and structure of biologic membranes of *Anabaena variabilis*, a typical representative of aquatic biocoenoses. It came out that at different temperatures (+5°, +15°, +35°) and cultivation time (10 and 30 days) there was some redistribution in the composition of non-saturated fat acids, such as oleic, linoleic, linolenic ones. When affected by oil rich in paraffin hydrocarbons at cultivation temperature 15° and concentration 0.5 ml/l, the linolenic acid content in the soil was found to considerably decrease, as well as the photosynthetic activity of the cells. No effect of the kind was observed with oil free of paraffin hydrocarbons.

СОДЕРЖАНИЕ

Предисловие	5
Часть I	
ТЕХНОГЕННЫЕ ПОТОКИ МИНЕРАЛЬНЫХ И ОРГАНИЧЕСКИХ ВЕЩЕСТВ И ГЕОХИМИЯ ЭКОСИСТЕМ	7
Н.Ф. Глазовский. Техногенные потоки вещества в биосфере	7
Н.П. Солнцева. Влияние техногенных потоков на морфологию лесных почв в районах нефтедобычи	29
Ю.К. Шуйцев. Деградация и восстановление растительных сообществ тайги в сфере влияния нефтедобычи	70
Н.П. Солнцева, Е.М. Никифорова. Влияние техногенных потоков на геохимию лесных почв (в связи с угледобычей)	82
М.И. Рожкова, Т.А. Алексеева, Т.А. Теплицкая. Получение и исследование узких фракций полициклических ароматических углеводородов техногенных потоков	120
Часть II	
ПРИРОДНЫЕ И ТЕХНОГЕННЫЕ ГЕОХИМИЧЕСКИЕ АНОМАЛИИ И УСТОЙЧИВОСТЬ ЭКОСИСТЕМ	131
М.А. Глазовская. Природные аналоги техногенных геохимических аномалий	131
П.В. Елпатьевский, Т.Н. Луценко. Распределение и формы нахождения тяжелых металлов в горных буроземах Сихотэ-Алиня как индикатор техногенного ореола рассеяния	166
Н.П. Солнцева. Геохимическая устойчивость природных систем к техногенным нагрузкам (принципы и методы изучения, критерии прогноза)	181
Часть III	
ОПЫТ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ ПРОЦЕССОВ САМООЧИЩЕНИЯ ПОЧВ ОТ ТЕХНОГЕННЫХ ВЕЩЕСТВ В РАЗЛИЧНЫХ БИОКЛИМАТИЧЕСКИХ УСЛОВИЯХ	217
А.Г. Ахмедов, Н.П. Ильин, Н.М. Исмаилов, Ю.И. Пиковский. Особенности деградации тяжелой нефти в светлых серо-коричневых почвах сухих субтропиков Азербайджана	217
Н.М. Исмаилов. Нефтяное загрязнение и биологическая активность почв	227
С.М. Самосова, Г.П. Курбский, Г.М. Усачева, Т.С. Губайдуллина, В.И. Фильченкова, В.В. Абушаева. Изменение микрофлоры и состава нефти в черноземной почве Татарии в первый период после загрязнения	235
Н.П. Ильин, И.Г. Калачникова, Т.И. Каркишко, А.А. Оборин, Ю.И. Пиковский, Г.В. Постоногова, В.И. Трипольский. Наблюдения за самоочищением почв от нефти в средней и южной тайге	245
В.А. Веселовский, В.С. Вшивцев, Ю.И. Пиковский, К.А. Никитина. Влияние углеводородов нефти на автотрофный компонент водных экосистем	259

