

УДК 504.3.05/06

ЗАКОНОМЕРНОСТИ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ПОСТУПАЮЩИХ СО СНЕЖНЫМИ ВЫПАДЕНИЯМИ МЕТАЛЛОВ В БАССЕЙНЕ РЕКИ СТЯРЛЕ В ПЕРИОД СНЕГОТАЯНИЯ

*В.З. Латыпова, Д.М. Медведев, Е.Р. Иванова,
Л.Р. Саломатина, Д.А. Семанов*

Аннотация

На основе комплексной оценки степени загрязнения снежного и почвенного покровов водосбора р. Стярле, ее донных отложений тяжелыми металлами охарактеризованы факторы, влияющие на перераспределение поступающих со снежными выпадениями металлов в сопредельных природных средах (почве, растениях, донных отложениях). С использованием многопараметрового регрессионного анализа количественно оценена роль биологического фактора в процессах миграции тяжелых металлов в выщелоченных черноземах, характерных для исследуемой территории. Получено экспериментальное подтверждение «неатмосферного» происхождения «никелевой аномалии» на территории Закамья Татарстана.

Введение

Снежный покров является одним из важных факторов, определяющих изменения метеорологических и климатических процессов в холодный период, уровень снегового питания рек, запасы влаги для сельскохозяйственных культур и имеет большое значение для растительного и животного мира [1, 2]. Помимо этого, снежный покров обладает рядом свойств, делающих его удобным индикатором загрязнения не только самих атмосферных выпадений, но и информативным показателем загрязнения атмосферного воздуха в холодное время года и последующего загрязнения почв и компонентов водных экосистем в период снеготаяния [3].

Данная работа посвящена комплексной оценке степени загрязнения снежного и почвенного покровов водосбора реки и ее донных отложений тяжелыми металлами (Zn, Cu, Cr, Cd, Pb, Ni, Co) и факторов, влияющих на перераспределение поступающих со снежными выпадениями металлов в сопредельных природных средах.

Методическая часть

Объектом исследования явилась экосистема бассейна р. Стярле в пределах Бугульминско-Белебеевской возвышенности на юго-востоке Татарстана общей площадью 556 км². Среднегодовая высота снежного покрова составляет 30–50 см, средняя многолетняя продолжительность залегания устойчивого снежного покрова составляет в среднем 143 дня [1]. Территория интенсивно изрезана овра-

гами и балками с крутизной склонов от 5 до 30°. Почвы на водоразделах и водораздельных склонах – черноземы выщелоченные и карбонатные, в долине реки – пойменные. Исследуемая территория входит в подзону лесостепи, для которой характерно чередование участков широколиственного леса с участками луговой степи.

В бассейне исследуемой реки было выделено пять водосборных бассейнов (I–V) границы которых оценены по водораздельным поверхностям притоков. Отбор проб снежного и почвенного покровов в каждом из бассейнов, а также проб донных отложений в р. Стягле и ее притоках проводили в соответствии с принятыми методиками [4–6].

Для определения содержания тяжелых металлов в исследуемых пробах природного состава использовали разработанный авторами в Казанском государственном университете и НПО «Сетал» комплекс методик определения элементного состава почв и донных отложений, массовой доли микроэлементов в природных водах, атмосферных аэрозолях и в снеговых выпадениях на базе эмиссионного спектрографа ДФС-458С с программным обеспечением. В методике анализа микроэлементного состава проб снежного покрова, состоящего из двух самостоятельных стадий (анализа талой воды, фильтрата, и твердой составляющей после их разделения), предусмотрен способ исключения потерь подвижных форм микроэлементов на плотных фильтрах, выявленный в процессе разделения талой воды и твердого остатка.

В качестве электродов использовали спектрально чистые графитовые электроды марки ОСЧ7-4, в качестве стандартных образцов для обеспечения достоверности и надежности анализа, для градуировки прибора и как основа для создания образцов сравнения – государственные стандартные образцы растворов микроэлементов (ГСО и ГСОПМ), эталоны почв СП, СГХМ и комплексные эталоны «Гранит-94».

