

УДК 504.4

**АНТРОПОГЕННАЯ ОБУСЛОВЛЕННОСТЬ  
ИЗМЕНЧИВОСТИ КОНЦЕНТРАЦИИ И МОДУЛЯ  $\text{Na}^+$  И  $\text{K}^+$   
(1958–1996 гг.) АТМОСФЕРНЫХ ОСАДКОВ  
В ИОННОМ СТОКЕ РЕК СЕВЕРА ЕВРОПЕЙСКОЙ  
ТЕРРИТОРИИ РОССИИ**

*А.С. Косотурова, П.В. Хомяков, В.А. Белоногов, Н.П. Торсуев*

**Аннотация**

Для конкретного региона рассчитана величина долевого участия  $\text{Na}^+$  и  $\text{K}^+$ , поступающих с атмосферными осадками, их пространственно-временная роль в антропогенной изменчивости количественного состава ионного стока рек.

Определяющей величиной долевого участия данных ингредиентов в ионном стоке является весенняя фаза водного режима рек, фиксирующая значение показателя холодного периода (XI – III мес.) года, а также осадки IV – V мес. Выяснено, что в формировании как концентрации, так и модулей стока  $\text{Na}^+$  и  $\text{K}^+$  ведущим является природный фактор. Тем не менее в 60–80 гг. XX в. отчетливо проявляется антропогенный пресс, обуславливающий повышенные концентрации ингредиентов как в атмосферных осадках, так и в их ионном стоке.

**Ключевые слова:** натрий, калий, концентрация, модуль, ингредиент, зимняя и летне-осенняя фазы водного режима, ионный сток, водный сток, гидрохимический пост.

---

С далеких исторических времен человек понял значение и необходимость воды в своей жизни и еще в первобытном состоянии признавал ее священной, поклонялся ей, связывая с ней многие свои легенды. Вода создавала города, тогда как ее отсутствие – пустыни [1]. Поверхностные воды и атмосферные осадки входят в состав природных вод, образуя преобладающую составную часть гидросферы планеты. Последние – это воды Земли с содержащимися в них твердыми, жидкими и газообразными веществами [2]. Факторы, определяющие, в частности, формирование химического состава поверхностных вод, подразделяются на две группы. К первой относятся прямые факторы, непосредственно воздействующие на воду, то есть вещества, которые могут обогащать её растворимыми соединениями или, наоборот, выделять их из неё: горные породы, почвы, живые организмы, деятельность человека. Наряду с прямыми факторами существуют косвенные, то есть условия, в которых протекает взаимодействие веществ с водой: климат, рельеф, водный режим, растительность, грунтовые воды и пр. [3, 4]. Если говорить о климате, то последний, во-первых, определяет баланс тепла и влаги, и, во-вторых, от этого соотношения зависит разбавление или концентрирование природных растворов в пространстве – времени [5].

Табл. 1

Информация о периоде, количестве лет наблюдений по ГГХП Весляна, Половники, Мещура

№	Гидрохимические посты	Площадь бассейна (км <sup>2</sup> )	Количество лет наблюдений за химическим составом	Общее количество анализов	Среднегодовое количество анализов
1	р. Вымь – д. Весляна	19100	35	204	5.8
2	р. Вымь – д. Половники	25100	33	154	4.7
3	р. Елга – д. Мещура	2750	33	146	4.4

Регион исследования расположен на севере Восточно-Европейской (Русской) равнины. Конкретнее, это бассейн р. Вымь, составляющая часть водосбора р. Вычегды, наиболее крупнейшего притока Сев. Двины. Исходными материалами послужила, во-первых, информация Севгидромета, касающаяся химического состава ( $\text{Na}^+ + \text{K}^+$ ) атмосферных осадков метеостанции (МС) Усть-Вымь (1958–2003 гг.), и, во-вторых, данные о концентрации этих же ингредиентов в воде рр. Вымь и Елга – гидролого-гидрохимические посты (ГГХП) Половники, Весляна, Мещура (табл. 1). Информация по ГГХП систематизирована В.А. Белоноговым и рассчитана им как составляющие ионного стока по фазам водного режима (зимняя межень, весеннее половодье, летне-осенняя межень) за период 1938–1995 гг.