CONTENTS

Preface	5
Part 1	
TECHNOGENIC FLOWS OF MINERAL AND ORGANIC SUBSTANCES AND GEOCHEMISTRY OF THE ECOSYSTEMS	7
N.F. Glazovsky. Technogenic substance flows in the biosphere	7
N.P. Solntseva. Impact of technogenic flows in the oil mining regions on the morphology of forest soils	29
Yu. K. Shuitsev. Degradation and recovery of the taiga phytocoenoses in the areas affected by oil mining	70
N.P. Solntseva, Ye. M. Nikiforova. Impact of technogenic flows on the forest soils geochemistry in areas of coal mining	82
M.I. Rozhkova, T.A. Alekseyeva, T.A. Teplitskaya. Separation and investigation of simplified fraction of polycyclic aromatic hydrocarbons in the thechnogenic flows	120
Part 2	
NATURAL AND TECHNOGENIC GEOCHEMICAL ANOMALIES AND STABILITY OF ECOSYSTEMS	131
M.Z. Glazovskaya. Analogues of technogenic geochemical anomalies in nature	131
P.V. Yelpat'evsky, T.N. Lutsenko. Distribution and forms of heavy metals in the Sikhote-Alin's brown forest soils as indicating a technogenic dispersion area	166
N.P. Solntseva. Geochemical resistance of natural systems to the technogenic impact (basic principles, methods of research, criteria for the forecast)	181
Part 3	
EXPERIMENTAL INVESTIGATION OF THE SOIL SELF-PURIFICATION PROCESSES UNDER DIFFERENT BIOCLIMATIC CONDITION	217
A.G. Akhmetov, N.P. Il'in, N.M. Ismailov, Yu.I. Pikovsky. Degradation of heavy oil in light grey-cinnamonic soils of Azerbaidjan dry subtropics	217
N.M. Ismailov. Oil pollution and soil biological activity	227
S.M. Samosova, G.P. Kyrbsky, G.M. Usacheva, T.S. Gubaidullina, V.I. Filchenkova, V.V. Abushaeva. Chinges in soil microflora and in oil composition in a Tatarian chernozem in the first post-pollution period	235
N.P. Il'in, I.G. Kalachnikova, T.I. Karkishko, A.A. Oborin, Yu.I. Pikovsky, G.V. Postonogona, V.I. Tripolsky. Observation over soil self-purification after oil pollution in the middle and southern taiga	245
V.A. Veselovsky, V.S. Vshittvsev, Yu.I. Pikovsky, K.A. Nikitina. The impact of oil hidrocarbons on the autotrophic component of the aquatic ecosystems	259

УДК 550.4+577.4

Глазовский Н.Ф. — Техногенные потоки вещества в биосфере. — В кн.: Добыча полезных ископаемых и геохимия природных экосистем. М.: Наука, 1982.

Рассматривается геохимическое значение техногенеза. Предложено понятие геохимических кларков ноосферы и дана их ориентировочная оценка. Для характеристики техногенного геохимического значения предлагается использовать ряд специальных показателей. Установлены основные миграционные потоки для ряда элементов и определены глобальные показатели их техногенной миграции. Рассчитано техногенное давление угля и нефти в различных районах мира, в том числе и в СССР, и показано пространственное распределение техногенного давления серы на территории нашей страны.

Табл. 14. Ил. 4. Библиогр. 57 назв.

УДК 631.61:550.4

Солнцева Н.П. Влияние техногенных потоков на морфологию лесных почв в районах нефтедобычи. — В кн.: Добыча полезных ископаемых и геохимия природных экосистем. М.: Наука, 1982.

Рассматриваются закономерности изменения морфологии почв под влиянием техногенных потоков разного состава (сточных высокоминерализованных вод и нефти), на макро-, мезо- и микроуровнях. Выявлены диагностические признаки трансформации почв при нефтедобыче: а) специфичные для определенного класса геохимических нагрузок; б) характерные для всех трансформированных почв в районах нефтепромыслов. Выявленные формы морфологической трансформации характеризуются различной устойчивостью во времени. Конкретные соотношения в почвах устойчивых и относительно неустойчивых морфологических изменений служат достаточно надежным критерием для определения стадий трансформации почвенных процессов.

Табл. 8. Ил. 10. Библиогр. 14 назв.

УДК 502.757:622.323

Шуйцев Ю.К. Деградация и восстановление растительных сообществ тайги в сфере влияния нефтедобычи. — В кн.: Добыча полезных ископаемых и геохимия природных экосистем. М.: Наука, 1982.

Изложены результаты исследований, проведенных автором в пределах нефтедобывающих районов Пермской и Тюменской областей. Установлены основные закономерности восстановления нарушенного растительного покрова, которые определяются характером окружающей растительности, почвенно-гидрологическими условиями, типом воздействия, видом загрязнителей и путями их поступления.

При полном сведении растительного покрова механическим путем первоначально формируются группировки с господством мать-мачехи, иван-чая и злаков. В дальнейшем они замещаются злаковыми сообществами. В случае воздействия минерализованных вод или нефти, приводящего к гибели основной массы растений, восстановление также идет преимущественно через злаковое разнотравье. Помимо этого, нефтяное загрязнение вызывает анатомо-морфологические изменения растений, у которых отмечается либо карликовость, либо гигантизм, появляются опухоли и некрозы, изменяется окраска растений.

