Записки Ленинградского ордена Ленина, ордена Октябрьской Революции
и ордена Трудового Красного Знамени горного института им.Г.В.Плеханова,
1987, т. 111

УДК 550.84

МОДЕЛЬ СЕЛЕВОГО ЛИТОХИМИЧЕСКОГО ПОТОКА РАССЕЯНИЯ

Е.М.КВЯТКОВСКИЙ

В формировании русловых отложений в горных районах весьма существенную роль играют селевые процессы. Только ими можно объяснить присутствие в русловых отложениях крупноглыбового материала, перемещенного на многие сотни метров и даже несколько километров от коренного источника. Селегенерирующие участки склонов в общем мигрируют во времени в пределах водосборных бассейнов и, по-видимому, можно в первом приближении считать, что за достаточно длительный период вся площадь бассейна вовлекается в селеобразование. Однако в каждый конкретный отрезок времени русловые отложения представлены в основном материалом последнего по времени для данного русла селевого потока, и доля этого материала уменьшается от 100 % в верхней части русла до нуля в нижней части за счет интенсивного перемешивания селевого материала с русловыми отложениями, существовавшими до прохождения селя. Подтверждением этому служит практически неизменная мощность русловых отложений до и после прохождения селя при его весьма значительной эродирующей деятельности. При такой модели формирования селевых потоков рассеяния их параметры, естественно, резко меняются после прохождения каждого селя. Рассмотрим бассейн водосбора потока третьего порядка, в пределах которого расположены два полиметаллических месторождения, сопровождающиеся остаточными ореолами рассеяния свинца площадной продуктивностью P_{01} и P_{03} (рис.I). Допустим, что в пределах участка селеобразования площадью S_{C1} (бассейн первого порядка Ia на рис.I) полностью располагался вторичный ореол рассеяния свинца продуктивностью P_{01}. В первом приближении можно считать, что в селевых образованиях, поступивших в русло потока на интервале $R_0 - R$, содержание свинца

$$C_R = P_{01} / S_{C1}, \qquad (I)$$

если мощность делювиальных образований h_{C1} на всей площади селеобразования S_{C1} считать одинаковой, а распределение свинца в селевых образованиях, поступивших в русло, равномерным.

Далее селевой поток стремительно перемещается вниз по руслу в виде волны, захватывая при этом русловые образования, равномерно перемешивая их с селевыми и оставляя за собой в русле то же количество материала. Если считать, что площадь сечения русловых отложений на всем интервале потока от точки R до точки 9 (рис.I) остается постоянной и равной

