

**ДИФФУЗНОЕ ЗАГРЯЗНЕНИЕ: ВЫПАДЕНИЯ БИОГЕННЫХ ВЕЩЕСТВ С
АТМОСФЕРНЫМИ ОСАДКАМИ В БАССЕЙНЕ СРЕДНЕЙ И НИЖНЕЙ ВОЛГИ**

Минакова Е.А.

ФГАОУВО «Казанский (Приволжский) федеральный университет», г. Казань, Россия

Шлычков А.П.

Институт проблем экологии и недропользования Академии наук Республики Татарстан,
г. Казань, Россия

Кондратьев С.А.

Институт озероведения РАН, Санкт-Петербург, Россия

e-mail: ekologyhel@mail.ru

Ключевые слова: влажные выпадения, соединения азота и фосфора, биогенные элементы, бассейн Средней и Нижней Волги.

Приведены результаты анализа годовой изменчивости влажных выпадений из атмосферы соединений азота и фосфора в бассейне Средней и Нижней Волги за период 2011–2015 гг. Выявлены основные особенности пространственного распределения биогенной нагрузки влажных атмосферных выпадений соединений азота и фосфора. Показано, что среднее значение модуля атмосферных выпадений соединений азота и фосфора составляет $0,7 \text{ т N км}^{-2} \text{ год}^{-1}$ и $0,027 \text{ т P км}^{-2} \text{ год}^{-1}$, соответственно.

**DIFFUSE POLLUTION: DEPOSITS OF BIOGENOUS SUBSTANCES WITH
ATMOSPHERIC PRECIPITATIONS IN THE BASIN OF THE MIDDLE AND LOWER
VOLGA**

Minakova E.A

Kazan Federal University, Kazan, Russia

Slychkov A.P.

Institute of Ecology and Mineral Sciences of the Republic of Tatarstan, Kazan, Russia

Kondratyev S.A.

Institute of Lake Science RAS, Saint Petersburg, Russia

e-mail: ekologyhel@mail.ru

Keywords: wet deposition, nitrogen and phosphorus compounds, biogenic elements, Middle and Lower Volga basin.

The results of the analysis of the annual variability of total depositions of nitrogen and phosphorus compounds in the Middle and Lower Volga basin over the period 2011-2015 are presented. Calculated Atmospheric deposition of nitrogen and phosphorus compounds have been calculated. The main features of the spatial distribution of the nutrient load of wet atmospheric deposition of nitrogen and phosphorus compounds in the Middle and Lower Volga basin are identified. It was established that the module of deposition of nitrogen and phosphorus compounds amounted to $0.7 \text{ t N km}^{-2} \text{ year}^{-1}$ and $0.027 \text{ t P km}^{-2} \text{ year}^{-1}$.

В настоящее время избыточное поступление биогенных веществ, запускающее процесс эвтрофикации водоемов и водотоков, является серьезной проблемой для большинства стран. Согласно [1] эвтрофирование – повышение биологической продуктивности водных объектов в результате накопления в воде биогенных элементов. Сегодня эвтрофирование водоемов является одной из наиболее актуальных проблем поверхностных вод. Основной движущей силой процессов эвтрофикации водоемов являются биогенные элементы (соединения азота, фосфора, углерода). Эти элементы являются

важнейшими компонентами природных вод, которые определяют биологическую продуктивность. Избыточное количество биогенных элементов запускает процессы интенсивного роста водной растительности, что в конечном итоге негативно сказывается на качестве воды. Основными антропогенными источниками, загрязняющими водоемы биогенными элементами, являются организованные источники (сбросы промышленных и коммунальных предприятий), а также неорганизованные (диффузные) источники (животноводческие фермы, сельскохозяйственные угодья, поверхностный сток с урбанизированных территорий, атмосферные выпадения) [2]. Лишь часть биогенных элементов в составе минеральных удобрений остается в наземном круговороте, другая часть, попадая с поверхностным стоком в поверхностные воды, ускоряет продукцию автотонного органического вещества в водоемах и развитие глобального процесса антропогенного эвтрофирования водоемов, что влечет за собой существенные нарушения в функционировании гидроэкосистем.