Результаты и их обсуждение

Одной из важнейших характеристик при оценке степени загрязнения окружающей среды является интенсивность выпадения пыли (P) на подстилающую поверхность. Для оценки величины P экспериментально выделяли и взвешивали твердую фракцию выпадений. Расчет интенсивности выпадения пыли в холодное время года проводили по формуле: $P = P_n / (S \cdot T)$, где P_n – масса пыли, осаждаемой снегом, S – проективная площадь осаждения, T – временной интервал в сутках между моментами опробования и датой установления устойчивого снежного покрова [4].

Результаты снегового опробования показывают, что величина выпадения пыли в бассейне р. Стягле в холодный период колеблется от 2.35 до 745 кг/км²·сут, составляя в среднем 127.8 кг/км²·сут. Рассчитанные величины среднего выпадения пыли на территории отдельных элементарных бассейнов приведены в табл. 1. Полученные результаты свидетельствуют о меньшей степени загрязнения (запыленности) атмосферного воздуха исследуемого района по сравнению с загрязнением атмосферного воздуха, характерного для малых и крупных городов, в холодный период.

Табл. 1

Интенсивность ($P_{\text{сум}}$) выпадения пыли на территории водосборных бассейнов р. Стярле в холодный период года

| Номер бассейна | I | II | III | IV | V |
|--|--------|-------|--------|--------|-------|
| Количество проб | 15 | 17 | 17 | 15 | 16 |
| $P_{\text{сум}}$, кг/км ² ·сут | 149.57 | 66.29 | 161.53 | 256.83 | 38.09 |

Табл. 2

Коэффициент концентрации (K_c) химических элементов в снежном покрове бассейна р. Стярле и ее притоков

| Номер бассейна | Zn | Pb | Co | Ni | Cd | Cu | Cr |
|----------------|------|------|-------|------|------|------|-------|
| I | 0.89 | 4.78 | 7.82 | 3.39 | 1.56 | 5.84 | 6.25 |
| II | 1.07 | 5.10 | 3.57 | 1.71 | 0.86 | 3.03 | 5.93 |
| III | 1.08 | 3.48 | 6.77 | 0.35 | 1.09 | 4.58 | 5.19 |
| IV | 2.52 | 9.10 | 12.85 | 3.22 | 1.25 | 8.05 | 11.65 |
| V | 0.33 | 1.77 | 1.75 | 0.90 | 0.68 | 2.10 | 1.65 |

Результаты химического анализа снежного покрова показали, что снег в различной степени загрязнен исследуемыми металлами (табл. 2). Выявлена тенденция максимального превышения среднего регионального фоновое содержания ($C_{\text{фон}}$) элементов в пробах снега, оцениваемого по значениям геохимического показателя $K_c = C/C_{\text{фон}}$ (коэффициент концентрации химических элементов), в пределах IV элементарного бассейна, что, по-видимому, связано с наличием автомагистралей и большой антропогенной нагрузки на данную территорию. Исключение составляют Ni и Cd в снежном покрове, для которых максимальное значение K_c обнаружено в истоке реки (I бассейн).

Загрязняющие снежный покров тяжелые металлы с талыми водами поступают в почвы и далее могут мигрировать в поверхностные и грунтовые воды. Распределение их между сопредельными средами определяется геохимическими свойствами атомов элементов, формой их нахождения в природной среде, рельефом местности, определяющим перераспределение тепла и влаги, коэффициентом стока талой воды и др. [3, 7].

