

Б. Н. ФОРШ

ОСНОВНЫЕ ПАРАМЕТРЫ СОЛЕВОГО СТОКА ДЛЯ ОТКРЫТОГО РУСЛА

(Представлено академиком Д. В. Наливкиным 18 III 1949)

В процессе солевого стока концентрации различных компонентов, как известно, не остаются постоянными, но меняются в зависимости от различных факторов. Основным фактором, определяющим изменение концентрации, является изменение расхода воды. В первом приближении примем, что для данной реки концентрация данного компонента является функцией одного только ее расхода. Имеющиеся в нашем распоряжении данные показывают, что при открытом русле зависимость между концентрацией и расходом воды изменяется от обратной пропорциональности (Cl' в Селенге) до прямой пропорциональности (окисляемость в Селенге). Для получения эмпирической зависимости концентрации от расхода воды зададимся уравнением вида:

$$c = AQ^N, \quad (1)$$

где c — концентрация, Q — расход воды, A и N — параметры.

Определим по способу наименьших квадратов параметры этой зависимости для Аму-Дарьи у Чарджуя (с использованием расходов Керкинской станции) по данным В. Новикова ⁽²⁾ (1912—1913 гидр. год), для Или у Илийской станции по данным В. Новикова ⁽²⁾ (1912—1913 гг.), для Волги у Саратова по данным В. П. Радищева ⁽³⁾ (1923—1925 гг.) и для Селенги у Харауза (с использованием расходов Селенгинской станции) по неопубликованным данным Б. Н. Форша (1935—1936 гг.). Бассейны этих рек — главных притоков четырех наибольших озер Евразии — отличаются друг от друга достаточно различными условиями влажности, растительности, почвенного покрова и геологии (соотношения между изверженными и осадочными породами).

Значение параметра A для данного компонента измеряется его концентрацией при $Q = 1$. Условимся за единицу расхода для каждой реки принимать средний ее расход за данный отрезок времени. Тогда при $Q = 1$ $A = c$ и совокупность значений A будет представлять химический анализ воды данной реки (в ммольях на литр), соответствующий среднему ее расходу (при открытом русле). Значения параметров A для указанных 4 рек приводятся в табл. 1.

Нетрудно видеть, что значения параметра A должны зависеть, с одной стороны, от растворимости, с другой, от распространенности соединений данного компонента. Исходя из относительно плохой растворимости $CaCO_3$, средней — $MgCO_3$ и $CaSO_4$ и хорошей раствори-

Таблица 1

Значения параметра А

Р е к а	Na ⁺	K ⁺	Mg ⁺⁺	Ca ⁺⁺	HCO ₃ '	Окис- ляе- мость	H ₂ SiO ₃	SO ₄ ''	Cl'
Аму-Дарья	1,79	0,24	0,47	1,59	2,52	—	0,19	0,76	1,69
Или	0,45	0,18	0,31	0,93	2,31	0,13	0,16	0,25	0,29
Волга	—	—	0,33	0,99	1,70	0,32	0,15	0,38	0,16
Селенга	—	—	0,20	0,36	1,08	0,20	0,14	0,04	0,01

мости всех солей Na⁺ и Cl', можно было бы ожидать, что соотношения компонентов будут следующими:

$$Na^+ < Mg^{++} < Ca^{++}, \quad Cl' < SO_4'' < HCO_3'.$$

В действительности же для не слишком минерализованных рек мы наблюдаем как раз обратные соотношения (один из классов классификации Ф. В. Кларка). Для них, таким образом, становится вероятным решающее влияние распространенности тех соединений, за счет растворения которых происходит питание реки данным компонентом. Интересно отметить, что для типичного представителя рек этого класса — Селенги, собирающей свою воду в основном с изверженных пород (и четвертичных отложений), численный ряд, в который располагаются параметры А для элементов ее „солевого остова“, как раз совпадает с рядом распространенностей — кларков — осадочных пород, менее распространенных в ее бассейне, но более богатых растворимыми соединениями.

При переходе от рек менее минерализованных к рекам более минерализованным соотношения между компонентами „солевого остова“ изменяются следующим образом:

$$\left. \begin{array}{l} \text{для Селенги} \\ \text{и Волги} \end{array} \right\} Ca^{++} > Mg^{++} > Na^+, \quad HCO_3' > SO_4'' > Cl',$$

$$\left. \begin{array}{l} \text{для Или} \\ \text{для Аму-Дарьи} \end{array} \right\} \begin{array}{l} Ca^{++} > Na^+ > Mg^{++} \\ Na^+ > Ca^{++} > Mg^{++} \end{array} \quad \left. \begin{array}{l} \\ \end{array} \right\} HCO_3' > Cl' > SO_4''.$$

Таким образом, Na⁺ обгоняет сначала Mg⁺⁺, затем Ca⁺⁺, Cl' обгоняет SO₄'' и приближается к HCO₃' (зимой в Аму-Дарье Cl' > HCO₃' > SO₄'').

Из уравнения (1) следует, что $N = \frac{\lg(c/A)}{\lg Q}$. Значения параметра N для тех же 4 рек приводятся в табл. 2.