Волга – крупнейшая река Европы, занимает пятое место по водности среди рек Российской Федерации. Бассейн р. Волги занимает около 1/3 Европейской территории России и простирается от Валдайской возвышенности на западе и до Урала на востоке. Качество поверхностных вод в бассейне Средней и Нижней Волги формируется под влиянием транзитного переноса загрязняющих веществ с вышележащих субъектов Российской Федерации, а также за счет сбросов недостаточно очищенных сточных вод промышленных и коммунальных предприятий и поверхностного стока с урбанизированной территории, примыкающей к акватории водохранилища [3]. В то же время в водохранилищах наблюдаются существенные колебания уровня воды, обусловленные процессами выравнивания зеркала водохранилищ в период половодья, изменениями режима работы и ветровыми нагонами, при этом часть загрязняющих веществ может поступать из русловой части водохранилища на мелководья. Кроме того, существенный вклад в загрязнение водных объектов вносит геологическая среда и аэротехногенное загрязнение [4, 5]. И это далеко не полный перечень наиболее значимых факторов, которые обуславливают загрязнение водных ресурсов Куйбышевского водохранилища и его притоков.

Важность учета атмосферного переноса в моделях транспорта многих загрязняющих веществ уже давно не подвергается сомнению. Атмосферные осадки могут не только создавать предпосылки для диффузного загрязнения водоемов – в некоторых случаях они сами являются поставщиками загрязняющих веществ на водосборы [6]. Атмосферные осадки обеспечивают так называемые влажные выпадения, т. е. «вымывание» из воздуха взвешенных поллютантов и их осаждение на территории. Причем для большинства загрязняющих веществ на влажные выпадения приходится большая часть суммарного их поступления из атмосферы на поверхность земли. К примеру, при изучении 55 озер севера и центральной части Флориды установлено, что влажное выпадение осадков на акватории составляют 12–59 % всего поступления фосфора, а в Балтийском море – 30 %, который поступает с речным стоком [7]. Сухие и влажные выпадения соединений азота и фосфора из атмосферного воздуха являются одним из факторов, контролирующих эвтрофикацию водоемов и водотоков, что обуславливает необходимость изучения динамики этих процессов. По сути, сухие и влажные выпадения загрязняющих веществ с атмосферными осадками являются одним из механизмов самоочищения атмосферного воздуха. Сухие выпадения загрязняющих веществ из атмосферного воздуха обусловлены влиянием гравитации, а влажные – сорбцией атмосферными осадками загрязняющих веществ с последующим поступлением их на подстилающий покров [4].

Загрязнение атмосферного воздуха обусловлено как природными, так и антропогенными факторами. К природным источникам загрязнения атмосферного воздуха относятся выбросы в атмосферный воздух, обусловленные вулканической активностью, выветриванием горных пород, торфяными и лесными пожарами, а также пыльными бурями и др. Так, только за счет вулканической активности в атмосферный воздух ежегодно поступает примерно 40 млн т вредных опасных для окружающей среды загрязняющих

веществ. К антропогенным источникам загрязнения атмосферного воздуха относятся выбросы в атмосферный воздух объектов экономики, мобильных источников, а также полигонов твердых бытовых и промышленных отходов и свалок и др. Основными источниками поступления фосфора в атмосферный воздух являются эоловая эрозия почвенного покрова, торфяные и лесные пожары. Другие источники дают не более 1 % общего поступления фосфора [8]. Существенную роль могут играть продукты метаболизма наземной растительности (споры, пыльца, мелкие растительные остатки), что качественно подтверждается данными [9], но пока не может быть количественно оценено. Кроме того, так как состав атмосферных осадков определяется преимущественно процессами взаимодействия атмосферной влаги и аэрозолей, концентрация фосфора зависит, главным образом, от запыленности воздуха [10].

В продолжение ранее начатых исследований [11–16] цель данной работы – оценка величины атмосферных выпадений биогенных элементов и их пространственного распределения в бассейне Средней и Нижней Волги (без Волгоградской и Астраханской областей) в современный период.

В качестве исходных данных для оценки атмосферных выпадений соединений азота и фосфора на поверхность водосбора за период 2011–2015 гг. использованы материалы Федеральных государственных учреждений Росгидромета (ФГБУ Росгидромета), расположенных в бассейне Средней и Нижней Волги.

Поступление массы соединений азота на подстилающую поверхность зависит как от концентрации, так и от количества атмосферных осадков. Влажные выпадения соединений азота рассчитывались согласно [17]. Ввиду того, что Программой мониторинга Росгидромета не предусмотрено проведение регулярных наблюдений за содержанием фосфат-ионов в атмосферных осадках [18], оценка поступления удельной массы соединений фосфора поступающих с влажными выпадениями в бассейне Средней и Нижней Волги выполнена с использованием зависимости между соединениями азота и фосфора, приведенной в [19].

Рассчитаны средние значения влажных выпадений соединений азота и фосфора за 2011–2015 гг. в бассейне Средней и Нижней Волги, построены карты пространственного распределения средних значений влажных выпадений соединений азота и фосфора за период 2011–2015 гг. в бассейне Средней и Нижней Волги [4].

