

УДК 504.4

**ПРОСТРАНСТВЕННО-ВРЕМЕННОЙ АНАЛИЗ КОНЦЕНТРАЦИИ  
ХЛОРИД-ИОНОВ В АТМОСФЕРНЫХ ОСАДКАХ СЕВЕРА  
РУССКОЙ РАВНИНЫ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МЕТОДИКИ  
УДЛИНЕНИЯ РЯДОВ НАБЛЮДЕНИЙ**

*Е.В. Лунева, П.В. Хомяков, Н.П. Торсуев*

**Аннотация**

Использована методика удлинения рядов наблюдений за химическим составом атмосферных осадков. Проведен пространственно-временной анализ изменения концентрации хлорид-ионов в атмосферных осадках севера Русской равнины. Выявлено, что его концентрация формируется под влиянием природного фактора, загрязнения промышленными предприятиями и трансграничного переноса загрязняющих веществ.

**Ключевые слова:** корреляция, регрессия, химический состав атмосферных осадков, хлорид-ион.

---

В промышленных центрах севера Русской равнины сосредоточены крупные целлюлозно-бумажные, металлургические, химические, нефтегазодобывающие и нефтеперерабатывающие предприятия. Многие из них в экологическом отношении являются наиболее загрязняющими окружающую среду. Их выбросы негативно воздействуют на хрупкую природу севера.

Атмосферные осадки, являющиеся основным механизмом самоочищения атмосферы, принимают участие в круговороте солевых веществ [1], в частности хлоридов, содержащихся в атмосфере. В связи с этим представляется актуальным анализ изменения химического состава атмосферных осадков (ХСО) на примере хлорид-ионов.

В основу работы положена информация по 14 метеостанциям (МС) севера Русской равнины (табл. 1). Наиболее продолжительные ряды наблюдений имеют МС Мудьюг и Усть-Вымь (1958–2007 гг.). На 10 МС наблюдения начали проводить лишь с 90-х годов XX века. В итоге информация имеет как разные по длине ряды, так и пропуски наблюдений за отдельные годы.

Наряду с вышесказанным остается актуальным вопрос поиска путей наращивания метеорологических рядов, в частности для концентрации хлорид-ионов в атмосферных осадках. Целесообразно рассматривать удлинение рядов и как экологическую задачу, поскольку получить достоверные, весьма длительные во времени показатели для обширных территорий является весьма проблематичным.

Табл. 1

## Продолжительность наблюдений за ХСО на МС

МС	Года наблюдений	Количество лет наблюдений
Мудьюг	1958–2007	50
Усть-Вымь	1958–2007	50
Нарьян-Мар	1962–2007	46
Сыктывкар	1971–2007	37
Белозерск	1990–2007	18
Брусовица	1990–2007	18
Онега	1990–2007	18
Тр.-Печорск	1990–2007	18
Сура	1990–2007	18
Вологда	1991–2007	17
Архангельск	1991–2007	17
Северодвинск	1991–2007	17
Череповец	1991–2007	17
Ухта	1992–2007	16

Регрессионный метод удлинения рядов наблюдений является наиболее достоверным [2–4], но его целесообразно адаптировать к данным по концентрациям ингредиентов в атмосферных осадках.

Ряды наблюдений проверены на закон нормального распределения. В результате некоторые выборки подчинялись указанному закону, а некоторые имели иное распределение. Те выборки, которые не подчинялись закону нормального распределения, были прологарифмированы и из них были удалены «аномальные» значения концентрации. Процент удаленных значений поллютантов составил 0–2.38%, что позволило без существенных изменений придать статистическим характеристикам эмпирического распределения более подходящий вид для дальнейшей обработки данных.

Связи между концентрациями загрязняющих веществ (ЗВ) внутри каждой МС определялись с помощью коэффициентов корреляции. Максимальная связь фиксируется для содержаний ионов хлорида и ионов натрия. Например, на МС Брусовица она составила 0.9 (табл. 2).

Наличие высоких коэффициентов корреляции позволяет воспользоваться уравнениями линейной регрессии для заполнения пропусков данных по содержанию хлорид-ионов за отдельные годы. При построении регрессионных моделей необходимо учитывать критерии статистической достоверности  $R^2$  (табл. 3). Допустимое значение критерия принималось не меньше 60%. Чтобы получилась достоверная регрессионная модель, коэффициент корреляции должен быть не менее 0.77 по модулю.

Значения коэффициентов корреляции для ЗВ между отдельными МС малы либо идет несоответствие уровня значимости (табл. 4). Коэффициенты корреляции прологарифмированных значений концентраций поллютантов также малы (табл. 5). Однако последние в большинстве случаев имеют статистически значимую корреляцию, чем непрологарифмированные.