Для сопоставления количества выпавших осадков с жидким стоком рек и модуля поступления  $\text{Na}^+ + \text{K}^+$  в них с модулем стока рассматриваемых поллютантов, в частности, с рассчитанными их показателями по фазам водного режима, годовые ряды наблюдений на МС были разделены на два периода: «холодный» (ноябрь – март) и «теплый» (апрель – октябрь).

Для расчета величины модуля  $\text{Na}^+ + \text{K}^+$  в осадках в модуле и в стоке этих поллютантов необходимо рассчитать значение слоя стока рек как:

$$h = W / F \cdot 10^6,$$

где  $h$  – слой поверхностного стока, мм;  $W$  – жидкий сток, км<sup>3</sup>;  $F$  – площадь бассейна, км<sup>2</sup>.

Естественно, в этой величине представлен жидкий сток, складывающийся за счет атмосферных осадков и подземной составляющей. Для нахождения в жидком стоке первого показателя подземный сток изымается как величина, которая соответствует зимнему стоку реки или ее зимней межени. Расчеты, выполненные нами, показали, что средний многолетний жидкий сток периода зимней межени для интересующих нас рек составляет: р. Вымь – ГГХП Весляна – 1.15 км<sup>3</sup>/год, р. Вымь – ГГХП Половники – 1.36 км<sup>3</sup>/год, р. Елга – ГГХП Мещура – 0.16 км<sup>3</sup>/год.

Для определения модуля поступления  $\text{Na}^+ + \text{K}^+$  в стоке атмосферных осадков используется зависимость:

$$P = C_i \cdot h_i / 1000,$$

где  $P$  – модуль поступления  $\text{Na}^+$  и  $\text{K}^+$  за фазу водного режима, т/км<sup>2</sup>;  $C_i$  – среднемесячная концентрация  $\text{Na}^+$  и  $\text{K}^+$  в атмосферных осадках, мг/л;  $h_i$  – слой стока, складывающийся за счет атмосферных осадков, мм.

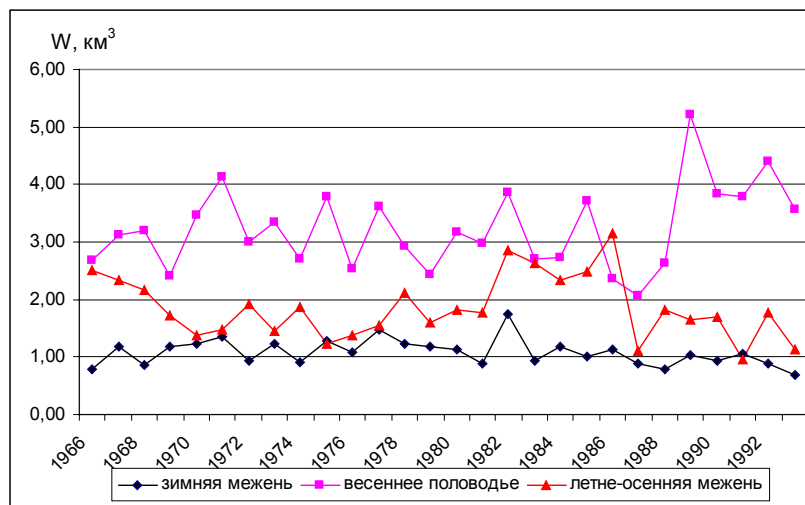


Рис. 1. Сток р. Вымь – ГХП Весляна по фазам водного режима

Итак, расчленение гидрографа позволяет определить количество воды, поступающей в реку от различных источников питания. Величина подземного питания, соответствующая размерности зимнего стока, естественно, на протяжении всего года будет наиболее устойчивой. Величина же весенней фазы водного режима (IV – V месяцы), как известно, отражает прежде всего снеговой сток (XI – III мес.), а также осадки двух весенних месяцев. Летне-осенняя фаза водного режима (VI – X мес.), помимо стабильной величины подземного стока, формируется с участием дождевых осадков, усиливающихся осенью и нередко влекущих за собой паводки.

