

УДК 504.4.054 (470.3)

**АЭС-ИСП-АНАЛИЗ СОДЕРЖАНИЯ ЭЛЕМЕНТОВ  
В ВОДАХ БАССЕЙНА ВЕРХНЕЙ ВОЛГИ  
В ПРЕДЕЛАХ ТРЕХ СУБЪЕКТОВ РФ  
(ТВЕРСКАЯ, МОСКОВСКАЯ И ЯРОСЛАВСКАЯ ОБЛАСТИ)**

**А.Ф. Мейсурова, А.В. Лопина**

Тверской государственный университет, Тверь

С помощью АЭС–ИСП–анализа в пробах воды из Верхней Волги в пределах трех субъектов РФ выявлено 22 металла (Al, As, B, Ba, Be, Bi, Cu, Cr, Fe, K, Li, Mg, Mo, Mn, Na, Pb, Sb, Se, Sn, Sr, Ti, V), которые представляют четыре класса опасности. Содержание семи элементов (Al, As, Be, Cu, Fe, Pb, Se) выше значений ПДК. Превышение значений ПДК по мышьяку, железу и меди является повсеместным в водах Верхней Волги. Локально, было зарегистрировано крайне высокое загрязнение воды по свинцу (10,9 ПДК), алюминию (7,9ПДК) и меди (4 ПДК), связанное с антропогенным воздействием. Среди изученных регионов, вода в пределах Тверской области характеризуются самым высоким уровнем загрязнения. Здесь встречается наибольшее число металлов с максимальными значениями концентраций, включая металлы с концентрациями выше ПДК (As, Al, Be, Fe).

**Ключевые слова:** метод АЭС-ИСП, металлы, загрязнение, река Волга, Верхняя Волга, Московская область, Ярославская область, Тверская область, города Тверь, Конаково, Дубна, Кимры, Калязин, Мышкин, Углич, Рыбинск.

DOI: 10.26456/vtbio41

**Введение.** Река Волга является крупнейшей водной артерией России и Европы. Гидрографическая длина реки составляет 3 694 км, площадь бассейна – 1 459 000 км<sup>2</sup> (Кривошей, 2015). Как правило, в его составе выделяют три части: верхняя Волга от истока до устья р. Оки, средняя Волга – от впадения р. Оки до устья р. Камы и нижняя Волга – от впадения р. Камы до впадения в Каспийское море (Великая русская ..., 2018). На своем протяжении р. Волга пересекает территории многих высокоиндустриальных субъектов РФ, играя большую роль в их экономике и хозяйственной деятельности. На реке расположены многочисленные города, в том числе четыре города-миллионера (Нижний Новгород, Казань, Самара, Волгоград). В пределах Волжского бассейна сосредоточены крупные промышленные предприятия страны на берегах, что определяет неудовлетворительное качество воды. В Волге отмечается повышенное содержание нефтепродуктов,

органических и биогенных веществ, пестицидов, а также тяжёлых металлов (Рылина и др., 2013; Мейсурова, 2015; Тырков и др., 2018). Более детально изучено качество вод и донных отложений тяжёлыми металлами в Нижней Волге (Бреховских и др., 2010; Курьякова, 2011; Тырков и др., 2018). Немногочисленные исследования общего состояния реки в целом и её водохранилищ показывают значительную трансформацию химического состава воды от её истока к устью (Томилина и др., 2018).

Особенно актуальна оценка современного экологического состояния Верхней Волги. Этот участок связан с Каспийско-Балтийским водоразделом, который представляет крупнейший гидрологический узел Европы. Он занимает также особое место среди уникальных природных комплексов России (Нотов и др., 2016). По результатам совместного проекта ЮНЕСКО и МСОП, посвящённого бореальным лесам, в перечень наиболее перспективных территорий для присвоения статуса объекта Всемирного наследия включён участок «Валдай – Великий водораздел» (Буторин, 2016). Верхневолжье располагается на стыке крупных физико-географических и флористических границ и является ключевым объектом комплексного бимониторинга (Нотов, 2012; Нотов и др., 2017). Анализ экологического состояния этой территории имеет особое значение для разработки стратегических программ, направленных на сохранение природного наследия Российской Федерации.

В данной работе изложены результаты оценки содержания металлов в водах р. Волги, проведённой в ходе экспедиции, которая была организована в июне 2018 г. в рамках медийного исследовательского проекта «Великие реки России» (Великие реки России, 2018). Материалы собраны в Верхней Волге на участке от г. Тверь (Тверская область) до г. Рыбинск (Ярославская область).

Цель работы – оценка содержания металлов в Верхней Волге в пределах трех субъектов РФ (Тверская, Московская и Ярославская области). Задачи: а) анализ промышленной инфраструктуры городов и населенных пунктов для определения сети ПН для отбора проб воды; б) отбор проб воды и их анализ на содержание металлов с помощью атомно-эмиссионного с индуктивно связанной плазмой анализа (АЭС–ИСП–анализ); в) сравнительный анализ содержания металлов в реке Волга в пределах трех субъектов РФ.

**Методика.** Пробы воды отбирали в июне 2018 г. в Верхней Волге на участке от городов Твери (Тверская область) до Рыбинска (Ярославской области), включая три водохранилища – Ивановское, Угличское, Рыбинское. Всего было отобрано свыше 30 проб воды. Общее число пунктов наблюдений (ПН) на реке составило 11: в г. Твери – 3 ПН, г. Конаково (Ивановское водохранилище) – 1, г. Дубна

– 1, г. Кимрах – 1, Угличском водохранилище – 1, г. Калязине – 1, г. Углич – 1, г. Мышкин – 1, г. Рыбинск (Рыбинское водохранилище) – 1. В общей сложности сеть пунктов наблюдений охватила территорию 3-х регионов РФ – Тверскую, Московскую и Ярославскую области (рис. 1; табл. 1). При выборе ПН руководствовались данными о хозяйственной инфраструктуре городов, об основных источниках загрязнения в них, а также сведениях маршрутного листа судна (Мейсурова, 2015; Мейсурова и др., 2016).