Табл. 2

Коэффициенты корреляции между концентрациями хлорид-ионов и других поллютантов внутри МС

МС	ЗВ	<i>r</i>	МС	ЗВ	<i>r</i>
Мудьюг	Cl <sup>-</sup> и Na <sup>+</sup>	0.75	Вологда	Cl <sup>-</sup> и K <sup>+</sup>	0.65
Усть-Вымь	Cl <sup>-</sup> и Na <sup>+</sup>	0.63		Cl <sup>-</sup> и Na <sup>+</sup>	0.59
	Cl <sup>-</sup> и K <sup>+</sup>	0.5		Cl <sup>-</sup> и NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	0.60
Нарьян-Мар	Cl <sup>-</sup> и Na <sup>+</sup>	0.81	Онега	Cl <sup>-</sup> и SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	0.51
	Cl <sup>-</sup> и K <sup>+</sup>	0.58		Cl <sup>-</sup> и Na <sup>+</sup>	0.58
	Cl <sup>-</sup> и SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	0.59	Северодвинск	Cl <sup>-</sup> и Na <sup>+</sup>	0.82
	Cl <sup>-</sup> и HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	0.51	Сура	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> и Ca <sup>2+</sup>	0.64
Cl <sup>-</sup> и NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	0.48	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> и NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>		0.47	
Сыктывкар	Cl <sup>-</sup> и K <sup>+</sup>	0.72		Na <sup>+</sup> SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	0.56
	Cl <sup>-</sup> и Na <sup>+</sup>	0.59	Cl <sup>-</sup> и Na <sup>+</sup>	0.59	
Архангельск	Cl <sup>-</sup> и Na <sup>+</sup>	0.80	Тр-Печорск	Cl <sup>-</sup> и Na <sup>+</sup>	0.63
	Cl <sup>-</sup> и K <sup>+</sup>	0.63		Cl <sup>-</sup> и Ca <sup>2+</sup>	0.63
	Cl <sup>-</sup> и Mg <sup>2+</sup>	0.47		Cl <sup>-</sup> и K <sup>+</sup>	0.57
	Cl <sup>-</sup> и HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	0.51		Cl <sup>-</sup> и HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	0.55
Белозерск	Cl <sup>-</sup> и Na <sup>+</sup>	0.75	Ухта	Cl <sup>-</sup> и Na <sup>+</sup>	0.64
	Cl <sup>-</sup> и K <sup>+</sup>	0.65	Череповец	Cl <sup>-</sup> и Na <sup>+</sup>	0.79
	Cl <sup>-</sup> и SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	0.50		Cl <sup>-</sup> и K <sup>+</sup>	0.61
	Cl <sup>-</sup> и Ca <sup>2+</sup>	0.53		Cl <sup>-</sup> и Ca <sup>2+</sup>	0.47
Брусовица	Cl <sup>-</sup> и Na <sup>+</sup>	0.90			

Табл. 3

Уравнения линейной регрессии между концентрациями хлорид-ионов и других загрязняющих веществ внутри МС

Линейное уравнение	R <sup>2</sup> (%)	Линейное уравнение	R <sup>2</sup> (%)
Mu <sub>Cl<sup>-</sup></sub> = 0.99 + 1.4·Mu <sub>Na<sup>+</sup></sub>	55.82	VI <sub>Cl<sup>-</sup></sub> = 1.55 + 0.55·VI <sub>Na<sup>+</sup></sub>	34.94
Uv <sub>Cl<sup>-</sup></sub> = 0.48 + 0.78·Uv <sub>Na<sup>+</sup></sub>	39.01	VI <sub>Cl<sup>-</sup></sub> = 1.43 + 0.17·VI <sub>NO<sub>3</sub><sup>-</sup></sub>	35.58
Nm <sub>Cl<sup>-</sup></sub> = 1.12 + 1.12·Nm <sub>Na<sup>+</sup></sub>	65.42	On <sub>Na<sup>+</sup></sub> = 0.46 + 0.12·On <sub>SO<sub>4</sub><sup>2-</sup></sub>	26.34
Nm <sub>Cl<sup>-</sup></sub> = 1.63 + 2.08·Nm <sub>K<sup>+</sup></sub>	33.30	On <sub>Cl<sup>-</sup></sub> = 0.87 + 0.68·On <sub>Na<sup>+</sup></sub>	33.72
Nm <sub>Cl<sup>-</sup></sub> = 1.79 + 0.32·Nm <sub>SO<sub>4</sub><sup>2-</sup></sub>	34.43	Se <sub>Cl<sup>-</sup></sub> = 0.72 + 1.54·Se <sub>Na<sup>+</sup></sub>	66.65
Sk <sub>Cl<sup>-</sup></sub> = 1.05 + 1.12·Sk <sub>K<sup>+</sup></sub>	51.48	Su <sub>Cl<sup>-</sup></sub> = 0.67 + 1.25·Su <sub>Na<sup>+</sup></sub>	34.48
Sk <sub>Cl<sup>-</sup></sub> = 1.42 + 0.65·Sk <sub>Na<sup>+</sup></sub>	34.81	TrP <sub>Cl<sup>-</sup></sub> = 1.08 + 1.03·TrP <sub>Na<sup>+</sup></sub>	39.16
Ar <sub>Cl<sup>-</sup></sub> = 0.53 + 1.18·Ar <sub>Na<sup>+</sup></sub>	63.45	TrP <sub>Cl<sup>-</sup></sub> = 0.83 + 0.59·TrP <sub>Ca<sup>2+</sup></sub>	39.35
Ar <sub>Cl<sup>-</sup></sub> = 0.97 + 2.22·Ar <sub>K<sup>+</sup></sub>	39.10	TrP <sub>Cl<sup>-</sup></sub> = 1 + 0.13·TrP <sub>HCO<sub>3</sub><sup>-</sup></sub>	30.39
Be <sub>Cl<sup>-</sup></sub> = 0.84 + 1.24·Be <sub>Na<sup>+</sup></sub>	55.65	TrP <sub>Cl<sup>-</sup></sub> = 1.36 + 1.49·TrP <sub>K<sup>+</sup></sub>	31.98
Be <sub>Cl<sup>-</sup></sub> = 1 + 1.1·Be <sub>K<sup>+</sup></sub>	42.63	Ukh <sub>Cl<sup>-</sup></sub> = 1.26 + 1.09·Ukh <sub>Na<sup>+</sup></sub>	40.47
Br <sub>Cl<sup>-</sup></sub> = 0.26 + 1.55·Br <sub>Na<sup>+</sup></sub>	81.02	Che <sub>Cl<sup>-</sup></sub> = 0.96 + 1.31·Che <sub>Na<sup>+</sup></sub>	61.92
VI <sub>Cl<sup>-</sup></sub> = 1.23 + 1.23·VI <sub>K<sup>+</sup></sub>	41.72	Che <sub>Cl<sup>-</sup></sub> = 1.27 + 1.3·Che <sub>K<sup>+</sup></sub>	36.96