Как видно из рис. 1, значения стока всех фаз водного режима (1966–1993 гг.) на р. Вымь – ГХП Весляна колебались в интервалах 0.7–5.2 км<sup>3</sup>.

Рассчитав по ГХП Весляна сток, складывающийся исключительно за счет осадков весенней фазы водного режима (IV – V мес.), видим<sup>1</sup>, что талые воды зимней фазы водного режима (запасы снега на водосборе) составляют 66% годовой нормы осадков, варьируя от 40 до 94%. Это тем более важно, что, как считают специалисты, при подъеме уровня воды в реке подземная приточность в нее сокращается, а при наивысшем уровне прекращается и наступает отрицательная фаза подземного питания [2].

В отличие от стока талых вод весенней фазы водного режима, аналогичный показатель летне-осенней межени невелик, варьируя в диапазоне от 2 до 43%, составляя в среднем за рассматриваемый период 18% (рис. 2).

Поскольку важнейшей задачей работы, как отмечалось, является поиск и анализ модуля поступления Na<sup>+</sup>+K<sup>+</sup> в атмосферных осадках (т/км<sup>2</sup> год), его доля и временная изменчивость в модуле стока этих ингредиентов, то с этой целью в первую очередь рассчитан модуль осадков как холодного, так и теплого сезонов года (МС Усть-Вымь). Первый за три анализируемых десятилетия варьирует от 0.15 до 0.38 т/км<sup>2</sup> год (1974 и 1968 гг. соответственно). Исключение составляет

<sup>1</sup> Величина атмосферных осадков в период снеготаяния не имеет существенного значения для рек с преимущественным питанием талыми водами [1].

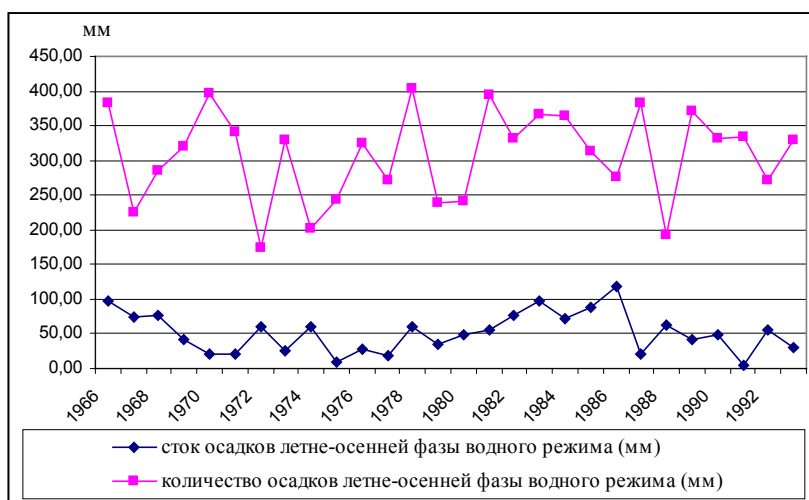


Рис. 2. Осадки и сток рек летне-осенней фазы водного режима (р. Вызь – ГХП Весляна)

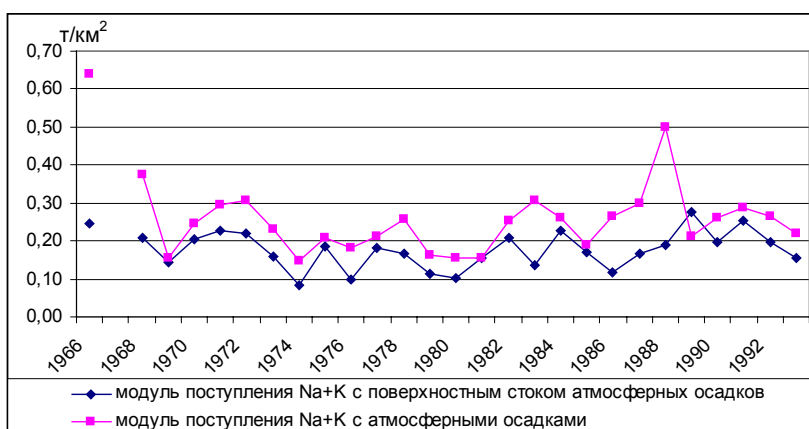


Рис. 3. Модули поступления  $\text{Na}^+\text{K}^+$  с атмосферными осадками и в стоке весенней фазы водного режима (р. Вызь – ГХП Весляна)