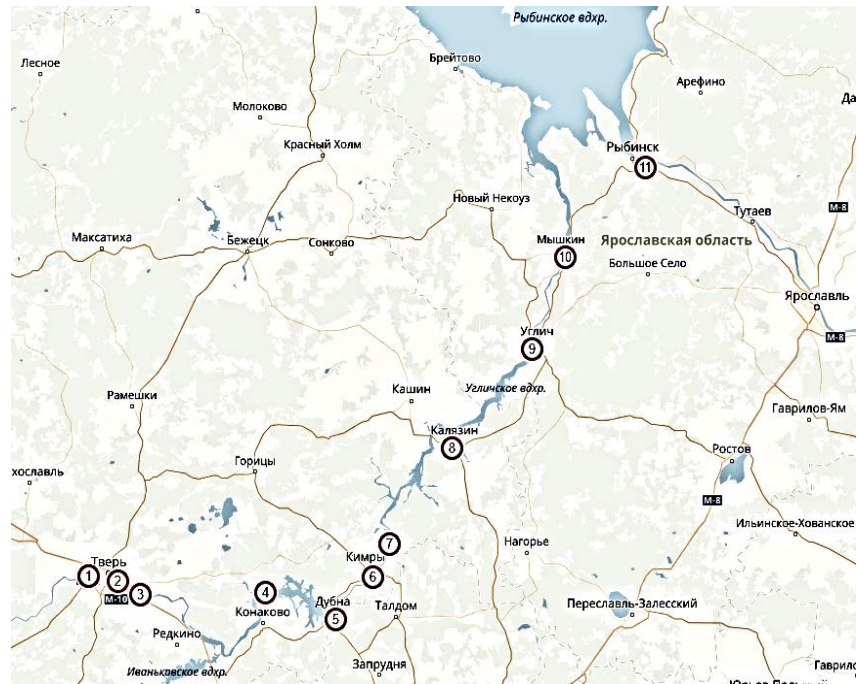


Рис. 1. Схема расположения ПН (1–11) на Верхней Волге в пределах трех субъектов: Тверская – ПН 1–4, 6, 7, 8; Московская – ПН 5; Ярославская области – ПН 9–11

Пробы воды в ПН (1–11) отбирали в соответствии с ГОСТом 17.1.5.05-85. Охрана природы. Гидросфера. Общие требования к отбору проб поверхностных и морских вод, льда и атмосферных осадков (2001), ГОСТом 31861-2012. Вода. Общие требования к отбору проб (2013). Металлы определяли с помощью атомно-эмиссионного спектрометра с индуктивно-связанной плазмой iCAP 6300 Duo (ThermoScientific, USA) в ЦКП ФГБОУ ВО «Тверской государственной университет» согласно ПНДФ 14.1:2:4.139-98. Полученные значения концентраций металлов в пробах из реки (ПН 1–11) сравнили со значениями ПДК для хозяйственно-питьевого и культурно-бытового водопользования (Гигиенические нормативы ..., 2003, 2007).

Таблица 1

Характеристика ПН (1–11) на р. Волга изученных субъектов РФ

ПН	Субъект РФ	Координаты	Расположение	Потенциальные источники загрязнения
1	Тверская обл., г. Тверь	56.848918, 35.800027	ул. Мигаловская набережная, д. 12	производственные стоки: <i>строительная отрасль – ООО «ГЖБИ-3», ООО «ЖБИ СК»; машиностроительная – ЗАО «Завод Тверьмаш»;</i> ливневые стоки с автодорог.
2	Тверская обл., г. Тверь	56.857574, 35.959263	ул. Маяковского (напротив п. Новая Константиновка. 1)	производственные стоки: <i>машиностроительная отрасль – АО «СтанкоМашКомплекс»; строительная – ОАО «Тверской завод ячеистого бетона», ООО «КСМ.№2»;</i> бытовые стоки; ливневые стоки с автодорог.
3	Тверская обл., г. Тверь	56.792711, 36.092589	д. Горохово, д. 47	производственные стоки: <i>машиностроительная отрасль – ООО «69 Судостроительный Завод»; химическая – ФГУП «ВНИИСВ»; ООО «Искож-Тверь», ОАО «Сибур-ПЭФ», ОАО «Тверской Полэфир»;</i> сельскохозяйственные стоки; бытовые стоки.
4	Тверская обл., г. Конаково	56.798592, 36.798245	1 км от д. Городище вниз по течению	производственные стоки: <i>машиностроительная отрасль – ООО «КЗМИ», ООО «Конаковский завод механизированного инструмента»; АО «Завод Микроприбор»; энергетическая – ОАО «Энергостальконструкция»; строительная – ЖБИ «Конаковский завод железобетонных изделий»; химическая отрасль – ООО «Завод Спецхимпродукт»; стекольная – ОАО «Конаковский фаянсовый завод»; пищевая – ФГУП ВНИИПРХ «Конаковский Завод Товарного Осетроводства»; сельскохозяйственные стоки.</i>
5	Московская обл., г. Дубна	56.761106, 37.192894	ул. Набережная	производственные стоки: <i>машиностроительная отрасль – НПО «Атом», АО «Приборный завод ТЕНЗОР», ООО «Техноникс», ООО «Русскспл»</i> ливневые стоки с автодорог.