Таким образом, когда корреляционный анализ проводился внутри МС, между концентрациями поллютантов была высокая степень статистической связи, тогда как коэффициенты корреляции между содержаниями ЗВ для различных МС характеризовались малым значением.

Табл. 4

Значение коэффициентов корреляции для ЗВ между отдельными МС

Мудьюг								
	Архангельск		Северодвинск		Брусовица		Онега	
	Cl <sup>-</sup>		Cl <sup>-</sup>		Cl <sup>-</sup>		Cl <sup>-</sup>	
Cl <sup>-</sup>	0.1 (0.34)		0.21 (0.01)		0.42 (0.00)		0.07 (0.43)	
Na <sup>+</sup>	0.07 (0.94)		0.2 (0.02)		0.35 (0.00)		0.06 (0.52)	
K <sup>+</sup>	-0.02 (0.83)		0.23 (0.01)		0.05 (0.63)		0.01 (0.93)	
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	-0.02 (0.84)		-0.18 (0.21)		-0.08 (0.4)		0.04 (0.65)	
Ca <sup>2+</sup>	-0.07 (0.45)		-0.14 (0.09)		-0.1 (0.28)		-0.21 (0.01)	
NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	-0.09 (0.36)		0.24 (0.01)		-0.07 (0.43)		0.04 (0.67)	
HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	-0.14 (0.19)		0.04 (0.65)		-0.09 (0.36)		-0.21 (0.01)	

Примечание. В скобках указана статистическая значимость корреляции, которая должна быть не более 0.05, чтобы уровень доверия соответствовал 95%.

Табл. 5

Значение коэффициентов корреляции для прологарифмированных значений концентраций загрязняющих веществ между МС

Мудьюг								
	Архангельск		Северодвинск		Брусовица		Онега	
	Cl <sup>-</sup>		Cl <sup>-</sup>		Cl <sup>-</sup>		Cl <sup>-</sup>	
Cl <sup>-</sup>	0.22 (0.03)		0.37 (0.00)		0.43 (0.00)		0.19 (0.02)	
Na <sup>+</sup>	0.21 (0.03)		0.34 (0.00)		0.38 (0.00)		0.08 (0.34)	
K <sup>+</sup>	0.06 (0.55)		0.29 (0.00)		0.02 (0.81)		0.02 (0.82)	
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	0.08 (0.39)		-0.07 (0.4)		-0.07 (0.46)		0.14 (0.09)	
Ca <sup>2+</sup>	-0.03 (0.79)		-0.04 (0.61)		-0.16 (0.09)		-0.17 (0.05)	
NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	-0.05 (0.65)		0.25 (0.00)		-0.03 (0.74)		0.09 (0.28)	
HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	-0.06 (0.52)		-0.00 (0.96)		-0.22 (0.02)		-0.17 (0.05)	