1988 г. ( $0,50 \text{ т/км}^2$ ). В теплые сезоны значения модуля за 30-летний период наблюдений колеблются от  $0,11$  до  $0,31 \text{ т/км}^2$  год (1985 и 1989 гг.).

Рассчитав модуль поступления  $\text{Na}^+\text{K}^+$  в стоке атмосферных осадков, можно утверждать, что 41% общего, или годового, их стока приходится на период половодья или весеннего водного режима, определяемого атмосферными осадками холодного периода и периода весеннего снеготаяния. Минимум модуля связан с 1979 г., составляя лишь 20% годового стока этих ингредиентов, тогда как максимум – с 1971 г. (85%). Необходимо отметить аномально высокие значения модуля стока  $\text{Na}^+\text{K}^+$  над средним стоком этих же элементов в воде реки, отмеченные дважды за три десятилетия наблюдений: 129 и 333%.

Если сопоставить модуль поступления  $\text{Na}^+\text{K}^+$  в стоке осадков периода таяния снега и весеннего половодья с модулем их поступления в атмосферных осадках холодного сезона, то получается, что 69% данных ингредиентов, поступающих с атмосферными осадками, формирует их сток (рис. 3).

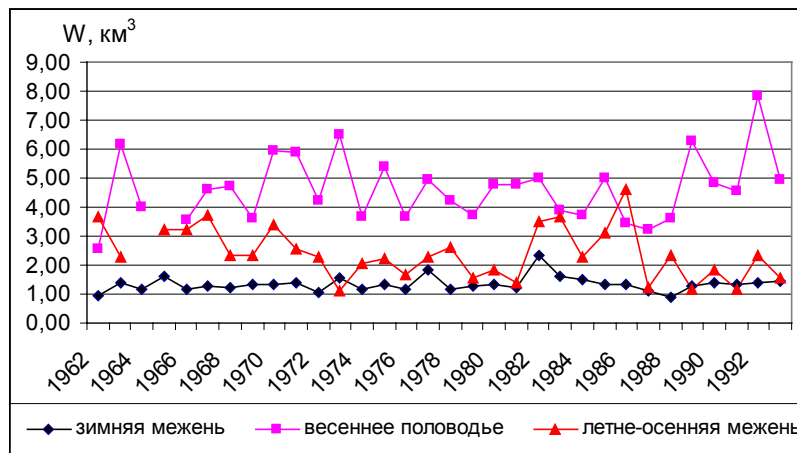


Рис. 4. Жидкий сток по фазам водного режима (р. Вымь – ГГХП Половники)

В период летне-осенней фазы водного режима рек наблюдается иная ситуация: лишь 9% модуля стока  $\text{Na}^+ + \text{K}^+$  в воды рек поступает с атмосферными осадками. Доля данных ингредиентов в ионном стоке составляет 4.3–11.6% от годового. Одной из причин является снижение жидкого стока в летне-осеннюю фазу водного режима, а также испарение и фильтрация выпадающих осадков.

Не меньший интерес представляет и второй пост, как бы «привязанный» к МС Усть-Вымь, ГГХП Половники. Рассматриваемый временной диапазон тот же, что и на ГГХП Весляна (1962–1993 гг.). Жидкий сток колеблется в интервалах 0.86–2.35 км<sup>3</sup> (1988 и 1982 гг.) – в зимнюю фазу водного режима, 2.54–7.83 км<sup>3</sup> (1962 и 1992 гг.) – в период снеготаяния и прохождения талых вод, наконец, 1.11–4.59 км<sup>3</sup> (1973 и 1986 гг.) в летне-осеннюю межень (рис. 4).