Рассчитанные величины модуля атмосферных выпадений биогенных элементов на территории ряда регионов Российской Федерации в бассейне Нижней и Средней Волги по результатам собственных расчетов и материалов, приведенных в [20] даны в табл. 1.

Табл. 1. Величина модуля атмосферных выпадений биогенных элементов на территории некоторых регионов Российской Федерации

Субъект Российской Федерации	Модули атмосферных выпадений биогенных элементов, т км ⁻² год ⁻¹	
	Соединения фосфора	Соединения азота
Ленинградская область [17]	0,014	0,66
Московская область [17]	0,038	0,95
Нижегородская область	0,015	0,47
Кировская область	0,038	0,91
Республика Марий Эл	0,044	0,99
Республика Татарстан	0,025	0,67
Республика Мордовия	0,034	0,83
Пензенская область	0,036	0,87
Республика Башкортостан	0,032	0,80
Саратовская область	0,017	0,53
Самарская область	0,018	0,54
Оренбургская область	0,012	0,37

Анализ табл. 1 показывает, что наблюдается хорошая сходимость величин модуля атмосферных выпадений соединений азота и фосфора на исследуемой территории с полученными ранее результатами других авторов.

Максимальная величина модулей атмосферных выпадений биогенных элементов отмечена в Республике Мари Эл (соединения азота $0,99 \text{ т N км}^{-2} \text{ год}^{-1}$ и соединения фосфора $0,044 \text{ т P км}^{-2} \text{ год}^{-1}$). Минимальное значение зарегистрировано в Оренбургской области (соединения азота $0,37 \text{ т N км}^{-2} \text{ год}^{-1}$ и соединения фосфора $0,012 \text{ т P км}^{-2} \text{ год}^{-1}$).

Среднее значение модуля влажных выпадений соединений азота и фосфора в бассейне Средней и Нижней Волги за период наблюдений составляло $0,7 \text{ т N км}^{-2} \text{ год}^{-1}$ и $0,027 \text{ т P км}^{-2} \text{ год}^{-1}$, соответственно.

ВЫВОДЫ

1. Выявлены основные особенности пространственного распределения биогенной нагрузки влажных атмосферных выпадений соединений азота и фосфора в бассейне Средней и Нижней Волги. Установлено, что на исследуемой территории можно выделить три области повышенных значений, зарегистрированные метеостанциями «Тетюши» ФГБУ «УГМС Республики Татарстан», «Морки» ФГБУ «Верхне-Волжское УГМС» и «Уфа» ФГБУ «Башкирское УГМС», обусловленные переносом веществ от крупных промышленных центров.

2. Экстремумы по соединениям азота и фосфора составили: минимальные значения $0,4 \text{ т N км}^{-2} \text{ год}^{-1}$ и $0,01 \text{ т P км}^{-2} \text{ год}^{-1}$ (метеостанция Оренбург ФГБУ «Приволжское УГМС») и максимальные значения $1,1 \text{ т N км}^{-2} \text{ год}^{-1}$ и $0,05 \text{ т P км}^{-2} \text{ год}^{-1}$ (метеостанция «Тетюши» ФГБУ «УГМС Республики Татарстан»).

3. В бассейне Средней и Нижней Волги за период наблюдений 2011–2015 гг. модули выпадений соединений азота и фосфора составили $0,7 \text{ т N км}^{-2} \text{ год}^{-1}$ и $0,027 \text{ т P км}^{-2} \text{ год}^{-1}$.

4. Учитывая выявленную тенденцию роста значений выпадений соединений фосфора, а также его определяющую роль в эвтрофикации водоемов и водотоков, целесообразно организовать проведение систематических наблюдений за содержанием соединений фосфора в атмосферных осадках в системе Росгидромета на территории Российской Федерации.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. ГОСТ 17.1.1.01-77 Охрана природы. Гидросфера. Использование и охрана вод. Основные термины и определения. М.: Стандартинформ, 2000. 31 с.

2. Минакова Е.А. Экологическое нормирование антропогенных нагрузок на водные экосистемы / Е.А. Минакова, В.З. Латыпова, Н.Ю. Степанова // Безопасность жизнедеятельности. № 4 (16). Казань, 2004 г. С. 3–10.

3. Вопросы экологического нормирования и разработка системы оценки состояния водоемов / Материалы Объединенного Пленума Научного совета ОБН РАН по гидробиологии и ихтиологии, Гидробиологического общества при РАН и Межведомственной ихтиологической комиссии. Москва, 30 марта 2011 г. / Ответственные редакторы: академик РАН Д.С. Павлов, член-корреспондент РАН Г.С. Розенберг, д.б.н. М.И. Шатуновский. М.: Товарищество научных изданий КМК, 2011. 196 с.