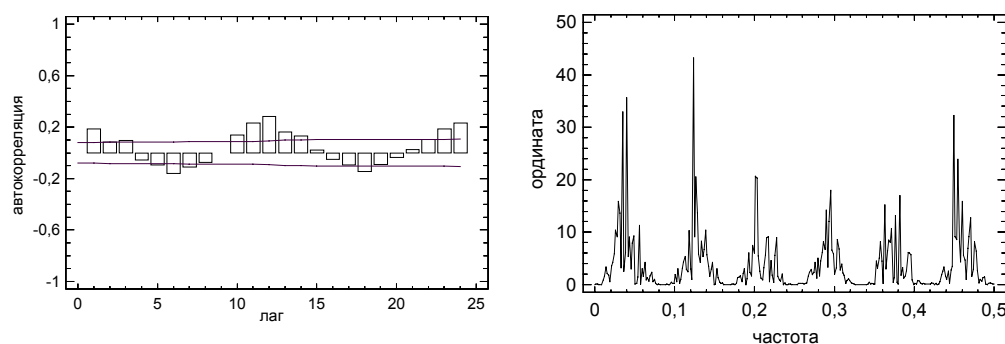


Рис. 1. Проявление сезонности (слева) и периодограмма (справа) для хлорид-ионов на МС Мудьюг

Низкая связь содержаний загрязнителей для различных МС и высокие коэффициенты корреляции концентраций компонентов внутри МС позволяют говорить о «сезонности» [5], под которой следует подразумевать зависимость метеонаблюдений от предшествующих условий, а также наличие некоторой периодичности. Сезонность приводит к большому разбросу выборочной совокупности, что обуславливает низкие коэффициенты корреляции содержаний загрязнителей для различных МС. Сезонность же выборки ЗВ внутри МС имеет

Табл. 6

Статистически значимые помесечные коэффициенты корреляции между концентрациями ЗВ МС Мудьюг и хлорид-ионов МС Архангельск, Брусовица, Северодвинск и Онега

МС	ЗВ	месяц	$r$	$n$	МС	ЗВ	месяц	$r$	$n$
Архангельск	$\text{SO}_4^{2-}$	4	-0.52	15	Брусовица	Cl <sup>-</sup>	1	0.7	16
	$\text{SO}_4^{2-}$	6	-0.53	16		Cl <sup>-</sup>	5	0.86	17
	$\text{NO}_3^-$	3	-0.55	17		$\text{SO}_4^{2-}$	5	0.61	18
	$\text{NO}_3^-$	4	-0.59	15		$\text{SO}_4^{2-}$	11	0.82	17
	$\text{NO}_3^-$	6	0.72	16		$\text{NO}_3^-$	10	0.72	16
	$\text{HCO}_3^-$	8	0.75	13		$\text{HCO}_3^-$	5	0.9	13
	$\text{NH}_4^+$	8	0.63	17		$\text{NH}_4^+$	4	0.61	14
	$\text{K}^+$	8	0.51	17		$\text{NH}_4^+$	5	0.77	17
	$\text{Ca}^{2+}$	1	0.56	16		$\text{Na}^+$	1	0.5	16
	$\text{Mg}^{2+}$	4	0.6	14		$\text{Na}^+$	5	0.72	17
	$\text{Mg}^{2+}$	6	0.58	15		$\text{Na}^+$	11	0.5	16
Северодвинск	$\text{NO}_3^-$	10	0.52	16	$\text{K}^+$	2	0.62	15	
	$\text{Ca}^{2+}$	10	0.55	17	$\text{K}^+$	5	0.64	17	
	$\text{Mg}^{2+}$	5	0.74	16	$\text{K}^+$	11	0.77	17	
Онега	Cl <sup>-</sup>	9	0.61	18	$\text{Ca}^{2+}$	1	0.58	15	
	$\text{Na}^+$	9	0.55	18	$\text{Ca}^{2+}$	10	0.59	17	
	$\text{K}^+$	2	0.78	16	$\text{Ca}^{2+}$	11	0.64	17	
	$\text{Ca}^{2+}$	2	0.59	15	$\text{Mg}^{2+}$	4	0.71	13	
					$\text{Mg}^{2+}$	11	0.83	16	

некоторое сходство, чем и объясняется высокая степень связи. Внутривидную составляющую позволяет проследить автокорреляция и периодограмма (рис. 1).

Наличие периодической составляющей предопределило необходимость проводить дальнейшую обработку данных отдельно за каждый месяц.

Помесечная корреляционная связь между концентрацией хлорид-ионов одних МС и концентрацией некоторых поллютантов других МС характеризуются высокой величиной (табл. 6).

Кроме того, помесечные коэффициенты корреляции были подсчитаны между прологарифмированными значениями концентраций хлоридов одних МС и прологарифмированными значениями концентраций загрязняющих веществ других МС. При логарифмировании высокие коэффициенты корреляции обнаруживаются там, где их не было до логарифмирования.

Построение помесечных прогностических моделей с использованием регрессионных уравнений осуществлялось с коэффициентами корреляции не меньше 0.77 по модулю (табл. 7). Специалисты [6] считают, что достаточно 0.75. Однако у линейных уравнений при коэффициенте корреляции 0.75 критерий статистической достоверности составляет 56.33, то есть практически предсказанное значение может быть и не быть таковым с одинаковой вероятностью (табл. 7).