Массы (M_v) поступающих в р. Стярле с талыми водами металлов сильно различаются (табл. 3). Расчет показывает, что с талыми водами в период снеготаяния в реку и ее притоки поступает 120.4 кг элементов I класса опасности (Zn, Pb, Cd) и 154.2 кг элементов II класса опасности (Cu, Cr, Ni, Co). Причем наибольший вклад в величину массопереноса вносят высоко и умеренно опасные металлы, которые могут быть расположены в ряд по убыванию: $Zn > Cr > Cu > Ni$. Для водных мигрантов в силу их высокой (Cu) и очень высокой (Zn) миграционной способности характерно накопление в водной среде. Что касается двух других металлов (Cr и Ni), для которых отмечена большая масса поступления в р. Стярле, то они относятся к числу малоподвижных элементов (слабые водные мигранты) [8], поэтому в конечном итоге они должны депонироваться в донных отложениях. В работе экспериментально изучено содержание исследуемых металлов в донных отложениях р. Стярле и притоков (табл. 3). И действительно, в донных отложениях в большей степени аккумулируются Ni и Cr: среднее со-

Табл. 3

Среднее содержание ($C_{\text{п}}$, мг/кг) металлов в почвенном покрове (0–0.2 м) элементарных бассейнов р. Стярле и количество ($M_{\text{п}}$, кг) металлов, вносимых в почву в период снеготаяния

| Класс опасности | I | | | II | | | | |
|-----------------|--------|-------|-------|------|------|-------|-------|-------|
| | Металл | Zn | Pb | Cd | Cu | Cr | Ni | Co |
| $M_{\text{в}}$ | | 101.3 | 18.5 | 0.59 | 34.3 | 79.6 | 28.9 | 11.4 |
| $C_{\text{до}}$ | | 42.5 | 16.7 | 0.5 | 22.8 | 170.0 | 80.6 | 16.6 |
| $M_{\text{п}}$ | | 124.1 | 18.94 | 0.97 | 47.7 | 88.5 | 19.03 | 14.87 |
| $C_{\text{п}}$ | | 59.8 | 5.20 | 0.20 | 36.9 | 132.2 | 86.9 | 27.5 |
| B | | 0.24 | 0.06 | 0.02 | 0.07 | 0.01 | 0.01 | 0.02 |

Примечание. $M_{\text{п}}$ и $M_{\text{в}}$ – количество (кг) металлов, вносимых в почву в период снеготаяния; $C_{\text{п}}$ и $C_{\text{до}}$ – среднее содержание (мг/кг) металлов в почве водосбора и донных отложениях р. Стярле и притоков; B – биофильность химических элементов, оцениваемая как коэффициент биологического поглощения [8].

держание ($C_{\text{до}}$, мг/кг) металлов I и II классов опасности в донных отложениях р. Стярле и ее притоков в 1.61 и 1.25 выше, чем в целом в почвах региона, что согласуется с их биогеохимическими свойствами [8].

Представляет интерес сравнительный анализ содержания металлов ($C_{\text{п}}$) в почвенном покрове (табл. 3) на территории элементарных бассейнов и их количества ($M_{\text{п}}$), вносимого в почву в период снеготаяния.

Причиной несовпадения последовательности металлов в рядах по убыванию их содержания в почвенном покрове ($C_{\text{п}}$: Cr, Ni, Zn, Cu, Co, Pb, Cd) и по убыванию количества металлов, вносимых в почву в период снеготаяния ($M_{\text{п}}$: Zn, Cr, Cu, Pb, Co, Ni, Cd), является, по-видимому, перераспределение поступившего металла в почвенном слое.

Аномально высокое содержание Ni в почвенном покрове относительно количества, поступившего со снежными выпадениями, согласуется с данными [9] по Закамью Татарстана в целом и связывается предположительно с «никелевой аномалией» в регионе.

С использованием многопараметрового регрессионного анализа с учетом возможности поглощения металлов растительностью (за исключением Ni с аномально высоким содержанием в почвах региона) получено следующее уравнение трехпараметровой регрессии, представляющее собой балансовое уравнение по распределению количества ($M_{\text{п}}$) металла, внесенного в почву в период снеготаяния, в системе почва-растение:

$$M_{\text{п}} = -7.8 + 378 \cdot B + 0.703 \cdot C_{\text{п}}, r = 0.999.$$

Наличие свободного члена в уравнении связано, вероятно, с проявлением других факторов миграции, в том числе возможно и с миграцией части поступивших в почву металлов по почвенному профилю. Уравнение выявляет существенную роль биологического фактора (второе слагаемое) в процессах миграции тяжелых металлов в системе почва-растение и долю остаточного количества металлов в выщелоченных черноземах, характерных для исследуемой территории.