4. Минакова Е.А. Выпадения биогенных веществ с атмосферными осадками в бассейне Средней и Нижней Волги / Е.А. Минакова, А.П. Шлычков. Проблемы региональной экологии. 2018. № 6. С. 92–97.

5. Минакова Е.А. Оценка величины выпадений биогенных веществ из атмосферы на частный водосбор Куйбышевского водохранилища в пределах Республики Татарстан / Минакова Е. А., Шлычков А. П., Поздняков Ш. Р., Кондратьев С. А. // Проблемы региональной экологии. 2019. № 1. С. 34–38.

6. Computer analysis of the balance of point and diffuse source loading of heavy metals in the Rhine River basin: Phase I: Interim Report / Jolankai G. VITUKI Research Report (within contract with IIASA Laxenburg Austria). 1990.
7. Розенберг Г.С. Экологический мониторинг. Часть VIII. Современные проблемы мониторинга пресноводных экосистем: Учебное пособие / Г.С. Розенберг, Д.Б. Гелашвили, Г.В. Шляхтин и др.; под ред. проф. Д.Б. Гелашвили, проф. Г.В. Шургановой. Нижний Новгород: Изд-во Нижегородского государственного университета, 2014. 374 с.
8. Savenko V.S. Atmospheric aerosols as a source of phosphorus in aquatic ecosystems *Vodnye resursy*. 1995. P. 187–196.
9. Cole J.J. A significance source of phosphorus to an oligotrophic lake / J.J. Cole, N.F. Caraco, G.E. Likens // *Limnol. and Oceanogr.* 1990. P. 1230–1237.
10. Graham W.F., Duce R.A. The atmospheric transport of phosphorus to the western North Atlantic // *Atmosph. Environ.* 1982. P. 1089–1097.
11. Минакова Е.А. Экологическое нормирование антропогенных нагрузок на водные экосистемы / Е.А. Минакова, В.З. Латыпова, Н.Ю. Степанова // *Безопасность жизнедеятельности*, № 4 (16), Казань, 2004 г. С. 3–10.
12. Минакова Е.А. Формирование качества поверхностных вод малых рек в различных физико-географических районах Республики Татарстан / А.П. Шлычков, В.З. Латыпова, Е.А. Минакова, Р.Н. Давыдов, А.Р. Ильясова // *Проблемы региональной экологии*. № 5. 2012. С. 7–13.
13. Минакова Е.А. Учет метеорологических факторов в управлении качеством поверхностных вод (на примере рек Казанка, Свяга, Степной Зай): дисс.... канд. геогр. наук. СПб, 2004 (а). 147 с.
14. Минакова Е.А. Развитие биогеохимических подходов к экологическому нормированию химической нагрузки на природные среды / В.З. Латыпова, С.Ю. Селивановская, Н.Ю. Степанова, Е.А. Минакова // *Учен. записки Казанского государственного университета*, том 147. Кн. 1. 2005. С. 159–170.
15. Минакова Е.А. Подходы к устойчивому управлению качеством поверхностных вод / А.П. Шлычков, В.З. Латыпова, Е.А. Минакова // *Проблемы региональной экологии*. 2009. № 4. С. 102–107.
16. Минакова Е.А. Поверхностный сток биогенных элементов с аграрно освоенных водосборов: роль метеорологических факторов / А.П. Шлычков, В.З. Латыпова, Е.А. Минакова, А.Р. Ильясова // *Проблемы региональной экологии*. № 4. 2012. С. 55–61.
17. Свистов П.Ф. Фоновый уровень ионного состава атмосферных осадков / П.Ф. Свистов, Н.А. Першина, А.И. Полищук // *Обзор загрязнения природной среды в Российской Федерации за 2006 гг.* М.: Росгидромет, 2007. С. 41–43.
18. Свистов П.Ф. Ежегодные данные по химическому составу и кислотности атмосферных осадков за 2011-2015 гг. (Обзор данных) // П.Ф. Свистов, Н.А. Першина, А.И. Полищук. СПбГТЭУ, 2016. 115 с.
19. Савенко В.С. Геохимия фосфора в глобальном гидрологическом цикле // В.С. Савенко, А.В. Савенко. М.: ГЕОС, 2007. 248 с.
20. Хрисанов Н.И. Управление эвтрофированием водоемов // Н.И. Хрисанов, Г.К. Осипов. СПб.: Гидрометеиздат, 1993. 278 с.