

ЭКОЛОГИЯ

промышленного производства

МЕЖОТРАСЛЕВОЙ
 НАУЧНО-ПРАКТИЧЕСКИЙ
 ЖУРНАЛ

Выпуск 2 (86)

Издается с 1993 г.

Москва 2014

СОДЕРЖАНИЕ

ОБЕЗВРЕЖИВАНИЕ, УТИЛИЗАЦИЯ И ПЕРЕРАБОТКА ПРОМЫШЛЕННЫХ ОТХОДОВ

- Курмышева А. Ю., Сотникова Е. В., Забенькина Е. О., Калпина Н. Ю., Житков М. Ю.* Сорбционное поведение молибдат-ионов на оксиде алюминия как основа ресурсосберегающей технологии переработки молибденсодержащих отходов 2
- Кузнецов Н. П., Тенев В. А., Хайбулин Р. Г.* Технические решения по предотвращению образования диоксинов при термической утилизации промышленных отходов 7
- Абдрахимова Е. С., Абдрахимов В. З.* Использование отходов цветной металлургии в производстве кислотоупоров без применения природного традиционного сырья 13
- Коняев А. Ю., Багин Д. Н., Коняев И. А., Назаров С. Л., Якушев Н. С.* Опыт разработки электродинамических сепараторов для технологий утилизации твердых отходов 17
- Шелелев И. И., Бочков Н. Н., Дашкевич Р. Я., Сахачев А. Ю.* Использование отходов глиноземного производства при строительстве автомобильных дорог Сибири 22

ВОДОПОДГОТОВКА И ВОДОЧИСТКА

- Цыбульский А. С., Черняев А. В.* Электрофизические методы очистки воды 27
- Ксенофонтов Б. С., Титов К. В.* Моделирование флотационной очистки сточных вод 32
- Маерин Г. В., Смирнова Н. Н., Инюшева А. А., Рощина О. С., Павлова Т. П., Фридланд С. В., Мелконян Р. Г.* Влияние малых и сверхмалых концентраций соединений Этафосфа, Амидофосфа и Анифосфа на динамику численности тест-объектов *Daphnia magna* Straus и микроводоросли *Scenedesmus quadricauda* 39
- Мальцев А. Е., Леонова Г. А., Богуш А. А., Булычева Т. М.* Эколого-геохимическая оценка степени антропогенного загрязнения экосистем обводненных карьеров г. Новосибирска 44

ОБЩИЕ ВОПРОСЫ

- Зинкин В. Н., Драган С. П., Ахметзянов И. М., Орихан М. М.* Организационно-методические основы мониторинга инфразвука на промышленных производствах 54
- Михайлов В. А., Сотникова Е. В.* Обеспечение техносферной безопасности транспортных средства в условиях мегаполиса путем нормализации теплового состояния оператора и оздоровления воздушной среды в кбинах 61
- Гирусов Э. В.* Резкое ухудшение климата: кто виноват, что происходит, как дальше быть? 67
- Хильченко Н. В., Семячков А. И., Кудрявцева Т. М.* Методические подходы к оценке экономического ущерба (вреда) от противоправного загрязнения атмосферного воздуха стационарными источниками 71
- Оганесян Е. С.* Использование показателя PUE как индикатора энергоэффективности в центрах обработки данных 77

Главный редактор **А. Г. Ишков**,

д-р хим. наук, проф., акад. РАЕН,
 начальник Управления энергосбережения
 и экологии ОАО "Газпром"

Заместители главного редактора:

В. Ф. Гракович, д-р техн. наук, акад. РАЕН, председатель правления Национального Фонда содействия устойчивому развитию регионов; **Н. П. Кузнецов**, д-р техн. наук, проф., действительный чл. Академии военных наук РФ, Ижевский государственный технический университет им. М. Т. Калашникова

Ответственный секретарь **И. В. Терехова**,
 старший научный сотрудник ФГУП «ВИМИ»

Редакционный совет:

А. М. Амирханов, канд. биол. наук, зам. руководителя Федеральной службы по надзору в сфере природопользования; **Э. В. Гирусов**, д-р филос. наук, проф., акад. Российской экологической академии; **Н. П. Тарасова**, д-р хим. наук, проф., чл.-кор. РАН, директор Института проблем устойчивого развития

Редакционная коллегия:

С. С. Бабкина, д-р хим. наук, проф., Московский государственный машиностроительный университет (МАМИ), Институт инженерной экологии и химического машиностроения; **Я. И. Вайсман**, д-р мед. наук, проф., Пермский национальный исследовательский политехнический университет; **В. А. Грачев**, д-р техн. наук, проф., чл.-кор. РАН, президент, генеральный директор Неправительственного экологического фонда им. В. И. Вернадского; **В. Г. Исаков**, д-р техн. наук, проф., акад. Академии военных наук РФ, Ижевский государственный технический университет им. М. Т. Калашникова; **М. А. Корепанов**, д-р техн. наук, Институт прикладной механики Уральского отделения РАН; **Б. С. Ксенофонтов**, д-р техн. наук, проф., МГТУ им. Н. Э. Баумана; **В. Ю. Мелешко**, д-р техн. наук, Военная академия им. Петра Великого; **В. В. Минасян**, канд. техн. наук, генеральный директор ООО «Фракком»; **А. Ю. Недре**, канд. техн. наук, директор ВНИИ охраны природы; **Е. А. Найман**, канд. техн. наук, Краковский технический университет им. Тадеуша Костюшко, Польша; **Е. И. Пульрев**, д-р техн. наук, проф., генеральный директор ОАО «Мосводоканал-НИИпроект»; **И. Ш. Сайфуллин**, д-р хим. наук, проф., ФГБУН «Институт машиноведения им. А. А. Благонравова РАН»; **В. А. Тенев**, д-р физ.-мат. наук, проф., Ижевский государственный технический университет им. М. Т. Калашникова; **Ю. В. Трофименко**, д-р техн. наук, проф., директор Научно-исследовательского института энергоэкологических проблем автотранспортного комплекса при МАДИ; **О. В. Яковенко**, канд. филос. наук, референт, Департамент промышленности и инфраструктуры Правительства РФ

Свидетельство о регистрации

ПИ № ФС 77-35666 от 24.03.2009 г.

© Федеральное государственное унитарное предприятие "Всероссийский научно-исследовательский институт межотраслевой информации — федеральный информационно-аналитический центр оборонной промышленности" (ФГУП "ВИМИ"), 2014

УДК 550.46.+504.054:574.3

Эколого-геохимическая оценка степени антропогенного загрязнения экосистем обводненных карьеров г. Новосибирска

А. Е. МАЛЬЦЕВ; Г. А. ЛЕОНОВА, д-р геол.-мин. наук; А. А. БОГУШ, канд. геол.-мин. наук
Институт геологии и минералогии им. В. С. Соболева СО РАН, г. Новосибирск, Россия

Т. М. БУЛЫЧЕВА

Федеральное государственное бюджетное водохозяйственное учреждение
"ВерхнеОбьрегионводхоз", г. Новосибирск, Россия

Проведено эколого-геохимическое обследование пяти водных объектов г. Новосибирска, представляющих интерес в качестве потенциальных рекреационных зон. По комплексу геохимических критериев определена степень загрязнения тяжелыми металлами поверхностных вод, донных отложений и индикаторного биообъекта (нитчатые зеленые водоросли) опробованных водоемов. С использованием программного комплекса WATERQ4F в неорганической подсистеме поверхностных вод выявлены наиболее подвижные биодоступные формы нахождения тяжелых металлов (акватированная ионная форма (Me^{2+}) и нейтральные карбонатные комплексы). Установлено, что экосистемы исследованных водных объектов в разной степени загрязнены тяжелыми металлами.

Ключевые слова: обводненные карьеры, водная экосистема, донные осадки, биологические объекты, тяжелые металлы, геохимические критерии оценки загрязнения, формы нахождения химических элементов.

В настоящее время экологическая ситуация на Земле непрерывно ухудшается в связи с антропогенным воздействием на глобальном, региональном и локальном уровнях, поэтому особенно актуальным становится основополагающее представление В. И. Вернадского о планетарной роли воды не только как ценного природного ресурса, но и как среды обитания живых организмов. Еще в 30-х годах прошлого столетия в работе "История природных вод" ученый приходит к выводу, что [1, с. 52]: "Девственные реки быстро исчезают или исчезли и заменились нового типа образованиями, новыми водами, ранее не существовавшими. На огромной территории Евразии, а за последнее столетие в Америке и в Австралии во всей биосфере идет переработка природных вод и одновременно создание новых культурных рек, озер, прудов, прибрежных морских образований, почвенных растворов". Таким образом, под влиянием хозяйственной деятельности человека природные воды изменяют свой первозданный облик, и происходит

формирование новых, в той или иной степени антропогенно-измененных "культурных вод".