Расчеты показывают, что сток аккумуляировавшихся зимне-весенних атмосферных осадков, фиксируемых в период снеготаяния и в целом весеннюю фазу водного режима, составляет 67% от выпавших. В целом он варьирует от 40 (1966 г.) до 96% (1992 г.). В период же летне-осенней фазы сток осадков составляет лишь 19% от выпавшего их количества. Это в 3.5 раза меньше, чем в весеннюю фазу.

Однако напомним, что нас в большей степени интересует доля  $\text{Na}^+ + \text{K}^+$  атмосферных осадков в их стоке р. Вымь – ГГХП Половники. Как видно из рис. 5, модуль  $\text{Na}^+ + \text{K}^+$  в стоке осадков весенней фазы варьирует в диапазоне от 0.09 до 0.60 т/км<sup>2</sup>. В среднем он составляет около 47% от общей, или годовой, величины модуля стока  $\text{Na}^+ + \text{K}^+$  на ГГХП Половники, тогда как модуль осадков  $\text{Na}^+ + \text{K}^+$  летне-осенней фазы водного режима составил 14%, что, как видно, втрое меньше показателя зимне-весенней фазы. Последнее обстоятельство объясняется прежде всего тем, что в летне-осеннюю фазу водного режима слой стока осадков втрое меньше зимне-весеннего.

Наконец, рассмотрим третий ГГХП, расположенный близ МС Усть-Вымь: р. Елга – ГГХП Мещура (1962–1993 гг.). Амплитуда водного стока здесь варьирует в интервале 0.08–0.38 км<sup>3</sup> (1984 и 1974 гг.) в зимнюю фазу водного режима, 0.26–0.84 км<sup>3</sup> (1987 и 1963 гг.) в весеннюю и 0.17–0.78 км<sup>3</sup> (1987 и 1987 гг.) в летне-осеннюю межень.



Рис. 5 Модули поступления  $\text{Na}^+\text{K}^+$  со стоком осадков и их стока в весеннюю фазу водного режима (р. Вызь – ГХП Половники)



Рис. 6. Изменчивость модулей стока собственно осадков и в целом водного стока в весеннюю фазу водного режима (р. Елга – ГХП Мещура)

Расчитав по р. Елга – ГХП Мещура жидкий сток, связанный исключительно с осадками зимней и весенней фаз водного режима, мы получили его удельный вес: 61% от количества выпавших осадков. Остальная часть, то есть 39% зимне-весенних осадков, расходуется как возгонка холодной части года. В отличие от стока весенней фазы водного режима, сток осадков летне-осенней межени, естественно, ниже, варьируя в пределах 8–50% и составляя в среднем 23%.

Сопоставив модуль поступления  $\text{Na}^+\text{K}^+$  со стоком осадков, можно утверждать, что 56% модуля стока этих же поллютантов весенней фазы поступает с атмосферными осадками (рис. 6).

В летне-осеннюю межень ситуация явно иная: лишь 10% модуля стока  $\text{Na}^+\text{K}^+$  данной фазы поступает с осадками (рис. 7), что значительно ниже, чем



Рис. 7. Изменчивость модулей стока собственно осадков и водного стока в летне-осеннюю фазу водного режима (р. Елга – ГГХП Мещура)

Табл. 2

Показатели модулей поступления  $\text{Na}^+ + \text{K}^+$  с атмосферными осадками в ионном стоке рек бассейна Сев. Двины

Показатели	р. Вымь – ГГХП Весляна	р. Вымь – ГГХП Половники	р. Елга – ГГХП Мещура
Количество осадков по МС Усть-Вымь, мм		<u>240*</u> 309	
Среднеголетний модуль выпадения $\text{Na}^+ + \text{K}^+$ с атмосферных осадках, т/км <sup>2</sup> год		<u>0.26</u> 0.20	
Среднеголетний модуль стока $\text{Na}^+ + \text{K}^+$ , т/км <sup>2</sup> год	<u>0.43</u> 0.46	<u>0.47</u> 0.55	<u>0.31</u> 0.78
Среднеголетний слой стока атмосферных осадков, мм	<u>157.76</u> 51.79	<u>173.31</u> 54.91	<u>165.46</u> 74.28
Среднее долевое участие стока $\text{Na}^+ + \text{K}^+$ атмосферных осадков в ионном стоке реки, %	<u>41</u> 9	<u>47</u> 14	<u>56</u> 10

\* В числителе – значения показателя холодного периода (весеннее половодье), в знаменателе – теплового (летне-осенняя межень).