Окончание табл. 1

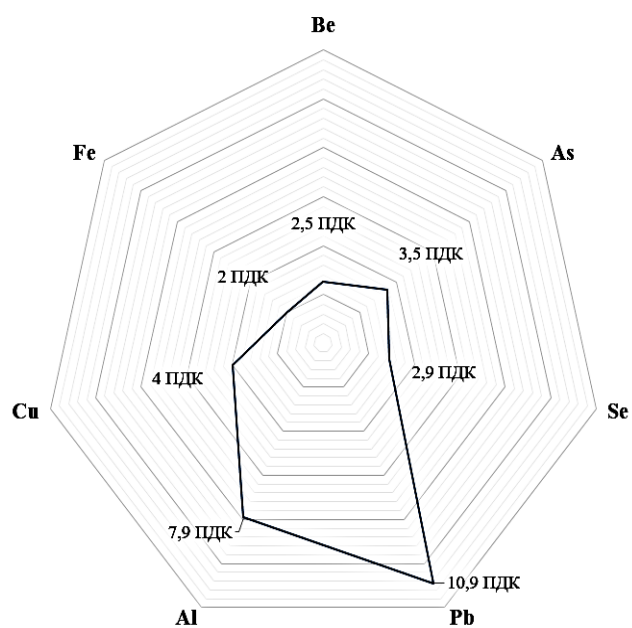
ПН	Субъект РФ	Координаты	Расположение	Потенциальные источники загрязнения
6	Тверская обл., г. Кимры	56.880555, 37.373562	Спецпричал	производственные стоки: <i>машиностроительная отрасль</i> – ОАО «Кимрский станкостроительный завод», ООО «Кимрский машиностроительный завод», ООО «Савеловский машиностроительный завод»; <i>деревообрабатывающая</i> – ООО «СЗДО»; <i>сельскохозяйственные стоки</i> ; <i>бытовые стоки</i> ;
7	Тверская обл., Угличское водохранилище	56.880716, 37.439596	2 км от д. Абрамово, вниз по течению	производственные стоки: <i>строительная отрасль</i> – ООО ЗМК «Квант».
8	Тверская обл., г. Калязин	57.242764, 37.859258	158 м от Колоколыни Никольского собора	производственные стоки: <i>машиностроительная отрасль</i> – ООО «Механический завод Калязинский»; <i>бытовые стоки</i> ;
9	Ярославская обл., г. Углич	57.541703, 38.319762	Красноармейский б-р, спасательная станция (база МЧС)	производственные стоки: <i>машиностроительная отрасль</i> – ООО «Угличский завод точного машиностроения», ООО «Ламифил», ООО «Угличкабель», ФГУП «Экспериментальный машиностроительный завод», ООО «Мера-ГСП», ООО «Завод строительного оборудования», <i>химическая</i> – ООО «Угличский завод полимеров»
10	Ярославская обл., г. Мышкин	57.793755, 38.494845	530 м от ул. Лесная, 2	<i>бытовые стоки</i> ; <i>ливневые стоки с автодорог</i> . сельскохозяйственные стоки; <i>бытовые стоки</i> ; <i>ливневые стоки с автодорог</i> .
11	Ярославская обл., г. Рыбинск	58.044873, 38.897431	ул. Социалистическая, 31.	производственные стоки: <i>машиностроительная отрасль</i> – ООО «Завод дорожных машин»; ОАО «Волжский абразивный завод»; ОАО «Судостроительный завод „Вымпел“»; <i>металлургическая</i> – ООО «Рыбинский Сталелитейный Завод»; <i>бытовые стоки</i> ;

Математико-статистическая обработка результатов анализа включала вычисление статистических параметров содержания металлов в пробах воды (среднее арифметическое, среднеквадратичное отклонение, доверительный интервал, коэффициент вариации CV, стандартная ошибка).

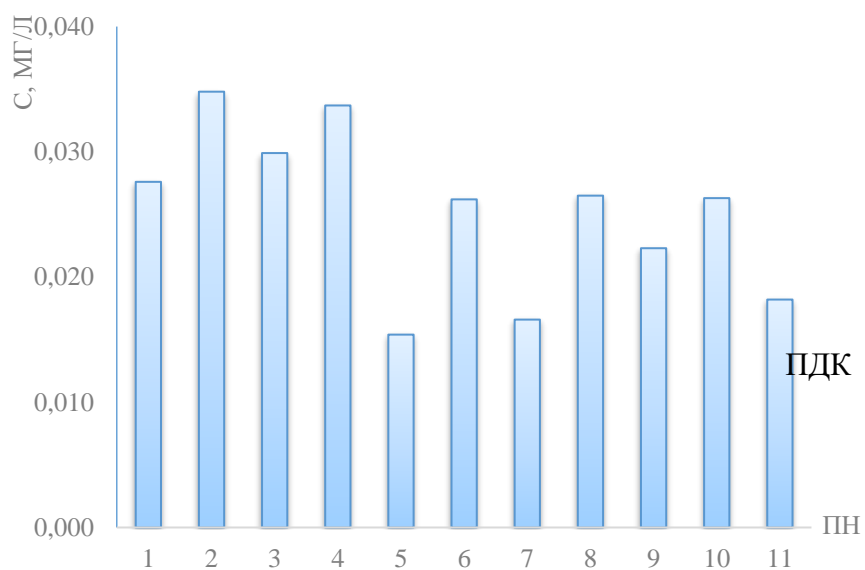
**Результаты и обсуждение.** С помощью АЭС–ИСП–анализа в пробах воды из Верхней Волги (ПН 1–11) обнаружили 22 металла (Al, As, B, Ba, Be, Bi, Cu, Cr, Fe, K, Li, Mg, Mo, Mn, Na, Pb, Sb, Se, Sn, Sr, Ti, V): в пределах Тверской области – 21 металл (за исключением Pb), Московской – 17 (за исключением Be, Pb, Bi, Mo, Sn), Ярославской – 19 (за исключением, Be, Cr). Общими для проб воды из трех субъектов являются 16 металлов (Al, As, B, Ba, Cu, Fe, K, Li, Na, Mg, Mn, Sb, Se, Sr, Ti, V). Ни одна проба воды не содержала такие металлы, как кадмий, никель, вольфрам и кобальт. С учетом экологической опасности обнаруженные металлы представляют четыре класса (Гигиенические нормативы ..., 2003; 2007). Первый класс опасности включает чрезвычайно опасные металлы (As, Be); второй – высоко опасные (B, Bi, Ba, Cr, K, Li, Mo, Na, Pb, Sb, Sr, Se); третий – умеренно опасные (Al, Cu, Fe, Mg, Mn, Ti, V); четвертый – малоопасные (Sn).