В. И. Вернадский констатирует [1, с. 52]: "Культурных вод никогда раньше не было в биосфере, и очевидно никогда они вновь не повторятся, так как они связаны в своем существовании с неповторяющимся в ходе времени единичным явлением, с *Homo sapiens faber* — звеном в эволюционном процессе изменения живых природных тел". В связи с вышесказанным вполне очевидна необходимость проведения эколого-геохимического мониторинга загрязнения водных экосистем тяжелыми металлами, который должен предусматривать изучение их аккумуляции во всех основных сопряженных компонентах водной экосистемы — воде, донных отложениях, биологических объектах. Это обусловлено тем, что устойчивость пресноводных экосистем базируется на взаимосвязи важнейших характеристик, определяющих распределение и миграцию тяжелых металлов в абиогенных и биогенных компонентах. К таким характеристикам относятся аккумулялирующая способность живых организмов, комплексообразующая способность растворенного органического вещества природных вод и депонирующая способность донных отложений [2].

Традиционно об экологическом состоянии водных экосистем и, в частности, о воде судят на основе сопоставления показателей общего валового содержания тяжелых металлов в воде с величинами предельно допустимых концентраций (ПДК). Однако такой подход не достаточен для целей эколого-геохимического мониторинга. Необходимо изучение основных валентных и комплексных форм химических элементов в водном растворе, что даст возмож-

Мальцев Антон Евгеньевич, аспирант, младший научный сотрудник.

Тел. 8 (383) 333-23-07. E-mail: maltsev@igm.nsc.ru

Леонова Галина Александровна, ведущий научный сотрудник.

Тел. 8 (383) 333-23-07. E-mail: leonova@igm.nsc.ru

Богущ Анна Александровна, старший научный сотрудник.

Тел. 8 (383) 333-23-07. E-mail: annakhol@gmail.com

Булычева Татьяна Михайловна, заведующая лабораторией контроля качества природных и сточных вод.

E-mail: tyumentseva@mail.ru

Статья поступила в редакцию 23 декабря 2013 г.

© Мальцев А. Е., Леонова Г. А., Богущ А. А.,
Булычева Т. М., 2014

ность определить круг элементов, присутствующих в наиболее подвижных, а значит, биодоступных и токсичных для живых организмов формах [3—6]. Кроме того, для донных отложений и биологических объектов не существует разработанных ПДК химических элементов, поэтому оценка степени загрязнения этих компонентов водной экосистемы проводится путем сравнения их элементного состава с таковыми в водоемах, расположенных на незагрязненных (фоновых) территориях.

Одним из принципиальных моментов при эколого-геохимическом мониторинге загрязнения водной среды является выбор и обоснование критериев, с помощью которых можно оценить степень изменения ее состояния. В данной работе использованы геохимические критерии, позволяющие количественно оценить степень загрязнения взаимосвязанных компонентов водной экосистемы, предложенные в работах [7—10]: коэффициент концентрации химического элемента (K_c), формула геохимической ассоциации (ФГА) и суммарный показатель загрязнения донных отложений (Z_c).

Обеспечение экологической безопасности многофункционального города с миллионным населением, каким является г. Новосибирск, — сложнейшая задача. Характер современного технологического и социально-экономического развития города способствует росту экологических рисков, т. е. ведет к загрязнению окружающей среды и негативно влияет на здоровье населения. Актуальной экологической проблемой города является качество воды в природных (р. Обь) и искусственных (Новосибирское водохранилище, пруды, обводненные карьеры) водоемах [11, 12]. Недостаток рекреационных зон на территории г. Новосибирска, т. е. специально выделенных участков, предназначенных для организации мест отдыха населения, в том числе оборудованных пляжей, вынуж-

дает горожан купаться в прудах и обводненных карьерах, не предназначенных для этих целей. Однако при проведении специальных мероприятий (очистка дна и берегов от бытового мусора, экологический мониторинг загрязнения водной среды и пр.) эти водоемы могли бы стать цивилизованными местами отдыха, на что направлены специальные указы мэра г. Новосибирска [13]. В данной работе в рамках выполнения проекта мэрии г. Новосибирска "Исследование качественного и количественного состава загрязняющих веществ в воде прудов и обводненных карьеров города Новосибирска" авторами дана оценка степени загрязнения тяжелыми металлами сопряженных компонентов (вода—донные отложения—биота) пяти водных объектов.

