

## КРАТКИЕ СООБЩЕНИЯ

УДК 556.12:556.531.4(470.22)

### РОЛЬ АТМОСФЕРНЫХ ОСАДКОВ В ФОРМИРОВАНИИ ХИМИЧЕСКОГО СОСТАВА ПОВЕРХНОСТНЫХ ВОД КАРЕЛИИ

**И. Ю. Потапова**

*Институт водных проблем Севера Карельского научного центра РАН*

Рассмотрена роль атмосферных осадков в формировании химического состава поверхностных вод Карелии с использованием двух методических подходов. Оценка вклада атмосферной составляющей выполнена по многолетним данным химического состава осадков с учетом состава поверхностных вод и удельного химического выноса веществ с водосборной территории. Установлено, что выпадение минеральных и органических веществ с атмосферными осадками на сушу незначительное. В то же время атмосферные осадки являются основным источником поступления в поверхностные воды хлоридов, большей частью  $SO_4^{2-}$ ,  $P_{\text{общ}}$ , аммония, нитратов, а также тяжелых металлов.

**Ключевые слова:** атмосферные осадки, поверхностные воды, химический состав природных вод.

#### **I. Yu. Potapova. THE ROLE OF ATMOSPHERIC PRECIPITATION IN THE FORMATION OF THE CHEMICAL COMPOSITION OF SURFACE WATERS IN KARELIA**

The role of atmospheric precipitation in the formation of the chemical composition of Karelian surface waters is considered by two methodological approaches. The contribution of the atmospheric constituent to the chemical balance of surface waters was estimated using long-term data of the chemical composition of precipitation taking into account the composition of surface waters and specific chemical carry-over of substances from the catchment area. We found that the input of mineral and organic substances with atmospheric precipitation on land is insignificant. Precipitation is a source of nutrients, especially ammonium, nitrate, mineral and total phosphorus and heavy metals.

**Key words:** atmospheric precipitation, surface waters, chemical composition of natural water.

#### **Введение**

Атмосферные осадки играют важную роль в формировании химического состава природных вод. С одной стороны, атмосферные

осадки являются непосредственным источником поступления в водоемы многих химических элементов, с другой – именно взаимодействие осадков с почвами и породами на водосборе приводит к дополнительному обогащению при-

родных вод химическими веществами. Выяснение роли осадков в формировании химического состава природных вод имеет большое значение для понимания функционирования водных экосистем севера. Эту оценку можно провести с использованием двух методических подходов: 1) с учетом коэффициента изменения концентрации веществ в атмосферных осадках в зависимости от величины осадков и испарения, как это было выполнено С. П. Китаевым для различных климатических зон [Китаев, 2007] и 2) с учетом данных о среднем удельном выносе веществ с водосборной территории в сравнении с химическими выпадениями с атмосферными осадками для Карельского гидрографического района [Лозовик и др., 2005]. Эти методические подходы имеют разную основу, и представляло определенный интерес их сравнить и выяснить вклад атмосферной составляющей в химический баланс поверхностных вод Карелии.

## Материалы и методы

Для оценки роли атмосферных осадков в формировании химического состава поверхностных вод использовались многолетние данные об их химическом составе (1996–2010 гг.). Материалы наблюдений за период с 1996 по 2006 г. [Состояние..., 2007] дополнены новыми результатами исследований (2007–2010 гг.). Атмосферные осадки отбирались в период максимального снегонакопления на участках, удаленных от промышленных центров. Всего было отобрано 256 проб. Для анализа многолетних данных по химическому составу и расчета химических выпадений веществ территория Карелии была разделена на четыре участка: северный – от северной границы республики до пос. Надвоицы, центральный – от пос. Надвоицы до г. Медвежьегорска, южный – от г. Медвежьегорска до южной границы Республики Карелия, восточный – от восточного побережья Онежского озера до восточной границы республики, которые отличаются между собой по количеству и химическому составу осадков [Лозовик, Потапова, 2006]. Для каждого из указанных участков была проведена статистическая обработка данных и рассчитаны среднеарифметические, среднегеометрические и медианные значения химических показателей. Расчет химических выпадений был выполнен с использованием медианных концентраций за многолетний период. Количество осадков оценивалось по среднемноголетним данным: для северного района – 520, центрального – 590, южного – 650, восточного – 600 мм/год [Атлас..., 1989; Онежское озеро..., 2010]. Расчет

средних химических выпадений для всей территории Карелии выполнен как среднеарифметическое из четырех значений для северного, центрального, южного и восточного районов.