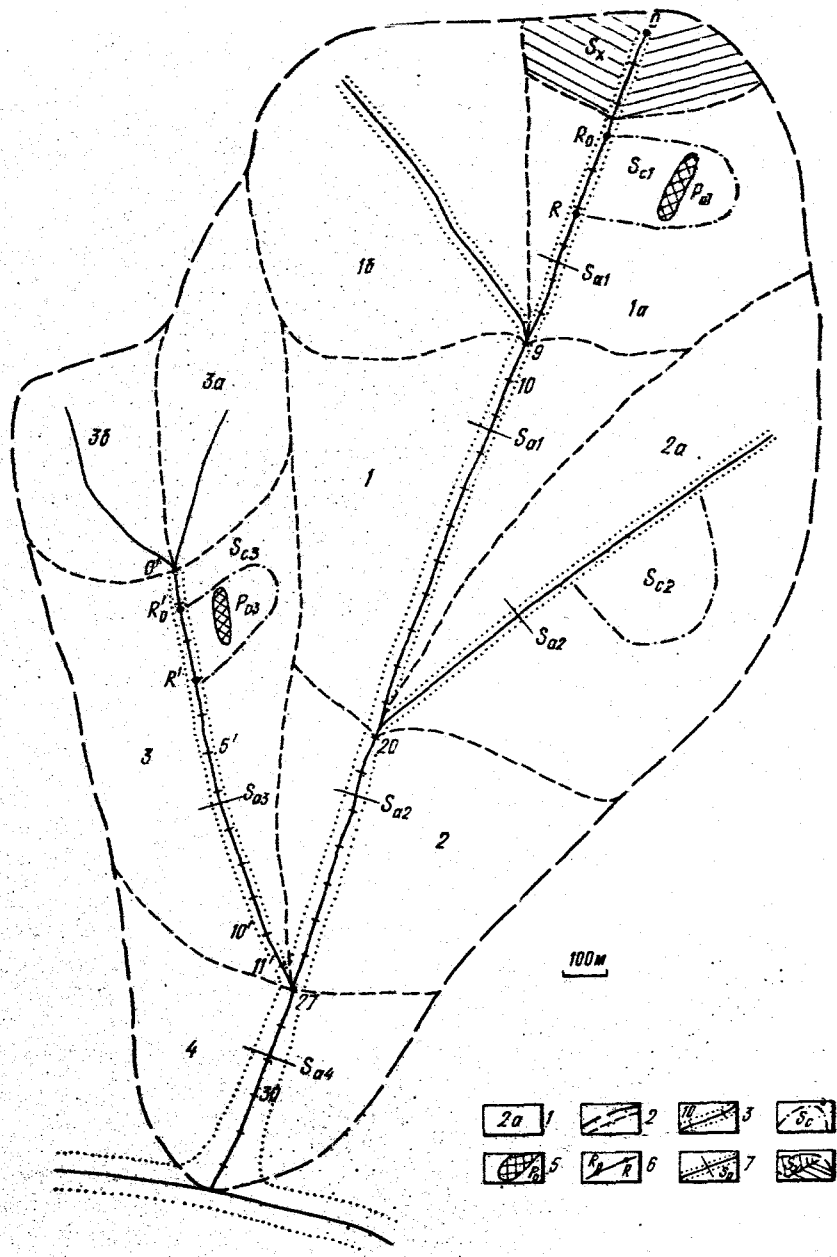


Рис. 1. Схематический план расположения участков селеобразования на площади водосбора потока третьего порядка

1 – бассейны водосбора; 2 – водоразделы бассейнов; 3 – водоток, русловые отложения и точки отбора литохимических проб; 4 – площадь участка селеобразования; 5 – вторичные ореолы рассеяния продуктивностью P_0; 6 – интервал поступления селя в русло; 7 – площадь поперечного сечения русловых отложений; 8 – площадь бассейна, с которой склоновый материал поступает в точку x аллювиального потока

S_{a1}, и что содержание свинца в русловых отложениях до прохождения "рудного селя" было равно нулю, то в первом приближении содержание свинца в селевом потоке

$$C_x = Q_C C_R / (Q_C + Q_P),$$

где Q_C – масса селевых образований; Q_P – масса русловых отложений, захваченных селем на интервале $x - R$; C_R – содержание свинца в исходных селевых образованиях.

По условию

$$Q_P = s_{a1}(x-R)\delta; \quad Q_C = S_{c1} h_{c1} \delta \; V_{c1} \delta,$$

где δ – плотность склоновых и русловых рыхлых образований.

После подстановки получим

$$C_x = C_R / (1 + K_C x'), \qquad (2)$$

где $K_C = s_{a1}/V_{c1}$; $x' = x - R$. Будем именовать K_C – селевым коэффициентом, который для рассматриваемой модели формирования селевого потока равен отношению площади сечения русловых отложений к объему исходного селевого потока.

При условии $K_C \ll 1$ выражение (2) на интервале $x' < 1/K_C$ можно записать в виде, более удобном для расчетов

$$C_x = C_R \, e^{-K_C x'}. \qquad (3)$$

При исходных объемах селей $n \cdot 10^5$ м^3 и сечении русловых отложений в потоках первого–второго порядков $n \cdot 10$ м^2 $K_C \approx 10^{-4}$ м$^{-1}$ и формулой (3) можно пользоваться на интервале $x' \leq 10$ км, что заведомо перекрывает реально наблюдаемые потоки.