Табл. 1. Ил. 4. Библиогр. 1 назв.

УДК 550.4:622.333:631.4

Солнцева Н.П., Никифорова Е.М. Влияние техногенных потоков на геохимию лесных почв (в связи с угледобычей). — В кн.: Добыча полезных ископаемых и геохимия природных экосистем. М.: Наука, 1982.

Рассмотрены основные типы техногенных потоков, характерных для районов угледобычи, состав и свойства отвалов вскрышных пород разного времени отсыпки и геохимия связанных с ними потоков загрязнителей. Вводится понятие "техногенный делювий". Показаны особенности геохимической трансформации лесных почв, попадающих в среду влияния техногенных потоков. Установлены особенности формирования техногенных геохимических аномалий разного состава, размеров и контрастности. Выявлены как положительные, так и отрицательные геохимические аномалии. Устойчивые положительные аномалии одних элементов могут пространственно совмещаться с устойчивыми аномалиями других элементов. Показана зависимость состава аномалий от геохимических особенностей исходных ландшафтов, принявших техногенные потоки.

Табл. 11. Ил. 14. Библиогр. 22 назв.

УДК 502.76:661.715.6:543.544

Рожкова М.И., Алексеева Т.А., Теплицкая Т.А. Получение и исследование узких фракций полициклических ароматических углеводородов техногенных потоков. — В кн.: Добыча полезных ископаемых и геохимия природных экосистем. М.: Наука, 1982.

Статья посвящена разработке методики разделения малых количеств широкой гаммы токсичных и канцерогенных полициклических ароматических углеводородов (ПАУ) с использованием тонкослойной хроматографии на закрепленном слое силикагеля. Показана эффективность применения этой методики для последующего исследования ПАУ методами низкотемпературной спектрофлуориметрии в матрицах Шпольского. Предлагаются оптимальные варианты подбора растворителей для экстракции и хроматографии. Приведены списки ПАУ, характерных для различных объектов окружающей среды.

Табл. 5. Библиогр. 22 назв.

УДК 550.4+577.4+631.4

Глазовская М.А. Природные аналоги техногенных геохимических аномалий. — В кн.: Добыча полезных ископаемых и геохимия природных экосистем. М.: Наука, 1982.

Изучено два геохимически аномальных ландшафта, сформировавшихся под воздействием кислых сульфатных вод зоны окисления медноколчеданного месторождения на Южном Урале и щелочных хлоридных вод, обогащенных бором и молибденом на грязевых вулканах Восточного Азербайджана. Выявлены уровни накопления и закономерности распределения микроэлементов в почвах, в золе растений и животных. Установлено, что накопление микроэлементов в растениях контролируется не только их содержанием в почвах и индивидуальными биологическими особенностями растений, но также и кислотно-щелочными условиями почв и вод. Показано изменение геохимической структуры растений при избыточном содержании микроэлементов в почвах: изменяется характер распределения элементов между органами растений и соотношения между элементами, что, возможно, является приспособительской реакцией организмов к геохимически аномальным условиям. Исследования геохимии редких природных ландшафтов необходимы для разработки теории и практики геохимических мелиораций, направленных к ослаблению и ликвидации техногенных нарушений экологической обстановки.

Табл. 15. Ил. 10. Библиогр. 16 назв.

УДК 622.34+631.4+550.4

Елпатьевский П.В., Луценко Т.Н. Распределение и формы нахождения тяжелых металлов в горных буроземах Сихотэ-Алиня как индикатор техногенного ореола рассеяния. — В кн.: Добыча полезных ископаемых и геохимия природных экосистем. М.: Наука, 1982.

На основании селективного фазового анализа тяжелых металлов в горном буроземе, находящемся в сфере воздействия свинцово-плавильного завода, установлены закономерности перераспределения по профилю почв свинца, кадмия.

Распределение валового содержания металлов с накоплением у поверхности, распределение значений коэффициентов аномальности и наличие слабо закрепленных в почве неокристаллизованных форм тяжелых металлов являются индикатором техногенной аномалии.

Табл. 8. Библиогр. 22 назв.

УДК 550.4+577.4

Солнцева Н.П. Геохимическая устойчивость природных систем к техногенным нагрузкам (принципы и методы изучения, критерии прогноза). — В кн.: Добыча полезных ископаемых и геохимия природных экосистем. М.: Наука, 1982.