Для поверхностных вод учитывались среднестатистические (медианные) показатели содержания веществ [Платонов, Лозовик, 2003; Лозовик, 2006]. Удельный вынос веществ с водосборной территории Карелии был принят по данным авторов [Лозовик и др., 2005].

Расчет доли атмосферной составляющей в химическом составе поверхностных вод проводился по соотношению химических выпадений и удельного химического стока и по формуле:

$$\rho = \frac{KC_{ос.}}{C_{пов. вод}} \cdot 100\% ,$$

где  $C_{ос.}$ ,  $C_{пов. вод}$  – концентрация вещества в атмосферных осадках и в поверхностных водах;  $K$  – коэффициент изменения концентрации веществ в атмосферных осадках в зависимости от величины осадков и испарения.

Для Карелии коэффициент  $K$  принят равным 2 согласно данным С. П. Китаева для зоны тайги [Китаев, 2007].

## Результаты и обсуждение

Данные по химическому составу атмосферных осадков на территории Карелии за период 1996–2010 гг. представлены в таблице. Здесь приведены и медианные показатели для поверхностных вод, химические выпадения и удельный химический вынос веществ с водосборной территории по данным работ [Платонов, Лозовик, 2003; Лозовик и др., 2005; Лозовик, 2006; Состояние..., 2007].

Сравнение данных таблицы показывает, что в атмосферных осадках на порядок меньше содержится  $K^+$ ,  $Na^+$ ,  $Ca^{2+}$ ,  $Mg^{2+}$ ,  $OB$ ,  $Si$  и  $Fe$ , чем в поверхностных водах. Это указывает на то, что их поступление в поверхностные воды связано в основном с процессами выщелачивания на водосборной территории. В среднем с атмосферными осадками на сушу поступает  $1,2 \text{ г}/(\text{м}^2 \cdot \text{год})$  солей и такое же количество органического вещества. Содержание  $SO_4^{2-}$ ,  $Cl^-$ ,  $P_{мин}$ ,  $P_{общ}$ ,  $N_{общ}$ , а также  $Cu$  в поверхностных водах и атмосферных осадках находится в пределах одного порядка, но их концентрация в осадках меньше, чем в водных объектах. По ряду элементов –  $NO_3^-$ ,  $NH_4^+$ ,  $Pb$ ,  $Zn$ ,  $Cd$  и  $Al$  – получено большее их содержание в атмосферных осадках, чем в поверхностных водах. Именно атмосферные осадки являются основным источником поступления на сушу минеральных форм азотистых веществ, но потребление их

Химический состав атмосферных осадков, поверхностных вод, химические выпадения и удельный вынос веществ с территории Карелии

Компонент	Размерность	Северный	Центральный	Южный	Восточный	Карелия		Химические выпадения	Удельный вынос
		Атмосферные осадки				Поверхностные воды			
K <sup>+</sup>	мг/л	0,06	0,04	0,04	0,03	0,04	0,50	г/(м <sup>2</sup> ·год)	
Na <sup>+</sup>		0,17	0,29	0,14	0,10	0,18	1,30	0,03	–
Ca <sup>2+</sup>		0,19	0,22	0,27	0,33	0,25	2,40	0,11	–
Mg <sup>2+</sup>		0,04	0,05	0,06	0,05	0,05	1,10	0,15	–
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>		0,72	0,74	0,81	0,52	0,70	2,50	0,03	–
Cl <sup>-</sup>		0,44	0,75	0,43	0,37	0,50	1,2	0,41	–
Σ <sub>и</sub>		1,89	2,35	2,10	1,61	1,99	19,4	0,29	–
Fe <sub>общ</sub>		0,04	0,03	0,05	0,03	0,04	0,43	1,18	7,8
Al		0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,02	0,02	–
Si		0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	1,70	0,01	0,18
ПО	мг О/л	1,06	1,22	0,84	0,62	0,94	12,0	г О/(м <sup>2</sup> ·год)	
NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	мг N/л	0,08	0,08	0,11	0,01	0,08	0,05	1,09	8,5
NO <sub>2</sub> <sup>-</sup>		0,002	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	г N/(м <sup>2</sup> ·год)	
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>		0,19	0,18	0,24	0,20	0,20	0,01	0,04	0,025
N <sub>орг</sub>		0,08	0,06	0,10	0,08	0,08	0,44	0,001	–
N <sub>общ</sub>		0,34	0,34	0,47	0,44	0,40	0,50	0,12	0,015
Pb	мкг/л	0,60	0,50	0,50	–	0,50	0,10	0,05	0,14
Zn		9,10	7,30	7,50	–	8,0	2,65	0,24	0,18
Cd		0,05	0,05	0,08	–	0,06	0,03	0,01	–
Cu		0,70	0,80	0,70	–	0,70	1,40	0,04	–
P <sub>мин</sub>		1,0	1,0	3,0	1,0	1,50	2,0	0,43	–
P <sub>общ</sub>		7,0	10,0	8,0	11,0	9,0	17,0	0,001	–
								0,006	0,007