В бассейне второго порядка на интервале между точками 20 и 9 (рис.1) расчет содержаний свинца в селевом потоке можно производить по аналогичной формуле, принимая содержания в точке 9 за исходные и оценивая селевый коэффициент с учетом скачкообразно увеличившегося сечения руслового потока после впадения притока 1б до s_{a1}:

$$C_x = C_9 \, e^{-K_C(x-9)}. \qquad (4)$$

На интервале между точками 27 и 20, после впадения притока 2а и увеличения сечения русловых отложений следует использовать при расчете формулу

$$C_x = C_{20} \, e^{-K_{C2}(x-20)}. \qquad (5)$$

Если после прохождения рудного селя из бассейна 2а (рис.1) в основное русло сошел безрудный сель с объемом материала V_{c2}, то, используя принцип суммирования геохимических полей, можно для рассматриваемой модели в первом приближении записать

$$C_x = C_{20}\, e^{-K_{c2}(x-20)}\left[1 - e^{-K_c(x-20)}\right]. \qquad (6)$$

Выражение в квадратных скобках учитывает влияние "пустого" селя, наложившегося на "рудный". В этом случае в точке 20 до впадения "пустого" селя содержание свинца равно C_{20}, после впадения селя оно упадет до нуля. Вниз по потоку содержания асимптотически будут стремиться к значениям, вычисленным по формуле (5). Если ниже точки 27 сечение русловых отложений сохраняется постоянным и равным S_{a2} на интервале между точками 27 и 20, то формула (6) для расчета содержаний остается справедливой и ниже этой точки.

В точке 27 в основной поток впадает приток 3, по которому в основной рудный селевой поток, с содержаниями, оцениваемыми по формуле (6), вливается рудный селевой поток (рис.I) объемом $V_{c3} = S_{c3}\, h_{c3}$ и содержанием свинца в голове потока (в точке 3′)

$$C_R = P_{03} / S_{c3}\ . \qquad (7)$$

На интервале между точками II′ и R' содержание свинца

$$C_{x'} = C_{R'}\, e^{-K_{c3}(x'-R')}\ . \qquad (8)$$

В этом случае ниже точки 27 по основному руслу содержания в суммарном селевом потоке можно оценить, используя принцип суммирования геохимических полей:

$$C_x = C_{27}\, e^{-K_{c2}(x-27)}\left[1 - e^{-K_{c1}(x-27)}\right] + C_{11}\, e^{-K_{c4}(x-27)}. \qquad (9)$$

Первое слагаемое в правой части формулы (9) характеризует содержание свинца в основном селевом потоке ниже точки 27, обусловленное эрозией месторождения P_{01}, а второе слагаемое характеризует содержание свинца на этом же интервале селевого потока, обусловленное наложением на основной селевой поток бокового селевого потока из бассейна 3 (рис.I).

Как это следует из выражения (9), в точке 27 после впадения бокового селя содержание свинца равно содержанию в точке 11′, т.е. в боковом селе до его впадения в основной поток. Вниз по потоку содержание свинца асимптотически стремится к суммарному для двух рудных селевых потоков рассеяния месторождений P_{01} и P_{03}. Естественно, что изменения содержания элемента в сложном селевом потоке существенно зависит от последовательности прохождения селей, в особенности на участках их слияния. Так, формула (6) справедлива только в случае наложения безрудного селя на рудный. При обратном соотношении, т.е. наложении рудного селя на безрудный, для данной модели справедливо уравнение (8), коль скоро ни время, ни характер процесса формирования русловых отложений с фоновыми (в нашей модели – нулевыми) содержаниями рудного элемента не играет никакой роли. При слиянии двух рудных селевых потоков содержание рудного элемента в

суммарном потоке будет существенно зависеть от последовательности прохождения этих селей. Так, для рассматриваемой модели (рис.I) в случае более раннего прохождения селя из бассейна 3, а затем уже рудного селя из бассейна I и безрудного селя из бассейна 2а формула для расчета содержания ниже точки 27 имеет вид

$$C_x = C_{11}\, e^{-K_{c4}(x-27)}\left[1-e^{-K_{c2}(x-27)}\right] + C_{27}\, e^{-K_{c2}(x-27)}. \qquad (10)$$