Дается определение понятия "устойчивость". Рассматриваются основные направления исследований. Анализируются факторы, контролирующие устойчивость природных систем к техногенным нагрузкам. Приводятся схема группировки техногенных факторов в соответствии с характером их возможной деструктивной активности, примеры относительной устойчивости геохимических свойств почв при их загрязнении и скорости возможных изменений природных процессов и свойств природных систем.

Вводится принцип совместимости техногенных воздействий и свойств природных систем как возможный критерий их устойчивости, дается обоснование трех уровней нормирования воздействий на среду.

Табл. 9. Ил. 6. Библиогр. 31 назв.

УДК 622.323:631.4

Ахмедов А.Г., Ильин Н.П., Исмаилов Н.М., Пиковский Ю.И. Особенности деградации тяжелой нефти в светлых серо-коричневых почвах сухих субтропиков Азербайджана. — В кн.: Добыча полезных ископаемых и геохимия природных экосистем. М.: Наука, 1982.

Излагаются результаты экспериментов по изучению скорости деградации нефти в условиях сухих субтропиков Азербайджана (Апшеронский полуостров). Приведены почвенные и климатические характеристики опытных площадок, методика эксперимента. Обсуждаются изменения химических, микробиологических и битуминологических параметров почв через 3, 6, 9 и 15 месяцев после внесения в почву определенной дозы нефти. Рассмотрено изменение баланса углерода в почве в ходе деградации нефти этой природной зоны.

Табл. 4. Ил. 4.

УДК 631.461:622.323

Исмаилов Н.М. Нефтяное загрязнение и биологическая активность почв. — В кн.: Добыча полезных ископаемых и геохимия природных экосистем. М.: Наука, 1982.

Изучено влияние нефтяного загрязнения на микрофлору и ферментативную активность почв. Нефтяное загрязнение обуславливает увеличение валовой

численности микроорганизмов, в том числе углеводородоокисляющих. Усиливается активность физиологических групп микроорганизмов, участвующих в круговороте азота, при этом круговорот азота происходит по более замкнутому кругу. Нефтяное загрязнение определяет развитие "компенсационных" механизмов ауторегуляции биохимических процессов. Большинство почвенных ферментов реагирует на нефтяное загрязнение снижением своей активности, нарушается корреляция между активностью почвенных ферментов и дыханием почв. Роль почвенных ферментов в процессах, связанных с непосредственным окислением нефтяных углеводородов, незначительна. Решающее значение в этих процессах играют микроорганизмы, осуществляющие внутриклеточное окисление углеводородов.

Табл. 3. Ил. 3. Библиогр. 17 назв.

УДК 631.461:622.323

Самосова С.М., Курбский Г.П., Усачева Г.М., Губайдулина Т.С., Фильченкова В.И., Абушаева В.В. Изменение микрофлоры и состава нефти в черноземной почве Татарии в первый период после загрязнения. — В кн.: Добыча полезных ископаемых и геохимия природных экосистем. М.: Наука, 1982.

Показано изменение биологической активности чернозема под влиянием нефтяного загрязнения. Попадая в почву, нефть подвергается микробиологическому разложению, о чем свидетельствует повышение показателя биодegradации. Наблюдаются изменения в содержании смол, асфальтенов, порфиринов, вязкости и плотности нефти.

Табл. 8. Библиогр. 24 назв.

УДК 631.4:622.323

Ильин Н.П., Калачникова И.Г., Каркишко Т.И., Обороина А.А., Пиковский Ю.И., Постоногова Г.В., Трипольский В.И. Наблюдения за самоочищением почв от нефти в средней и южной тайге. — В кн.: Добыча полезных ископаемых и геохимия природных экосистем. М.: Наука, 1982.

Рассматриваются результаты двухлетних экспериментальных исследований подзолистых почв средней тайги (Среднее Приобье) и дерново-подзолистых почв южной тайги (Пермское Прикамье) на разных стадиях их изменения после загрязнения нефтью. Освещаются особенности изменения состава и содержания нефти, а также химических и микробиологических изменений в этих почвах, скорость самоочищения почв. Приведен баланс углерода в загрязненных почвах для данных условий, показывающий значительную роль рассеивания нефти в почве водными потоками.

Табл. 10. Библиогр. 3 назв.