Примечание. Прочерк – нет данных.

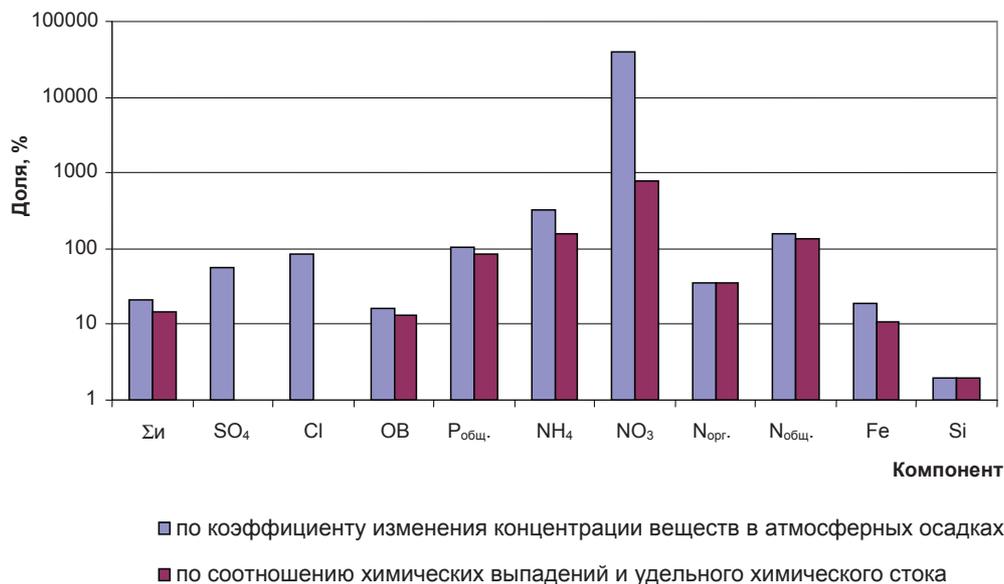
водной растительностью и водными организмами приводит к утилизации и, соответственно, к низкому содержанию этих веществ в поверхностных водах.

Значительное содержание Pb, Zn, Cd в атмосферных осадках связано с большим количеством их антропогенных источников. В то же время высокая удерживающая способность почв к ним приводит к тому, что они не поступают в водные объекты, а задерживаются на водосборной территории.

Более наглядную картину роли атмосферных осадков в формировании состава поверхностных вод дает оценка доли содержания компонентов атмосферных осадков в поверхностных водах по коэффициенту изменения концентрации веществ в атмосферных осадках в зависимости от величины осадков и испарения и по отношению химических выпадений и удельного химического стока (рис.). Из рисунка видно, что вклад атмосферной составляющей в поступление Si, Fe, минеральных (по Σ<sub>и</sub>) и органических веществ в поверхностные воды несуществен. С учетом испарения доля минеральных и органических веществ достигает 21 %. В то же время поступление Cl<sup>-</sup>, большей частью SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>, а также P<sub>общ</sub> связано в основном с атмосферными осадками. Так, доля SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>, Cl<sup>-</sup> в среднем составила 56 и 83 % соответственно.