Расчеты селевых потоков рассеяния месторождений свинца (рис.I) по исходным данным (см. таблицу) позволили построить графики содержаний свинца в селевых потоках рассеяния (рис.2). Здесь же приведены графики содержаний свинца в "идеальных" аллювиальных потоках рассеяния, рассчитанные по известной формуле А.П.Соловова [3]:

$$C_x = P_{ox}/S_x,$$

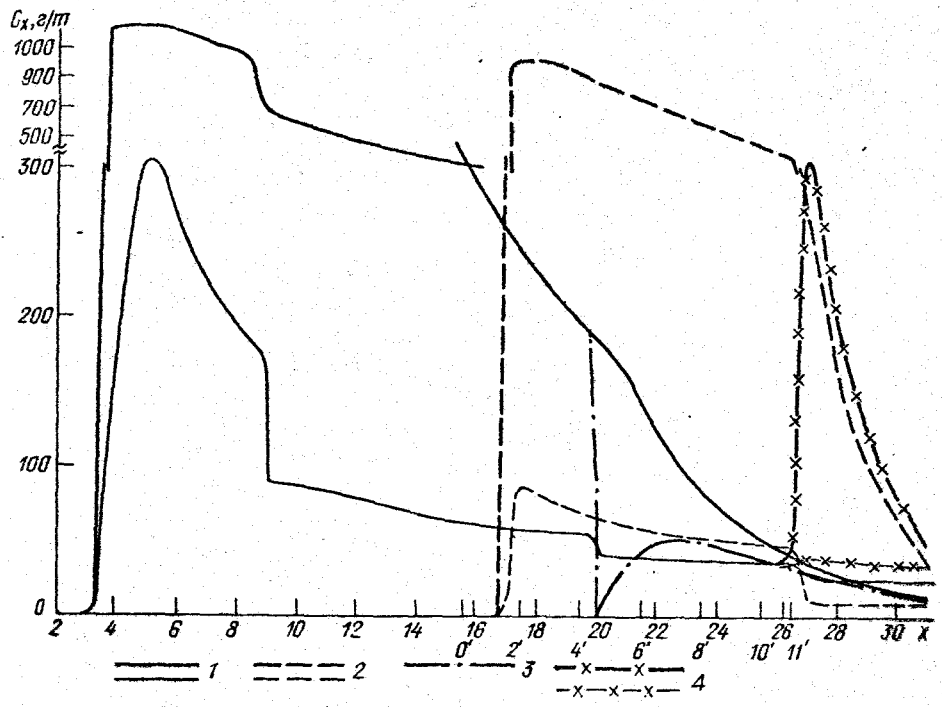


Рис.2. Расчетные графики содержания свинца в литохимических потоках рассеяния месторождений, расположенных в бассейне водосбора потока третьего порядка (рис.I)
1 – селевый и идеальный аллювиальный (тонкие линии) потоки рассеяния месторождения P_{01} вдоль главного русла [формулы (1), (3), (5) и (10)]; 2 – селевый и идеальный аллювиальный потоки рассеяния месторождения P_{03} вдоль бокового русла 3 с выходом в главное русло ниже точки 11' [формулы (7) и (8)]; 3 – селевый поток рассеяния месторождения P_{01} вдоль главного русла после впадения в него „пустого" селя из бассейна 2а [формула (6)]; 4 – селевый и идеальный аллювиальный потоки рассеяния месторождения $P_{\Sigma 1}$ после слияния его с потоком рассеяния месторождения P_{03} ниже точки 27 [формула (9)]

Параметры для расчета селевых потоков рассеяния свинца на площади водосбора (рис.I)

Бассейн водосбора	P_0, $м^2 \cdot \%$	S_C, $м^2$	V_C, $м^3$	S_a, $м^2$	Номера точек для расчета	Расчетная формула
1а	10^4	$7 \cdot 10^4$	10^5	50	0 - 8	(1), (3)
1	-	-	10^5	120	9 - 19	(4)
2а	-	$8 \cdot 10^4$	$1{,}1 \cdot 10^5$	-		
2	-	-	$(1+1{,}1) \cdot 10^5$	200	20 - 26	(5), (6)
3	$4 \cdot 10^3$	$4 \cdot 10^4$	$5 \cdot 10^4$	50	27 - 11′	(7), (8)
4	-	-	$(1+1{,}1+0{,}5) \cdot 10^5$	250	27 - 30	(9)

где P_{0x} – продуктивность эродируемых ореолов рассеяния, расположенных в пределах площади S_x; S_x – площадь бассейна водосбора для точки x аллювиального потока, для расчета значения S_x могут быть сняты с плана бассейна (см. рис.I) путем обмера.