Количественный анализ проб воды (ПН 1–11) показал разный уровень содержания металлов в Верхней Волге в пределах изученных субъектов (табл. 2). Содержание большинства выявленных металлов в пробах воды не превысило нормативных значений. Однако по семи металлам имелось превышение значений ПДК. Среди них, элементы первого (As, Be), второго (Pb, Se) и третьего классов опасностей (Al, Cu, Fe).

**Металлы первого класса опасности.** В пробах воды Верхней Волги было выявлено два чрезвычайно опасных металлов – мышьяк и бериллий. На всем протяжении Верхней Волги (ПН 1–11) содержание мышьяка оказалось повсеместно выше нормы. Средний уровень его содержания в реке 0,03 мг/л, что превышает значение ПДК в 3,0 раза (ПДК по мышьяку составляет 0,01 мг/л). Уровень загрязнения воды мышьяком в пределах городов Твери (ПН–2) и Конаково (ПН 4) Тверской области выше, чем в других исследованных местах. Здесь зарегистрировали максимальные концентрации мышьяка в воде – 3,5 ПДК и 3,4 ПДК (рис. 2). Минимальные концентрации мышьяка обнаружили в пробах воды из г. Дубна (ПН–5) Московской области (рис. 3).



Р и с . 2. Значения концентраций мышьяка в пробах воды из Верхней Волги, мг/л



Р и с . 3. Величины соотношений максимальных концентраций металлов к значениям их ПДК в Верхней Волге

Таблица 2  
Значения концентраций металлов в пробах воды Верхней Волги изученных субъектов РФ (ПН 1–11), мг/кг

Me	ПН											С max, мг/кг	С min, мг/кг	ПДК	Класс опасности		
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11						
Me	0,0005	0,0003	0,0004	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	0,0004	0,0003	0,0002	1
Be	0,028	0,035	0,030	0,034	0,015	0,026	0,017	0,027	0,022	0,026	0,018	0,035	0,015	0,025	0,035	0,01	1
As	–	–	–	–	0,001	–	0,002	0,001	0,002	–	–	0,001	0,002	0,001	0,002	0,005	2
Sb	–	–	–	0,029	0,015	–	0,015	–	0,019	–	–	0,019	0,029	0,015	0,015	0,01	2
Pb	–	–	–	–	–	–	–	–	0,109	–	–	0,109	0,109	0,109	0,109	0,01	2
Li	0,005	0,004	0,005	0,010	0,010	0,007	0,008	0,009	0,009	0,009	0,009	0,008	0,010	0,008	0,010	0,03	3
K	1,449	1,282	2,585	1,257	1,497	1,826	1,842	1,307	2,150	1,813	1,339	1,668	2,585	1,257	1,257	30	2
Na	5,022	4,059	6,321	2,979	2,828	3,330	3,283	2,712	5,283	3,264	3,467	3,868	6,321	2,712	2,712	200	2
B	0,021	0,012	0,016	0,015	0,017	0,017	0,016	0,016	0,020	0,015	0,014	0,016	0,021	0,012	0,012	0,5	2
Cr	0,002	–	–	0,003	0,002	0,003	–	–	–	–	–	0,002	0,003	0,002	0,002	0,07	2
Bi	0,000	–	–	0,001	–	0,001	–	–	–	0,001	–	0,001	0,001	0,000	0,000	0,1	2
Ba	0,037	0,037	0,038	0,039	0,035	0,035	0,037	0,042	0,037	0,050	–	0,038	0,050	0,033	0,033	0,7	2
Sr	0,153	0,118	0,132	0,090	0,071	0,088	0,085	0,081	0,106	0,081	–	0,101	0,153	0,071	0,071	7	2
Mo	0,001	0,001	0,000	0,001	–	0,001	–	0,001	–	0,001	0,001	0,001	0,001	0,000	0,000	0,25	2
V	0,020	0,017	0,015	0,013	0,010	0,011	0,013	0,015	–	0,013	0,014	0,014	0,020	0,010	0,010	0,1	3
Ti	0,011	0,007	0,012	–	0,003	0,003	0,004	–	–	0,002	0,001	0,005	0,012	0,001	0,001	0,1	3
Al	0,082	0,038	1,580	–	0,168	0,042	0,020	–	–	–	0,003	0,276	1,580	0,003	0,003	0,2	
Mn	0,059	0,027	0,042	0,024	0,020	0,022	0,024	0,008	0,015	0,007	0,010	0,023	0,059	0,007	0,007	0,1	3
Cu	–	–	–	0,002	0,003	–	–	0,002	0,004	0,004	0,001	0,002	0,004	0,001	0,001	0,001	3
Mg	8,997	9,523	8,682	7,538	6,898	8,016	8,961	10,180	6,588	5,956	9,782	8,284	10,180	5,956	5,956	50	3
Fe	0,108	0,149	0,195	0,078	0,111	0,118	0,103	0,053	0,070	0,064	0,119	0,106	0,195	0,053	0,053	0,1	3
Sn	–	0,075	–	–	–	0,020	0,047	–	–	–	–	0,047	0,075	0,020	0,020	2	4