УДК 577.4:582.26/.27:622.323

Веселовский В.А., Вшивцев В.С., Пиковский Ю.И., Никитина К.А. Влияние углеводородов нефти на автотрофный компонент водных экосистем. — В кн.: Добыча полезных ископаемых и геохимия природных экосистем. М.: Наука, 1982.

Рассматривается влияние двух различных по химическому строению нефтей на физиолого-биохимические функции и структуру биологических мембран типичного представителя водных биоценозов — цианобактерии *Alabaena variabilis*. Выявлено, что при различных температурах (+5, +15, +35°C) и продолжительности (10 и 30 суток) выращивания культуры цианобактерии (синезеле-

ной водоросли) наблюдалось перераспределение в составе ненасыщенных жирных кислот — олеиновой ($C_{18:1}$), линолевой ($C_{18:2}$) и линоленовой ($C_{18:3}$). При воздействии богатой парафиновыми углеводородами нефти с концентрацией 0,05 мл/л и при температуре выращивания $+15^{\circ}C$ отмечалось значительное уменьшение линоленовой кислоты ($C_{18:3}$), а также сокращение фотосинтетической активности клеток. Нефть, лишенная парафиновых углеводородов, такого действия не оказывала.

Для характеристики функционального состояния водорослей было использовано явление длительного послесвечения, отражающее функционирование фотосинтетической электронной транспортной цепи биомембран. Сопоставление эффектов двух типов нефти на жирнокислотный состав биомембран и их функциональную активность показало, что длительное послесвечение — чувствительный прием наблюдения за реакцией автотрофных клеток на загрязнение окружающей среды нефтью.

Табл. 4. Ил. 2. Библиогр. 41 назв.

**ДОБЫЧА
ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ
И ГЕОХИМИЯ
ПРИРОДНЫХ
ЭКОСИСТЕМ**

*Утверждено к печати
Секцией химико-технологических
и биологических наук АН СССР*

Редактор издательства *Л.П. Ладычук*
Художественный редактор *М.В. Версоцкая*
Технический редактор *Н.М. Петракова*
Корректор *О.А. Пахомова*

ИБ № 24251

Подписано к печати 06.10.82. Т - 14072
Формат 60х90 1/16. Бумага офсетная № 1
Печать офсетная. Усл.печ.л. 17,5+0,4 вкл.
Усл.кр.-отт. 17,9, Уч.-изд.л. 21,6
Тираж 600 экз. Тип. зак. 1690
Цена 2р. 80к.

Издательство "Наука", 117864 ГСП-7,
Москва В-485, Профсоюзная ул., д. 90
Ордена Трудового Красного Знамени
1-я типография издательства "Наука",
199034, Ленинград, В-34, 9-я линия, 12

В ИЗДАТЕЛЬСТВЕ "НАУКА"

ГОТОВИТСЯ К ПЕЧАТИ КНИГА:

Теоретические основы и опыт экологического мониторинга.

В книге изложены принципы и методы количественного изучения и моделирования (натурного, математического) обменных процессов, определяющих функционирование экосистем. Вскрыты закономерности трансформирования природных экосистем под влиянием человека. Сформулированы принципы программы экологического мониторинга, основанные на всестороннем изучении обменных процессов в экосистемах и в ландшафте. Раскрываются этапы реализации программы в биосферных заповедниках.

Заказы просим направлять по одному из перечисленных адресов магазинов "Книга—почтой" "Академкнига":

480091 Алма-Ата, 91, ул. Фурманова, 91/97; 370005, Баку, 5, ул. Джапаридзе, 13; 320093 Днепропетровск, проспект Ю. Гагарина, 24; 734001 Душанбе, проспект Ленина, 95; 252030 Киев, ул. Пирогова, 4; 277012 Кишинев, проспект Ленина, 148; 443002 Куйбышев, проспект Ленина, 2; 197345 Ленинград, Петрозаводская ул., 7; 220012 Минск, Ленинский проспект, 72; 117192 Москва, В-192, Мичуринский проспект, 12; 630090 Новосибирск, Академгородок, Морской проспект, 22; 620151 Свердловск, ул. Мамина-Сибиряка, 137; 700187 Ташкент, ул. Дружбы народов, 6; 450059 Уфа, 59, ул. Р. Зорге, 10; 720001 Фрунзе, бульвар Дзержинского, 42; 310078 Харьков, ул. Чернышевского, 87.