Табл. 7

Уравнения линейной регрессии для концентраций хлорид-ионов МС Мудьюг и других поллютантов МС севера Русской равнины

Уравнения при $r$ не меньше 0.77	R <sup>2</sup> (%)	Уравнения при $r$ меньше 0.77	R <sup>2</sup> (%)
$Br\_Cl^- = 0.42 + 0.33 \cdot Mu\_Cl^-$	74.72	$Ar\_Cl^- = 0.94 + 0.09 \cdot Mu\_SO_4^{2-}$	27.43
$Br\_Cl^- = 0.14 + 0.29 \cdot Mu\_SO_4^{2-}$	68.36	$Ar\_Cl^- = 0.57 + 0.07 \cdot Mu\_SO_4^{2-}$	27.98
$Br\_Cl^- = 0.58 + 0.17 \cdot Mu\_HCO_3^-$	81.63	$Ar\_Cl^- = 5.23 - 0.72 \cdot Mu\_NO_3^-$	30.78
$Br\_Cl^- = 0.85 + 0.3 \cdot Mu\_NH_4^+$	58.61	$Ar\_Cl^- = 6.12 - 1.51 \cdot Mu\_NO_3^-$	34.51
$Br\_Cl^- = 0.38 + 1.96 \cdot Mu\_K^+$	59.96	$Ar\_Cl^- = 0.21 + 0.97 \cdot Mu\_NO_3^-$	55.13
$Br\_Cl^- = 0.54 + 0.76 \cdot Mu\_Mg^{2+}$	68.52	$Ar\_Cl^- = 0.05 + 0.1 \cdot Mu\_HCO_3^-$	56.33
		$Ar\_Cl^- = 0.65 + 0.18 \cdot Mu\_NH_4^+$	39.14
$On\_Cl^- = 0.68 + 1.38 \cdot Mu\_K$	60.94	$Ar\_Cl^- = 0.35 + 0.95 \cdot Mu\_K^+$	26
		$Ar\_Cl^- = 1.6 + 0.41 \cdot Mu\_Ca^{2+}$	30.82

В результате реализации адаптированной регрессионной модели к данным концентраций ЗВ в атмосферных осадках продлены ряды наблюдений на МС «Архангельской агломерации» (Северодвинск, Онега, Архангельск, Брусовица).

Для изучения пространственно-временной изменчивости среднесезонной концентрации поступления хлорид-ионов с атмосферными осадками построены карты изолиний рассматриваемого поллютанта 1990–2007 гг., сгруппированные по годам.

Общая закономерность в указанных временных интервалах такова, что на северо-западе региона фиксируется самая высокая концентрация хлорид-ионов в ХСО, выпадающих на севере Русской равнины (рис. 2–5). Такая ситуация объясняется в первую очередь природными условиями. Высокие концентрации хлорид-ионов наблюдаются именно на побережье Белого моря. Водяные пары, конденсирующиеся вокруг мельчайших сухих частиц, постоянно выбрасываются в воздух с брызгами воды в беспокойных участках моря. При удалении от него концентрация хлорид-ионов в атмосферных осадках заметно снижается. По направлению в глубь материка ядрами конденсации преимущественно служат частицы пыли континентального происхождения, а соотношение хлоридных и других «дождевых» ионов в ХСО уменьшается.

Дальность распространения морских солей на континент весьма ограничена, поскольку на расстоянии примерно 300 м от берега осаждается до 80% первоначального содержания их у побережья [7]. Локальный круговорот морских солей также существует и в приокеаническом слое атмосферы за счет срыва крупных капель воды при штормовой ситуации. Но его роль в общем круговороте ограничена действием силы гравитационного осаждения, и этот слой оказывает лишь незначительное влияние на крупномасштабный перенос морских солей в атмосферу.

Осадки морских и прибрежных регионов отличаются также большим содержанием хлоридов натрия и магния, что вызывает значительное повышение общего содержания примесей [8].