Объекты и методы исследования

Выбраны четыре обводненных карьера и оз. Медвежье в черте г. Новосибирска. Положение этих водных объектов показано на рис. 1, а названия обозначены аббревиатурами: карьер "Горский" в Кировском районе (К-1), карьер на улице Горской в Ленинском районе (К-2), карьер у типографии "Советская Сибирь" в Кировском районе (К-3), карьер на пересечении улиц Фрунзе—Селезнева в Центральном районе (К-4), оз. Медвежье (К-5) в Ленинском районе. Опробованные водоемы — затопленные водой выработанные карьеры, дно которых представлено коренными минеральными породами без чехла новообразованных донных отложений. Исключение составляет оз. Медвежье с типичными озерными илистыми осадками. В качестве незагрязненного водоема (фоновый объект сравнения) выбрано оз. Карасево, расположенное за пределами г. Новосибирска в экологически благополучном районе — Караканском сосновом бору.

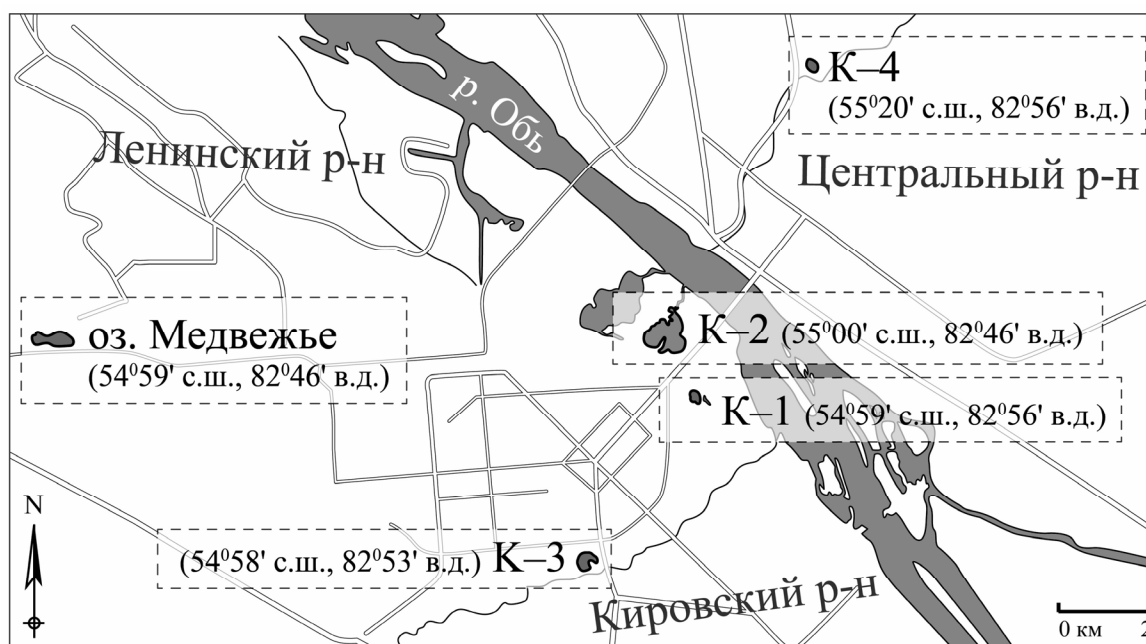


Рис. 1. Карта-схема водных объектов г. Новосибирска:

К-1 — карьер "Горский" в Кировском районе; К-2 — карьер на улице Горской в Ленинском районе; К-3 — карьер у типографии "Советская Сибирь" в Кировском районе; К-4 — карьер на пересечении улиц Фрунзе—Селезнева в Центральном районе; оз. Медвежье в Ленинском районе

Обводненные карьеры и оз. Медвежье относятся к объектам культурно-бытового водопользования и используются населением г. Новосибирска для купания, занятия спортом и отдыха (рекреационное водопользование). Согласно требованиям СанПиН 2.1.5.980-00 к качеству воды объектов этой категории водопользования предъявляются нормативные требования: содержание химических веществ не должно превышать ПДК в воде водных объектов по ГН 2.1.5.1315-03: "Предельно допустимые концентрации (ПДК) химических веществ в воде водных объектов хозяйственно-питьевого и культурно-бытового водопользования" [14]. Для оценки соответствия качества воды обводненных карьеров проведено сравнение валовых концентраций химических элементов в этих водоемах с предельно допустимыми концентрациями элементов в воде водоемов хозяйственно-питьевого и культурно-бытового водопользования (ПДК_х) [15] и водоемов рыбохозяйственного назначения (ПДК_р) [16, 17].