Как показали расчеты содержание свинца в головной части селевого потока значительно выше, нежели в "идеальном" аллювиальном потоке (см.рис.2) Скорость падения содержаний вниз по потоку для селевого потока тоже больше, что приводит к тому, что на дальних участках содержание металла в селевом потоке становится ниже, нежели в аллювиальном. В этом случае к модели селевого потока более близка модель "реального" аллювиального потока рассеяния [3], в которой учитывается преобладающая роль материала ближайших склонов в любой точке аллювиального потока.

В более сложных случаях формирования селевых потоков рассеяния путем наложения нескольких "рудных" и "безрудных" селей друг на друга, картина получается весьма своеобразной, не имеющей ничего общего с моделями аллювиальных потоков рассеяния. Так, при наложении "пустого" или "рудного" селя на аномальный русловой поток рассеяния содержание в нем в точке впадения либо падает до нуля (рис.2, кривая 3), либо возрастает до максимума (рис.2, кривая 4), асимптотически приближаясь с увеличением x к изначально существовавшим в этих точках содержаниям.

Вторым, не менее важным, параметром потока рассеяния, как известно, является его продуктивность, которая может быть рассчитана для любой точки потока по формуле

$$P'_x = C_x S_x , \qquad (II)$$

которая связана с продуктивностью эродируемых ореолов рассеяния. Для различных условий формирования потоков (моделей) эта связь может быть установлена и использована для количественной интерпретации. Для "идеального аллювиального потока рассеяния ниже точки R справедливо $P' = P_0$, т.е. продуктивность "идеального" аллювиального потока рассеяния, именуемая в работе [I] "истинной" продуктивностью, равна продуктивности эродируемых

ореолов рассеяния. В отличие от этого полученную путем прямого расчета по формуле (II) продуктивность можно назвать "кажущейся" (P'_K) по аналогии с терминами, применяемыми в геофизике.

Анализ графиков кажущейся продуктивности селевых потоков рассеяния и "истинной" продуктивности "идеальных" аллювиальных потоков (рис.3) показал, что в головной части селевых потоков их "кажущаяся" продуктивность превышает "истинную" в несколько раз, причем P'_K ниже точки R продолжает расти (кривые I и 2), а при впадении бокового притока изменяется скачкообразно, пропорционально увеличению площади бассейна S_x ниже точки слияния двух потоков (см. рис.I, точки I0 и 27). При впадении "пустого" селевого потока "кажущаяся" продуктивность падает до нуля (точка 20, кривая 3), затем резко растет, достигая максимума, и, наконец, асимптотически прибли-