Таблица 2

Значения параметра N (безразмерные величины)

Р е к а	Na ⁺	K ⁺	Mg ⁺⁺	Ca ⁺⁺	HCO ₃ '	Окис- ляе- мость	H ₂ SiO ₃	SO ₄ ''	Cl'
Аму-Дарья . .	-0,61	-0,34	-0,34	-0,09	-0,05	—	-0,16	-0,29	-0,6
Или	-0,60	+0,16	-0,49	-0,35	-0,34	+0,17	-0,22	-0,71	-0,7
Волга	—	—	-0,44	-0,39	-0,36	+0,18	+0,10	-0,72	-0,7
Селенга	—	—	-0,43	-0,42	-0,47	+1,01	+0,03	-0,77	-1,0

Попытка выяснить причины, определяющие значения параметра N, показала, что важнейшими из них следует считать: отношение смоченного параметра к живому сечению поверхностных и грунтовых

потоков, питающих данную реку, характер процесса растворения, распространенность растворяемого соединения данного компонента в различных горизонтах и, наконец, степень насыщения раствора. Для разбавленных растворов при постоянстве термодинамических условий, одинаковом характере растворения всех компонентов, отсутствии различия в распространенности данного компонента в различных горизонтах и одинаковости фаз изменения расхода по всему водосборному бассейну (с учетом времени добегания), значения параметра N для различных компонентов должны быть одинаковыми.

При независимости скорости растворения от скорости водотока („кинетический“ характер растворения ($1, 4$)) должно быть:

при сохранении формы потока $-1 < N < -1/2$;

при сохранении отношения смоченного параметра к живому сечению $-1 < N < 0$.

При пропорциональности между скоростью растворения и скоростью водотока („диффузионный“ характер растворения ($1, 4$)) должно быть:

при сохранении формы потока $-1/2 < N < 0$;

при сохранении отношения смоченного параметра к живому сечению $N = 0$.

Для компонентов, распространенность которых с глубиной увеличивается, N должно быть меньше (в пределе $N = -1$). Для компонентов, распространенность которых с глубиной уменьшается, N должно быть больше (предела нет). Наконец, по мере приближения раствора к насыщению величина N (или ΣN для многокомпонентных соединений) должна стремиться к нулю.

Таким образом, исходя из растворимости (точнее, из степени удаления раствора от состояния насыщения), можно ожидать, что соотношения компонентов будут:



Таких же соотношений мы можем ожидать и исходя из распределения данного компонента в различных горизонтах (ср. грунтовой характер SO_4^{--} и особенно Cl^- по сравнению с HCO_3^- ; Na^+ по сравнению с Ca^{++} и Mg^{++}). В действительности мы и наблюдаем только такие соотношения.

Причины, определяющие значения параметра A , действуют различным образом. Поэтому при переходе от рек менее минерализованных к рекам более минерализованным ряды численных значений параметра A не оставались постоянными.

Важнейшие причины, определяющие значения параметра N , действуют в одном и том же направлении. Поэтому при переходе от рек менее минерализованных к рекам более минерализованным ряды значений параметра N остаются постоянными. При повышении минерализации значения параметра N для компонентов „солевого остова“ в общем повышаются (стремятся к нулю), не обгоняя друг друга.

Для Аму-Дарьи близость к нулю параметров N для Ca^{++} и HCO_3^- можно объяснить близостью этой реки к состоянию насыщения CaCO_3 . Повышение параметров N для SO_4^{--} и Cl^- вряд ли можно объяснить приближением к состоянию насыщения. Несмотря на громадное изменение концентрации SO_4^{--} и особенно Cl^- при переходе от Селенги к Аму-Дарье, Аму-Дарья все еще остается очень далекой от насыщения солями Cl^- и SO_4^{--} (даже CaSO_4). Повышение параметров N для SO_4^{--} и Cl^- , вероятно, следует объяснить меньшей „вымываемостью“ верхних горизонтов в областях более сухих и более богатых осадочными породами.

Для кремнекислоты значения параметров N в общем ближе к нулю, чем для компонентов „солевого остова“ (ср. с малой ее раствори-

мостью). Исключение составляют Ca^{++} и HCO_3^- в Аму-Дарье (близость к насыщению CaCO_3).

Наконец, для органических компонентов (поскольку можно судить о них по данным окисляемости) значения параметров N больше, чем для минеральных. Положительные значения параметра N для окисляемости объясняются, очевидно, уменьшением распространения органических веществ с глубиной.

Байкальская лимнологическая станция
Академии наук СССР

Поступило
18 III 1949

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

¹ Р. Л. Мюллер, ЖФХ, 7, в. 4, (1936). * В. Новиков, Отчет о работах химической лаборатории Гидрометрической части в 1912—1913 гг., Отчет Гидрометрической части за 1913 г., 2, стр. 55—216. * В. И. Радишев, Работы Волжск. биол. ст., 8, № 4—5, Саратов (1926). * Д. А. Франк-Каменецкий, ЖФХ, 13, в. 6 (1939).