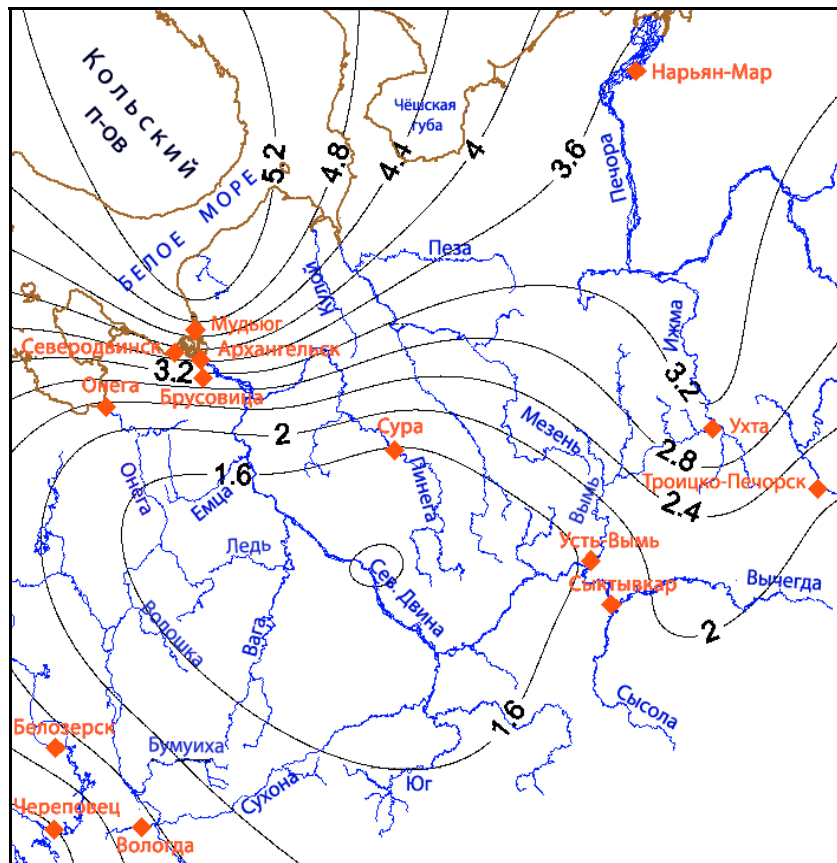


Рис. 2. Среднегодовья концентрация хлорид-ионов в атмосферных осадках на севере Русской равнины (1990–1994 гг.)

Концентрация хлорид-ионов в осадках имеет прямую связь и со скоростью ветра [9]. Более того, Е.С. Селезневой [10] для морских побережий выявлена связь между содержанием хлорид-ионов в атмосферных осадках и состоянием морской поверхности. При спокойном состоянии моря (волнение менее 2 баллов) значения концентрации данного ингредиента в осадках близки к фоновым. Поступление морских солей на берег в зависимости от волнения возрастает в геометрической прогрессии. Увеличение хлоридной составляющей в осадках наблюдается и с возрастанием скорости ветра [9], причем наибольшее количество хлора выпадает на побережье при северном ветре.

Большие концентрации хлорид-ионов в атмосферных осадках на побережье и над поверхностью моря могут быть обусловлены не только природными факторами, но и антропогенным воздействием. Наличие крупных производственных предприятий, бесспорно, оказывает влияние на концентрацию ЗВ в атмосферном воздухе и, как следствие, в осадках. Именно на северо-западе региона (МС Архангельск, Северодвинск, Мудьюг, Онега, Брусовица) функционирует мощная целлюлозно-бумажная промышленность, предприятия теплоэнергетики, машиностроения, широко использующие в производственных циклах хлор и хлорсодержащие соединения. Естественно, что на МС Нарьян-Мар,

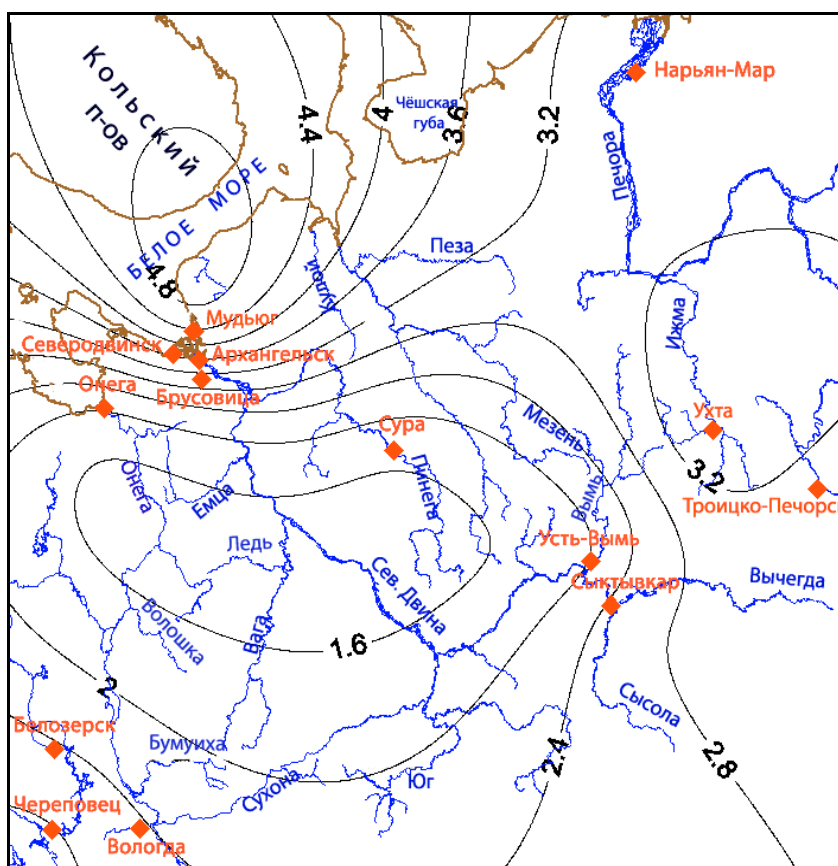


Рис. 3. Среднегодовая концентрация хлорид-ионов в атмосферных осадках на севере Русской равнины (1995–1999 гг.)

которая находится близ побережья Баренцева моря, концентрация хлорид-ионов в атмосферных осадках заметно ниже (рис. 2–5).

Отметим также такой источник поступления хлоридов, как трансграничный перенос с северо-запада: Ленинградской обл., Карелии, Мурманской обл., из районов Финляндии, Швеции, Норвегии.