Преобладание одних и тех же металлов (Cr и Ni) и в составе почв водосбора, и в донных отложениях позволяет предположить, что основным источником загрязнения р. Стярле и ее притоков металлами является поверхностный

сток. Это согласуется с тем, что типичные равнинные реки Татарстана относятся к рекам снегового питания и основная масса годового стока приходится на весеннее половодье (75–80%) [1].

Заключение

Таким образом, в работе дана комплексная оценка степени загрязнения снежного и почвенного покрова водосбора р. Стярле и ее донных отложений тяжелыми металлами. Охарактеризованы факторы, влияющие на перераспределение поступающих со снежными выпадениями металлов в сопредельных природных средах. С использованием многопараметрового регрессионного анализа количественно оценена роль биологического фактора в процессах миграции тяжелых металлов в выщелоченных черноземах, характерных для исследуемой территории. Получено экспериментальное подтверждение «неатмосферного» происхождения так называемой «никелевой аномалии» на территории Закамья Татарстана.

Summary

V.Z. Latypova, D.M. Medvedev, E.R. Ivanova, L.R. Salonatina, D.A. Semanov. Principles of redistribution of heavy metals from snow water of Styarle river basin.

Complex research of Styarle river pollution by heavy metal (snow and soil at its collecting area, its silts) helps to reveal the factors which influence on the redistribution of heavy metals from snow water to other components of the environment. The role of biological factor was estimated. The first experimental confirmation of «nickel anomaly» of nonatmospheric genesis at the south-east Tatarstan was received.

Литература

1. *Батришина С.Ф., Переведенцев Ю.П.* Динамика снежного покрова на территории Татарстана во второй половине XX столетия. – Казань: Казан. гос. ун-т, 2005. – 99 с.
2. *Назаров И.М., Василенко В.Н., Фридман Ш.Д.* Мониторинг загрязнения снежного покрова. – Л.: Гидрометеиздат, 1985. – 127 с.
3. *Гисматуллина С.П., Иванова Е.Р., Латыпова В.З., Будников Г.К.* Особенности анализа снеговых выпадений при геоэкологических исследованиях // Химический анализ веществ и материалов: тез. докл. Всерос. конф. – М., 2000. – С. 165.
4. *Копанев И.Д.* Методы изучения снежного покрова. – Л.: Гидрометеиздат, 1971. – 227 с.
5. ГОСТ 17.4.301-83 Охрана природы. Почвы. Общие требования к отбору проб.
6. ГОСТ 17.1.5.05-85 Охрана природы. Гидросфера. Общие требования к отбору проб поверхностных и морских вод, льда и атмосферных осадков.
7. *Соколовский Д.Л.* Речной сток. – Л.: Гидрометеиздат, 1968. – 102 с.
8. *Перельман А.И.* Геохимия. – М.: Высш. шк., 1989. – 527 с.
9. Зеленая книга Республики Татарстан / Под ред. Н.П. Торсуева. – Казань: Казан. гос. ун-т, 1993. – 162 с.

Поступила в редакцию
15.10.07

Латыпова Венера Зиннатовна – доктор химических наук, профессор, заведующий кафедрой прикладной экологии Казанского государственного университета.

E-mail: *ryvenera@yandex.ru*

Медведев Дмитрий Анатольевич – специалист Татарского геолого-разведочного управления ОАО «Татнефть», г. Казань.

Иванова Елена Раисовна – старший преподаватель Кубанского государственного технологического университета.

Саломатина Любовь Раисовна – директор ООО «НПО «Сетал», г. Казань.

Семанов Дмитрий Александрович – кандидат химических наук, старший научный сотрудник лаборатории экологического контроля Казанского государственного университета.