Примечание: «–» – металл не выявлен в пробах



Повышенное содержание мышьяка в воде характерно для многих природных вод и может быть связано как с природными факторами, так и с антропогенным влиянием (Путилина, 2011; Мельник и др., 2012). Известно, что мышьяк поступает в природные воды из почв, а также в результате разложения растительных и животных организмов. Во влажном климате Верхневолжья мышьяк может легко вымываться из грунта и относиться грунтовыми водами, а потом реками. Антропогенными источниками мышьяка являются в основном сточные воды и отходы производств красителей, кожевенных заводов, предприятий по производству стекла и керамики, деревообрабатывающей отрасли (использующие соединения мышьяка для консервации дерева), а также сельскохозяйственные угодья, на которых применяются пестициды. Предприятия упомянутых отраслей промышленности хорошо развиты во всех изученных регионах, в том числе городах Твери и Конаково, где отмечены самые высокие концентрации этого металла в воде (рис. 3; табл. 1). Другой металл этого класса – бериллий, в пробах воды нашли исключительно в пределах г. Твери Тверской области. Его среднее содержание в изученных пробах составило 0,0004 мг/кг, что превысило ПДК в 2 раза (ПДК по бериллию составляет 0,0002 мг/л) (табл. 2). В связи с тем, что оксиды и гидроксиды бериллия практически нерастворимы в воде и встречаются в виде взвесей, содержание бериллия в природных водах в отличие от мышьяка обычно не велико, нередко носит следовой характер. Вероятным источником антропогенного поступления бериллия в воду может быть сжигание топлива, производственные стоки предприятий по изготовлению листовой и проволочной меди, а также непосредственно сварочные работы в которых используется очищающий флюс, одним из компонентов которого является фторид бериллия (Матясова и др., 2013). Отметим, что в пределах г. Твери имеются несколько крупных предприятий машиностроительного комплекса, производственные стоки которых могут быть потенциальными источниками этого чрезвычайно опасного металла (табл. 2).

**Металлы второго класса опасности.** Группа высоко опасных металлов, обнаруженных в пробах является самой многочисленной (В, Вi, Ва, Сr, К, Li, Мо, Na, Pb, Sb, Sr, Se). Среди 12 обнаруженных металлов второго класса опасности в пробах воды Верхней Волги, содержание двух элементов оказалось выше значений ПДК – селена и свинца (табл. 2). Наибольшее число проб с концентрациями выше нормы были обнаружены по селену.

Селен был отмечен в четырех пробах воды Верхней Волги в пределах трех изученных субъектов (ПН 4–5, 7, 9). Среднее содержание селена в воде 0,019 мг/л, что превысило значение ПДК в 1,9 раза (ПДК

по селену составляет 0,01 мг/л). Высокий уровень содержания селена в воде выявили в пределах двух городов Тверской и Ярославских областей – Конаково (ПН 4) и Углич (ПН 9). В пробах этих городов были зарегистрированы максимальные концентрации селена – 0,029 мг/л (2,9 ПДК) и 0,020 мг/л (2ПДК) соответственно (рис. 2). Содержание селена в пробах г. Дубна Московской области (ПН 5) и Углического водохранилища в Тверской области составило 1,5 ПДК.

Особенностью селена является то, что с одной стороны, он незаменим для человека при его малых содержаниях, поскольку входит в состав ферментов, с другой, при длительном воздействии высоких концентраций вызывает серьезный токсический эффект (Беслинчей, Малкина, 2009; Пудовкин, Смутнев, 2014). Обычно селен содержится в подземных водах, которые питают поверхностные источники. В природных водах концентрация селена относительно мала. Однако селен вместе со сточными водами могут сбрасывать промышленные предприятия. Селен активно используют в стекольной и керамической промышленности для обесцвечивания стекла, а также в резиновой промышленности. Селен обладает свойствами полупроводника, поэтому получил свое широкое применение также при изготовлении фотоэлементов оптических и сигнальных приборов. Локальное обнаружение селена в пробах воды отдельных пунктов указывает на его антропогенное происхождение. Например, в г. Конаково, где отмечено наибольшее содержание селена в воде, функционировало старейшее предприятие стекольной промышленности (ОАО «Конаковский фаянсовый завод»). Вероятно, деятельность предприятия в прошлом до сих пор определяет высокие концентрации селена и в настоящее время. Многие исследователи отмечают, что селен активно накапливается биотой в водных экосистемах (макрофитами, донными отложениями) (Пудовкин, Смутнев, 2014). Антропогенным источником селена в водах городов Дубна и Углич служат производственные стоки предприятий машиностроения и приборостроения (табл. 1).

Высоко опасный свинец был выявлен в единственной пробе г. Углич (ПН 9). Содержание свинца в пробе оказалось выше значений ПДК в 11 раз и составило 0,109 мг/л (ПДК по свинцу составляет 0,01 мг/л). Локальное обнаружение металла в таких высоких концентрациях указывает на его антропогенное происхождение. В г. Углич имеется много потенциальных промышленных объектов, сточные воды которых могут быть источниками загрязнения воды свинцом (табл. 1). Близкое расположение предприятия не позволяет выделить среди них одних, однако отметим, что ближайшим предприятием, расположенным в 1 км от места отбора пробы воды, был ООО «Завод строительного оборудования».