Содержание общего азота в атмосферных осадках и поверхностных водах имеет близкие значения, что связано с постоянством общего азота в объектах гидросферы [Лозовик, Бородулина, 2009]. Отличие заключается в том, что в атмосферных осадках преобладают неорганические формы азота (NH<sub>4</sub><sup>+</sup>, NO<sub>3</sub><sup>-</sup>), а в поверхностных водах, за редким исключением, – органические. Поэтому для этих компонентов формальный расчет их доли дает очень высокие значения. Аммоний и нитраты активно потребляются на суше и в воде, и как следствие этого наблюдаются низкие их концентрации в поверхностных водах. Аналогичная картина в соотношении отмечается для тяжелых металлов (Pb, Zn, Cd) и Al. Вынос их в поверхностные воды ограничен удерживающей способностью почв.

Расчетная доля химических элементов по С. П. Китаеву закономерно выше, чем по соотношению выпадений и удельного химического стока. Связано это с тем, что удельный химический сток был рассчитан по данным для речных систем, а сравнение концентраций проводилось по среднерегionalным величинам для поверхностных вод, включая реки и озера. Для последних на составе воды сказывается выпадение атмосферных осадков, и как следствие этого концентрация веществ в озерах несколько меньше, чем в приточных водах.



Доля компонентов атмосферных осадков в химическом составе поверхностных вод Карелии, %

## Выводы

На основании проведенных исследований с использованием двух методических подходов установлено, что атмосферные осадки играют существенную роль в формировании химического состава поверхностных вод. Поступление минеральных и органических веществ с атмосферными осадками на сушу незначительное – до 1,2 г/(м<sup>2</sup>·год). С учетом испарения доля солей и органических веществ атмосферных осадков в минерализации поверхностных вод Карелии достигает 21 %. Наибольшую долю из минеральных компонентов вносят Cl<sup>-</sup> (83 %) и SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> (56 %). С атмосферными осадками на сушу поступает значительное количество аммония, нитратов, минерального и общего фосфора. Выпадение общего азота несколько выше, чем выносятся его с водосборной территории. А органического азота – меньше, чем поступает с речными водами. Это связано с потреблением аммония и нитратов наземной растительностью, переходом их в органические формы. С атмосферными осадками на сушу поступает значительное количество Pb, Zn и Cd, но их вынос в водные объекты ограничен.

## СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРЕ:

### Потапова Ирина Юрьевна

научный сотрудник  
Институт водных проблем Севера Карельского научного центра РАН  
пр. А. Невского, 50, Петрозаводск, Республика Карелия, Россия, 185030  
эл. почта: irina\_potapova@inbox.ru  
тел.: (8142) 576541

## Литература

- Атлас Карельской АССР*. М.: ГУГК СССР, 1989. 40 с.
- Китаев С. П. Основы лимнологии для гидробиологов и ихтиологов. Петрозаводск: Карельский НЦ РАН, 2007. С. 125–131.
- Лозовик П. А. Гидрогеохимические критерии состояния поверхностных вод гумидной зоны и их устойчивости к антропогенному воздействию: Автореф. дис. ... докт. хим. наук. М., 2006. 59 с.
- Лозовик П. А., Бородулина Г. С. Соединения азота в поверхностных и подземных водах Карелии // Водные ресурсы. 2009. Т. 36, № 6. С. 694–704.
- Лозовик П. А., Потапова И. Ю. Поступление химических веществ с атмосферными осадками на территорию Карелии // Водные ресурсы. 2006. Т. 33, № 1. С. 111–118.
- Лозовик П. А., Басов М. И., Литвиненко А. В. Оценка поступления химических веществ в гидрографическую сеть с водосборной территории Карелии // Водные ресурсы. 2005. Т. 32, № 5. С. 584–588.
- Онежское озеро*. Атлас. Петрозаводск: Карельский НЦ РАН, 2010. С. 75–81.
- Платонов А. В., Лозовик П. А. Тяжелые металлы в природных водах Карелии // Гидроэкологические проблемы и использование водных ресурсов. Петрозаводск: Карельский НЦ РАН, 2003. С. 135–144.
- Состояние водных объектов Республики Карелия. По результатам мониторинга 1998–2006 гг.* Петрозаводск: Карельский НЦ РАН, 2007. 210 с.

### Potapova, Irina

Northern Water Problems Institute, Karelian Research Centre, Russian Academy of Science  
50 A. Nevsky St., 185030 Petrozavodsk, Karelia, Russia  
e-mail: irina\_potapova@inbox.ru  
tel.: (8142) 576541