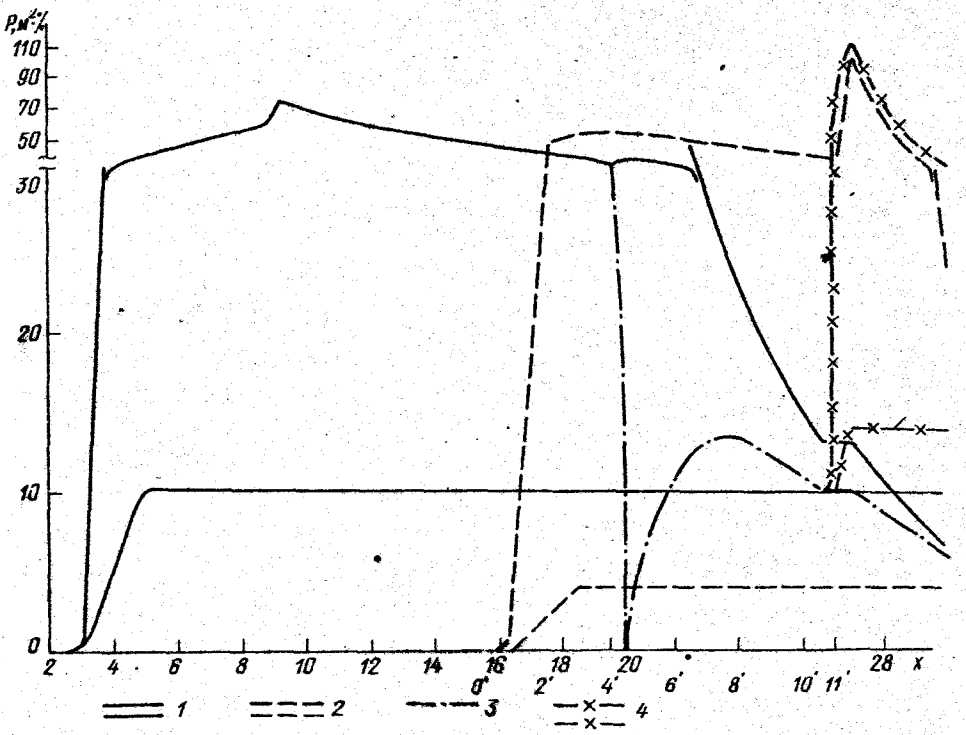


Рис.3. Расчетные графики „кажущейся" продуктивности литохимических потоков рассеяния месторождений свинца, расположенных в бассейне водосбора третьего порядка (см. рис.1)

1 – селевый и аллювиальный (тонкие линии) потоки рассеяния месторождения P_{01} вдоль основного русла; 2 – селевый и аллювиальный потоки рассеяния месторождения P_{03} вдоль бокового русла 3 с выходом в главное русло ниже точки 11'; 3 – селевый поток рассеяния месторождения P_{01} после впадения в него "пустого" селя из бассейна 2а; 4 – селевый и аллювиальный потоки рассеяния месторождения P_{01} после слияния его с потоком рассеяния месторождения P_{03} ниже точки 27

кается снизу к "кажущейся" продуктивности основного селевого потока (кривая 3). При впадении "рудного" селевого потока "кажущаяся" продуктивность скачкообразно возрастает (точка 27, кривая 4), а затем падает, асимптотически приближаясь сверху к кажущейся продуктивности основного селевого потока (кривая I).

В рассматриваемых моделях потоков рассеяния предполагалось чисто механическое разрушение и рассеяние рудных тел и коренных пород и равномерное распределение рудных и нерудных обломков во всех гранулометрических классах рыхлых образований. Однако в природе более вероятна различная устойчивость рудных и нерудных минералов в процессе их выветривания, избирательный вынос в жидкой фазе некоторых элементов, обогащение или обеднение рудными элементами идущей на анализ тонкой фракции ($\leq 0{,}25$ мм) рыхлых образований. Все эти особенности процесса формирования потоков, как и особенности геоморфологии района, стадии формирования долин, а также методики опробования потоков рассеяния могут быть учтены путем введения соответствующих коэффициентов. В частности, в моделях "идеального" и "реального" аллювиальных потоков рассеяния [3] предусмотрен коэффициент продуктивности потока рассеяния $K'_{\text{п}}$, учитывающий обеднение ($K'_{\text{п}}<1$) или обогащение ($K'_{\text{п}}>1$) потока по сравнению с эродируемыми ореолами рассеяния в бассейне водосбора. В обобщенной экспоненциальной модели аллювиального потока [I], как и в модели В.В.Поликарпочкина [2] фигурируют динамические параметры, учитывающие различное поведение "рудного" и "породного" материала в процессе формирования потоков рассеяния.

Выбор тех или иных моделей для расчета (решение прямой задачи) и интерпретации (решение обратной задачи) потоков рассеяния определяется условиями их формирования, для которых характерны те или иные значения различных коэффициентов или параметров. Естественно, что в природе потоки рассеяния всегда более сложны, нежели описываемые моделями. В чистом виде, например, селевые потоки могут наблюдаться лишь непосредственно после прохождения селя. Спустя же некоторое время на селевой поток будет накладываться аллювиальный поток рассеяния, в результате чего будет сформирован сложный селево-аллювиальный поток рассеяния.

При интерпретации потоков рассеяния наиболее целесообразно, вероятно, использовать всевозможные модели, оценивая при этом пределы вероятных прогнозных ресурсов, полученных по разным моделям.

ЛИТЕРАТУРА

1. Марченко А.Г., Квятковский Е.М. Математические модели литохимических потоков рассеяния как основа их количественной интерпретации. – В кн.: Повышение эффективности геохимических методов поисков в таежных районах. Тезисы докладов УШ сессии СО СГПМ. Иркутск, изд. Ин-та геохимии СО АН СССР, 1986, с. 93-95.

2. Поликарпочкин В.В. Вторичные ореолы и потоки рассеяния. Новосибирск, Наука, 1976. 407 с.

3. Соловов А.П. Геохимические методы поисков месторождений полезных ископаемых. М., Недра, 1985. 294 с.