**Металлы третьего класса опасности.** Из семи умеренно опасных металлов (Al, Cu, Fe, Mg, Mn, Ti, V), концентрации трех металлов выше значений ПДК (Al, Cu, Fe). Наибольшее число проб с концентрациями выше нормы выявили по меди и железу.

Железо обнаружили во всех пробах из Верхней Волги. Уровень его содержания не значительно выше значения ПДК. Средняя концентрация железа в пробах составила 0,11 мг/л (ПДК по железу составляет 0,1 мг/л). Максимальная концентрация железа в пробах из г. Твери (ПН 3) – 2 ПДК (0,20 мг/л) (рис. 2). Высокие концентрации железа в воде определяют сточные воды предприятий металлургической, металлообрабатывающей, текстильной, лакокрасочной промышленности, которые имеются в г. Твери. Низкий уровень содержания железа выявили в пробах из г. Калязин Тверской области (ПН 8) – 0,5 ПДК (0,05 мг/л).

В отличие от железа, медь была встречена только в шести изученных пробах Верхней Волги (ПН 4–5, 8–11), где ее концентрация выше нормы. Средний уровень содержания меди составил 0,003 мг/л, что выше значения ПДК в три раза (ПДК по меди составляет 0,001 мг/л). Максимальные значения концентраций меди зарегистрировали в пробах из Ярославской области – городах Углич (ПН 9) и Рыбинск (ПН 10), где содержание меди в пробах выше нормы – 4 ПДК (рис. 2). Основными источниками антропогенного поступления меди в природные воды могут являться предприятия металлообработки, цветной металлургии (промышленные выбросы, отходы, сточные воды), транспорт, процесс сварки, сжигание топлива в различных отраслях промышленности.

Алюминий выявили в семи изученных пробах Верхней Волги, преимущественно в пределах Тверской области (ПН 1–3, 5–7, 11). Его содержание практически во всех пробах соответствует нормативам качества. Известно, что соединения алюминия могут попадать в природные воды естественным путем, при частичном растворении глин и алюмосиликатов (Олькова, 2015). Наиболее интенсивно алюминием насыщаются природные воды с преобладанием торфянисто-подзолисто-глееватых почв, которые преобладают в Тверской области. Однако концентрация алюминия в одной из проб г. Твери (ПН 3) превысила ПДК в 7,9 раз – 1,58 мг/л (ПДК по алюминию составляет 0,2 мг/л) (рис. 2). Высокий уровень содержания металла в воде может связан с вредными выбросами отдельных производств или со сточными водами. ООО «Флагман-Тверь» специализирующийся на литье и переработке цветных металлов, является ближайшим предприятием и располагается рядом с Бортниковским ручьем, впадающим в р. Волга в 7,5 км вверх по течению от ПН 3. Сопутствующими металлами в сточных водах этого производства могут быть повышенные

концентрации железа, титана и ванадия, концентрации которых в пробах из ПН 3 максимальные (табл. 2).

**Металлы четвертого класса опасности.** Группу малоопасных металлов представляет единственный металл – олово, который обнаружили в трех пробах в пределах Тверской области (ПН 2, 6–7). Содержание этого металла в пробах воды соответствует нормативу качества.

Таким образом, в пробах воды Верхней Волги обнаружили 22 металла, из которых 11 встречаются повсеместно (As, B, Ba, Fe, K, Li, Mg, Mn, Na, Sr, V). Единично в пробах были отмечены свинец, бериллий и олово. Наибольшее число элементов характерно для проб из Тверской области (21 металл), наименьшее – Московской (17) (рис. 4).

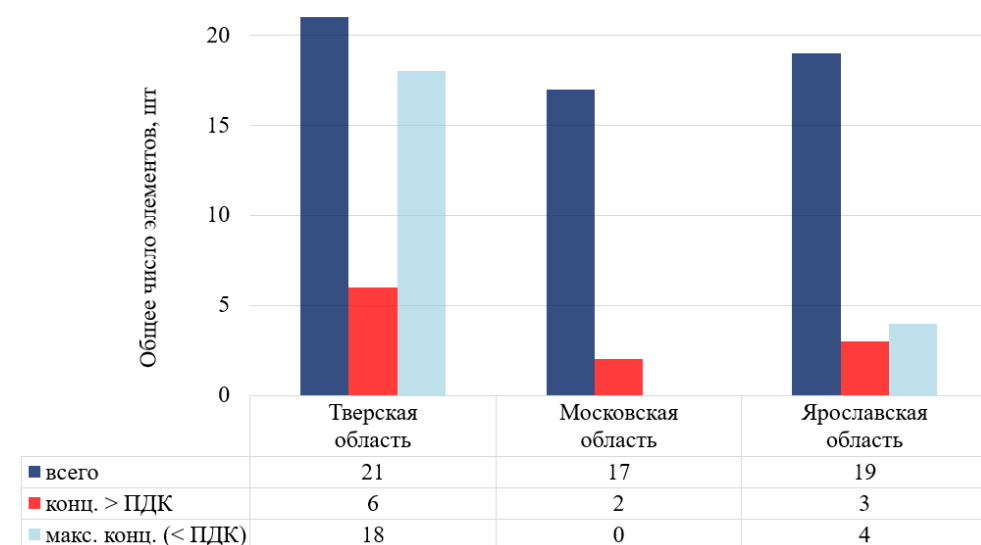


Рис. 4. Общая характеристика спектров выявленных элементов в Верхней Волге для изученных регионов