за зимне-весеннюю. Одной из причин этого является малый слой стока осадков в летне-осенний период, а также испарение, фильтрация.

Подводя итог, отметим, что модули поступления  $\text{Na}^+ + \text{K}^+$  (т/км<sup>2</sup> год) в стоке осадков данных ГГХП севера Европейской территории России близки между собой (табл. 2).

Как видно из табл. 2, долевое участие  $\text{Na}^+ + \text{K}^+$  атмосферных осадков в ионном стоке реки периода зимней фазы водного режима, таяния снега и весеннего половодья несопоставимо выше, чем в летне-осеннюю фазу.

Итак, установлена величина стока, определяемого исключительно за счет атмосферных осадков по МС Усть-Вымьи трем ГГХП:

– высокие значения долевого участия стока  $\text{Na}^+ + \text{K}^+$  атмосферных осадков наблюдаются в ионном стоке периода весенней фазы водного режима, определяемого в основном зимними осадками, тогда как низкие – в летне-осеннюю межень;

– максимальное значение модуля поступления  $\text{Na}^+ + \text{K}^+$  ( $\text{т/км}^2$  год), связанное со стоком осадков, зафиксировано в 1966 г. в весеннюю фазу водного режима на р. Елга – ГГХП Мещура и составляет  $0.28 \text{ т/км}^2$ , тогда как минимальное приходится на летне-осеннюю межень 1991 г. (р. Вышь – ГГХП Весляна), оно равно  $0.004 \text{ т/км}^2$ .

### Summary

*A.S. Kosoturova, P.V. Khomyakov, V.A. Belonogov, N.P. Torsuev. Anthropogenous Conditionality of  $\text{Na}^+$  and  $\text{K}^+$  Concentration and Module Variability (1958–1996) of Atmospheric Precipitation in River Ionic Drain in the North of the European Part of Russia.*

The size of  $\text{Na}^+$  and  $\text{K}^+$  individual share brought in by atmospheric precipitation and their role in anthropogenous variability of river ionic drain quantitative are designed for a particular large region. The natural component was found out to be the leader in forming drain  $\text{Na}^+$  and  $\text{K}^+$ . However, in 1960–1980s anthropogenous pressure in the concentration of deposits and ionic drain of the rivers is clearly shown.

**Key words:** sodium, potassium, concentration, module, water mode phases, ionic drain, water drain, hydrochemical recording station.

### Литература

1. *Анполов Б.А.* Учение о реках. – М.: Изд-во Моск. ун-та, 1963. – 423 с.
2. Подземный сток на территории СССР / Под ред. Б.И. Куделина. – М.: Изд-во Моск. ун-та, 1966. – 301 с.
3. *Никаноров А.М. и др.* Справочник по гидрохимии. – Л.: Гидрометеиздат, 1989. – 391 с.
4. *Алекин О.А.* Основы гидрохимии. – Л.: Гидрометеиздат, 1970. – 444 с.
5. *Михайлов В.Н., Добровольский А.Д., Добролюбов С.А.* Гидрология. – М.: Высш. шк., 2005. – 463 с.

Поступила в редакцию  
21.08.08

---

**Косотурова Анастасия Станиславовна** – студент-дипломник 2008/2009 учебного года по специальности «Природопользование» Казанского государственного университета.

**Хомяков Петр Валерьевич** – инженер кафедры ландшафтной экологии Казанского государственного университета.

E-mail: *Petr.Khomyakov@ksu.ru*

**Белоногов Виктор Анатольевич** – кандидат географических наук, доцент кафедры ландшафтной экологии Казанского государственного университета.

**Торсуев Николай Павлович** – доктор географических наук, профессор кафедры ландшафтной экологии Казанского государственного университета.