В восточной (Ухта, Троицко-Печорск) и южной (Череповец, Вологда, Сыктывкар) частях региона преобладают предприятия металлургии, теплоэнергетики, химической и лесоперерабатывающей промышленности, то есть отрасли, в которых хлор и хлорсодержащие соединения используются незначительно. Данное обстоятельство, а также удаление от моря предопределили меньшую концентрацию хлорид-ионов в атмосферных осадках в этих районах, чем на его северо-западе.

За последние 20 лет, включая 2007 г., концентрация хлорид-ионов в атмосферных осадках, выпадающих на побережье севера, варьирует в пределах 3.6–5.2 мг/л. Если же принять во внимание, что средняя концентрация хлоридов на планете составляет 1.6 мг/л [11], то можно говорить о значительном загрязнении хлоридами атмосферы близ Белого моря. При движении на юг концентрация



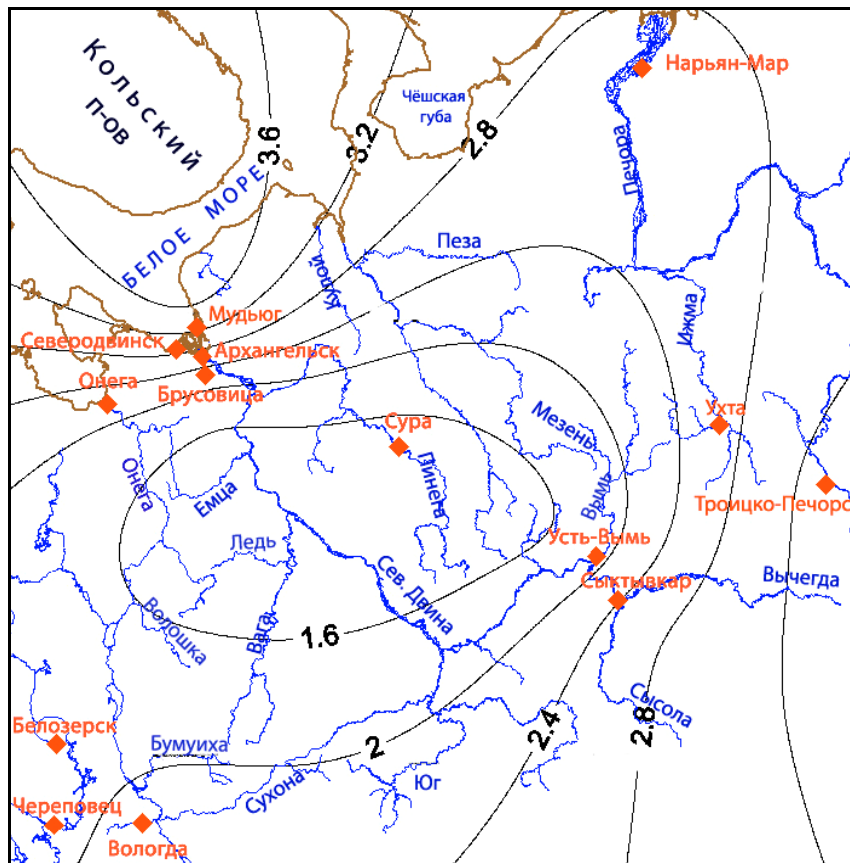


Рис. 4. Среднегодовое значение концентрации хлорид-ионов в атмосферных осадках на севере Русской равнины (2000–2004 гг.)

поллютанта постепенно снижается. Наименьшие концентрации хлорид-ионов в осадках фиксируются в бассейне среднего и верхнего течения р. Сев. Двина, а также р. Онега, где концентрация изменяется в пределах 0.8–1.6 мг/л (рис. 2–5). Лишь на одной МС (Сура) из всех 14, функционирующих на севере Русской равнины, в 1990–2007 гг. наблюдалась концентрация менее 1.6 мг/л.

В заключение подчеркнем, что распределение областей различных концентраций хлорид-ионов на картах (рис. 2–5) позволяет говорить о трех изложенных выше составляющих, формирующих концентрацию хлорид-ионов в атмосферных осадках интересующего региона. Во-первых, это природный фактор, представленный в виде брызг моря и морской пыли на побережье. Во-вторых, это глубокая дифференциация отраслей промышленности, где в производственных циклах широко применяются хлор и хлорсодержащие соединения и, наоборот, совсем не применяются. В-третьих, это трансграничный перенос ЗВ, в том числе и хлорид-ионов.