Содержание большинства обнаруженных элементов в Верхней Волге соответствует нормативам качества для вод хозяйственно-питьевого и культурно-бытового назначения. Однако по семи элементам имеется превышение значений ПДК. Среди них, два чрезвычайно опасных металла (As, Be), два высоко опасных (Pb, Se), три умеренно опасных (Al, Cu, Fe). Чаще всего в пробах выявляется превышение содержания по мышьяку (ПН 1–11), железу (ПН 1–3, 6–7, 11) и меди (ПН 4–5, 8–11). Существенно превышение нормативов было зарегистрировано по свинцу (10,9 ПДК), алюминию (7,9ПДК), меди (4 ПДК), имеющих антропогенные источники загрязнения. Сравнение встречаемости металлов с концентрациями выше ПДК по регионам

показывает наибольшее их число в пределах Тверской области (Al, As, Be, Se, Cu, Fe), наименьшее Московской (As, Se).

Анализ содержания элементов с концентрациями ниже ПДК также показал их повышенный уровень в пределах Тверской области. Пробы воды в этом регионе содержат максимальные значения концентрации по 13 элементам (ПН 1–4, 6–8). Причем в пробах из административного центра Тверской области – г. Твери было встречено наибольшее число металлов с максимальными значениями концентраций (Al, As, B, Be, Cu, Fe, K, Mn, Na, Sn, Sr, Ti, V), включая металлы с концентрациями выше ПДК (As, Al, Be, Fe). В пробах воды из Ярославской области (ПН 9–11) с максимальными значениями концентраций зарегистрировали барий, селен, сурьму и молибден. Низкий уровень содержания элементов отмечен в пробах из Московской области. Здесь отмечено наибольшее число металлов с минимальными значениями концентраций (Bi, Cr, Sb, Se, Sr).

**Заключение.** С помощью АЭС–ИСП–анализа в Верхней Волге в пределах трех субъектов было обнаружено 22 металла. Содержание большинства металлов в реке не превышает нормативов качества. Однако концентрация семи металлов выше ПДК (Al, As, Be, Cu, Fe, Pb, Se). Чаще других превышение значений ПДК было отмечено по мышьяку, железу и меди, но существенным по величине оказалось по свинцу (10,9 ПДК), алюминию (7,9 ПДК) и меди (4 ПДК). Высокие концентрации металлов в пробах обусловлены, прежде всего, антропогенным воздействием. Повышенный уровень загрязнения вод характерен прежде всего в пределах Тверской области.

### **Список литературы**

- Беслиней Х.Г., Малкина Т.В.* 2009. Спектрофотометрическое определение селена в водах // Экологический вестник научных центров Черноморского экономического сотрудничества. № 1. С. 66–70.
- Бреховский В.Ф., Волкова З.В., Перекальский В.М., Ильзова Ф.Ш.* 2010. Тяжелые металлы в донных отложениях Нижней Волги и дельты реки // Вода: химия и экология. №2. С. 2-10.
- Буторин А.А.* 2016. Информационно-аналитические материалы по реализации Российской Федерацией Конвенции об охране всемирного культурного и природного наследия (ЮНЕСКО) в природной ее части: [электрон. ресурс]. Режим доступа: <http://www.nhpfund.ru/informational-materials/convention-realization.html> (дата обращения 20.11.2018 г.).

- Великая русская река Волга [2009-20018] // Туристический комплекс «World Fish».: [электрон. ресурс]. Режим доступа: // World-Fish 2009-2018<http://www.w-fish.ru/info/reka-volga-verhnyaya-srednyaya-nizhnyaya.php> (дата обращения 21.12.2018).*
- Великие реки России. 2018 // Океан TV: мультимедийный проект. [электрон. ресурс]. Режим доступа: // [http://ocean-media.su/wp-content/uploads/2018/11/Poslednjaja\\_prezentacija\\_VRR\\_pdf-compressed.pdf](http://ocean-media.su/wp-content/uploads/2018/11/Poslednjaja_prezentacija_VRR_pdf-compressed.pdf) (дата обращения 24.12.2018).*
- Гигиенические нормативы. 2003. 2.1.5. 1315-03. Предельно допустимые концентрации (ПДК) химических веществ в воде водных объектов хозяйственно-бытового водопользования. М.: Российский регистр потенциально опасных химических и биологических веществ Министерства здравоохранения РФ. 154 с.*
- ГОСТ 17.1.5.05-85. 2001. Охрана природы. Гидросфера. Общие требования к отбору проб поверхностных и морских вод, льда и атмосферных осадков. М.: Изд-во стандартов. 9 с.*
- ГОСТ 31861-2012. 2013. Вода. Общие требования к отбору проб. М.: Стандартинформ. 35 с.*
- Кривошей В.А. 2015. Река Волга (проблемы и решения). М.: ООО «Журнал «РТ». 92 с.*
- Курьякова А.Н. 2011. Баланс тяжелых металлов в дельте Волги // Доклады Академии наук. 2011. Т. 439. № 6. С. 818-821.*
- Матясова В.Е., Коцарь М.Л., Кочубеева С.Л., Никонов В.И. 2013. Получение бериллиевых материалов для ядерной и термоядерной энергетики из бериллий содержащих отходов // ВАНТ, №2 (84). С. 110-117.*
- Мейсурова А.Ф. 2015. Анализ содержания металлов в пробах воды на гидрологических объектах г. Твери // Вестн. ТвГУ. Сер. Биология и экология. № 3. С. 182–192.*
- Мейсурова А.Ф., Хижняк С.Д., Пахомов П.М. 2016. Фурье-ИК спектральный анализ атмосферного загрязнения с использованием лишайников. Тверь: Твер. гос. ун-т. 155 с.*
- Мельник Л.А., Бабак Ю.В, Гончарук В.В. 2012. Проблемы удаления соединений мышьяка из природных вод в процессе баромембранной обработки // Химия и технология воды. Т. 34. №3. С. 273–282.*
- Нотов А.А. 2012. Сопряженный анализ компонентов флоры как метод выявления флористической специфики природных комплексов разного уровня // Вестн. ТвГУ. Сер. Биология и экология. Вып. 28. С. 80-101.*
- Нотов А.А., Зуева Л.В., Нотов В.А., Мейсурова А.Ф., Андреева Е.А. 2016. Специфика флоры природных комплексов с озерными системами юго-западной части Валдайской возвышенности и проблема сохранения биоразнообразия // Вестн. ТвГУ. Сер. Биология и экология. № 4. С. 241-266.*