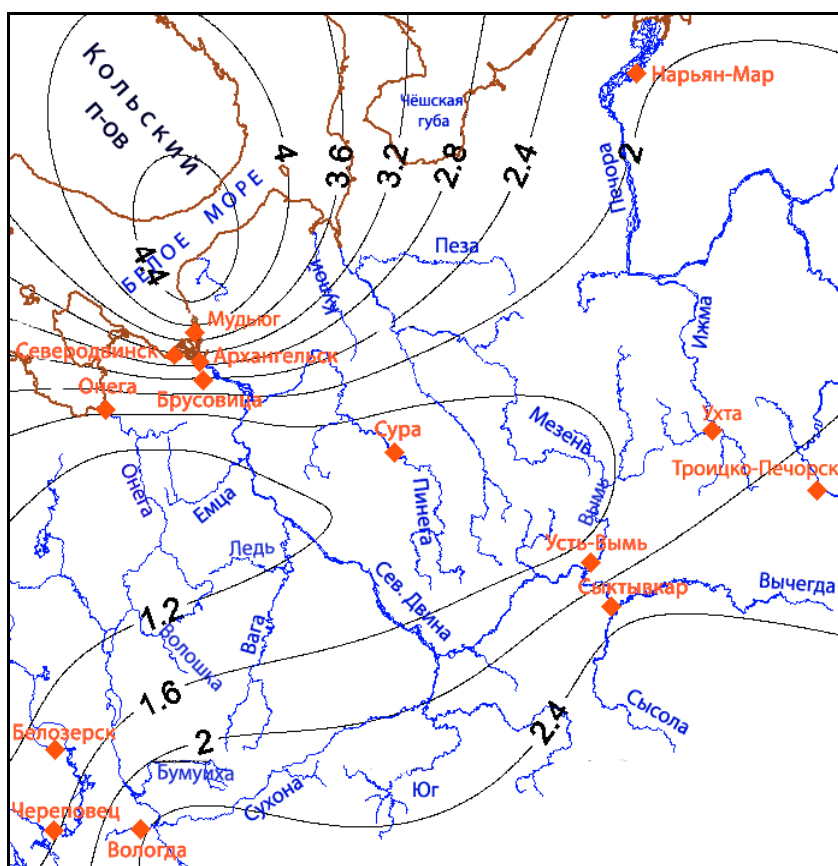


Рис. 5. Среднегодовая концентрация хлорид-ионов в атмосферных осадках на севере Русской равнины (2005–2007 гг.)

### Summary

*E.V. Luneva, P.V. Khomyakov, N.P. Torsuev.* Spatial-Temporal Analysis of Chloride-Ion Concentration in Precipitation in the North of the Russian Plain (Using the Methods of Lengthening the Observation Series).

The article considers the methods of lengthening the observation series on the chemical composition of atmospheric precipitation. Spatial-temporal analysis of changes in the concentration of chloride-ion in precipitation in the north of the Russian Plain has been conducted. It has been revealed that its concentration is formed under the influence of natural factor, industrial pollution and transfrontier transportation of pollutants.

**Key words:** correlation, regression, chemical composition of precipitation, chloride-ion.

### Литература

1. *Алекин О.А.* Основы гидрохимии. – Л.: Гидрометеиздат, 1970. – 444 с.
2. *Верещагин М.А., Наумов Н.П., Шанталинский К.М.* Статистические методы в метеорологии. – Казань: Изд-во Казан. ун-та, 1990. – 107 с.
3. *Дроздов О.А.* Основы климатологической обработки метеорологических наблюдений. – Л.: Ленингр. гос ун-т, 1956. – 203 с.

4. *Кобышева Н.В., Гольберг М.А.* Методические указания по статистической обработке метеорологических рядов. – Л.: Гидрометеиздат, 1990. – 213 с.
5. *Лулева Е.В., Савельев А.А., Хомяков П.В., Торсуев Н.П.* К методике удлинения рядов наблюдений за химическим составом атмосферных осадков // Журн. экологии и промышленной безопасности. – 2007. – № 2. – С. 35–38.
6. *Шкляева Л.С.* Статистические методы в климатологии. – Пермь: Изд-во Перм. ун-та, 2003. – 127 с.
7. *Петренчук О.П.* Влияние физико-географических условий прибрежной зоны на поступление морских аэрозолей в атмосферу // Метеорология и гидрология. – 1977. – № 6. – С. 9–16.
8. *Савельева Е.В., Лавриненко Р.Ф., Першина Н.А.* Количественные оценки фоновое уровня примесей в атмосферных осадках // Атмосферная диффузия и загрязнение воздуха. Тр. ГГО. – 1985. – Вып. 495. – С. 141–148.
9. *Беляшова М.А.* К вопросу о влиянии ветра на химический состав атмосферных осадков морских побережий. // Методы и аппаратура автоматизированного контроля атмосферных загрязнений. Тр. ГГО. – Л.: Гидрометеиздат, 1979. – Вып. 421. – С. 118–121.
10. *Селезнева Е.С.* Распространение морских солей на побережье Черного моря по данным о химическом составе атмосферных осадков // Гидрохимические материалы. – 1972. – Т. 53. – С. 34–45.
11. *Петренчук О.П., Лавриненко Р.Ф.* Химический состав атмосферных осадков в некоторых районах СССР и точность их определения // Тр. ГГО. – Л.: Гидрометеиздат, 1981. – Вып. 450. – С. 117–125.

Поступила в редакцию  
01.07.09

---

**Лулева Елена Викторовна** – студент факультета географии и экологии Казанского государственного университета.

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

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

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