- Нотов А.А., Мейсурова А.Ф., Зуева Л.В., Нотов В.А., Андреева Е.А., Иванова С.А. 2017. Некоторые итоги реализации модели комплексного биомониторинга экосистем Верхневолжья // Вестн. ТвГУ. Сер. Биология и экология. № 2. С. 244-269.
- Олькова А. 2015. Сравнение чувствительности тест-организмов *Daphnia magna* и *Ceriodaphnia affinis* к соединениям алюминия // Успехи современного естествознания. № 11-2. С. 203-205.
- ПНДФ 14.1:2:4.139-98. Количественный химический анализ вод. Методика выполнения измерений массовой концентрации элементов пробах питьевой, природных, сточных вод и атмосферных осадков методом атомно-эмиссионной спектроскопии с индуктивно связанной плазмой // Информационная система МЕГАНОРМ: [электрон. ресурс]. Режим доступа: <https://meganorm.ru/Data2/1/4293832/4293832535.htm> (дата обращения 21.12.2018).
- Пудовкин Н.А., Смутнев П.В. 2014. Особенности накопления и распределения селена в воде, донных отложениях и макрофитах бассейна средней Волги // Вестник Тамбовского университета. Серия: Естественные и технические науки. Т. 19. № 5. С. 1721-1723.
- Путилина В. С. 2011. Поведение мышьяка в почвах, горных породах и подземных водах: трансформация, адсорбция/десорбция, миграция: аналитический обзор (Сер. Экология. Т. 97). Новосибирск: ГПНТБ СО РАН. 249 с.
- Рылина О.Н., Карыгина Н.В., Попова О.В., Попова Э.С., Галлей Е.В., Львова О.А. 2013. Оценка содержания степени загрязнения основных водотоков дельты р. Волги // Научный потенциал регионов на службу модернизации. № 2 (5). С. 74-79.
- Томилина И.И., Гапеева М.В., Ложкина Р.А. 2018. Оценка качества воды и донных отложений каскада водохранилищ реки Волга по показателям токсичности и химического состава // Труды ИБВВ РАН. Вып. 81(84). С. 107-131.
- Тырков А.Г., Великородов А.В., Серебряков О.И., Носачев С.Б., Ковалев В.Б. 2018. Экологическая оценка содержания нефтепродуктов, фенолов и тяжелых металлов в воде и почве Прикаспия // Геология, география и глобальная энергия. № 1 (68) Гидрогеология. С. 28-34.

**ICP-AES ANALYSIS OF ELEMENT CONTENT IN WATERS  
FROM UPPER VOLGA IN AREAS OF THREE SPECIMENS IN RF  
(TVER, MOSCOW AND YAROSLAVL REGIONS)**

**A.F. Meysurova, A.V. Lopina**

Tver State University, Tver

22 metals (Al, As, B, Ba, Be, Bi, Cu, Cr, Fe, K, Li, Mg, Mo, Mn, Na, Pb, Sb, Se, Sn, Sr, Ti, V) were detected in water samples from Upper Volga in areas of three specimens in RF by ICP-AES analysis. They do represent four classes of hazard. The content of the 7 elements (Al, As, Be, Cu, Fe, Pb, Se) is over maximum permissible concentration (MPC) significances. The excess of MPC sense concerning water from Upper Volga in case of arsenic, iron and copper presents ubiquitously. Locally, extremely high level of the water pollution because of plumber (10,9 MPC), aluminum (7.9 MPC) and copper (4 MPC) was indexed while being connected with anthropogenic impact. Among the studied regions water in bounds in Tver region is characterized by the high level of contamination. Here occurs most of the metals with maximum concentration higher than MPC (As, Al, Be, Fe).

**Keywords:** *ICP-AES analysis, metals, pollution, Volga River, Upper Volga, Moscow Region, Yaroslavl Region, Tver Region, the cities of Tver, Konakovo, Dubna, Kimry, Kalyazin, Myshkin, Uglich, Rybinsk.*

*Об авторах:*

МЕЙСУРОВА Александра Федоровна – доктор биологических наук, декан биологического факультета, заведующий кафедрой ботаники, ФГБОУ ВО «Тверской государственный университет», 170100, Тверь, ул. Желябова, д. 33, e-mail: alexandrauraz@mail.ru.

ЛОПИНА Анна Владимировна – студентка 2 курса направления магистратуры 06.04.01 Биология, ФГБОУ ВО «Тверской государственный университет», 170100, Тверь, ул. Желябова, д. 33, e-mail: lopina-a@mail.ru.

Мейсурова А.Ф. АЭС-ИСП-анализ содержания элементов в водах бассейна Верхней Волги в пределах трех субъектов РФ (Тверская, Московская и Ярославская области) / А.Ф. Мейсурова, А.В. Лопина // Вестн. ТвГУ. Сер. Биология и экология. 2018. № 4. С. 226-241.