Отбор проб взаимосвязанных компонентов (вода—донные осадки—биообъекты) в экосистемах обводненных карьеров проводили в июне 2012 г.

Пробы воды отбирали в поверхностном (0,5 м) и придонном горизонтах батометром с борта резиновой лодки согласно методическим указаниям [17, 18]. На месте отбора проб определяли температуру воды, pH, Eh и содержание кислорода. Воду на гидрохимический анализ (основные катионы и анионы) отбирали в пластиковые 1,5-литровые бутылки и не консервировали. Воду на микроэлементы отбирали в полиэтиленовые контейнеры и консервировали добавлением концентрированной азотной кислоты марки о.с.ч. (особо чистая) из расчета 4 мл кислоты на 1 л раствора.

Неконсолидированные донные осадки (интегрированная взвесь в придонном слое воды) в обводненных карьерах отбирали батометром специальной конструкции. Отобранные пробы осадков упаковывали в полиэтиленовые пакеты, в лабораторных условиях высушивали до воздушно-сухого состояния и гомогенизировали (растирали в агатовых ступках).

Нитчатую зеленую водоросль *Cladophora glomerata*, обитающую во всех опробованных водных объектах (и по этой причине выбранную в качестве "сквозного биообъекта" эколо-геохимического мониторинга [18]), собирали вручную преимущественно в заливах и тщательно промывали от частичек грунта водой из водоема.

Анализ макрокомпонентного состава воды (основные катионы и анионы) проведен в аккредитованной Лаборатории контроля качества природных и сточных вод Федерального государственного учреждения "ВЕРХНЕОБЬРЕГИОНВОДХОЗ" по стандартным методикам для пресных и соленых вод [19—21]. Ca²⁺, HCO₃⁻ и Cl⁻ определены титриметрическим методом, SO₄²⁻ — турбидиметрическим, PO₄³⁻, NO₃⁻, NO₂⁻, NH₄⁺ — фотометрическим. Здесь же определены валовые концентрации в воде Fe, Mn, Zn, Cu, Cr, Ni методом атомно-абсорбционной спектроскопии (ААС).

Анализ валовых концентраций Pb, Cd, As и Sb в воде, Na, K, Ca, Mg, Al, Mn, Fe, Cr, Ni, Co, Cu, Cd, Pb, Sb, Zn в донных осадках и биообъектах проведен методом ААС в аккредитованном Аналитическом

центре ИГМ СО РАН по общепринятой методике [22]. Определение Hg проведено методом холодного пара с амальгамацией на золотом сорбенте. Для контроля правильности анализа использованы Государственные стандартные образцы (ГСО) сравнения из травосмеси СВМТ-02 [23] и байкальского ила БИЛ-1 [24].

С помощью компьютерной программы WATERQ4F [25] рассчитаны формы нахождения химических элементов в неорганической подсистеме поверхностных и придонных вод опробованных водоемов. При расчетах в качестве исходной информации были использованы аналитические данные по валовому химическому составу поверхностной и придонной воды из опробованных водоемов, Eh-pH характеристики и содержание кислорода. Приведем основные термины, применяемые при расчетах химических форм металлов в водном растворе: Me²⁺_{aq} — акватированные ионные формы, MeCO₃⁰ — нейтральные карбонатные комплексы, MeHCO₃⁺ — катионные гидрокарбонатные комплексы, Me(CO₃)₂²⁻ — анионные карбонатные комплексы, MeSO₄⁰ — нейтральные сульфатные комплексы, Me(SO₄)₂²⁻ — анионные сульфатные комплексы, MeOH⁺ — катионные гидроксидные, Me(OH)₂⁰ — нейтральные гидроксидные комплексы, MeCl⁺ — катионные хлоридные комплексы и MeCl₂⁰ — нейтральные хлоридные комплексы.

Оценка экологического состояния водных объектов г. Новосибирска проведена по следующим геохимическим критериям [7—10]:

1. *Коэффициент концентрации* химического элемента (K_c), показывающий уровень (интенсивность) концентрирования элемента в природном объекте в зоне загрязнения относительно его фонового содержания:

$$K_c = (C_i) / (C_{\phi}),$$

где C_i — концентрация i -го химического элемента в зоне загрязнения;

C_{ϕ} — фоновое содержание этого элемента.

2. *Формула геохимической ассоциации* (ФГА) характеризует качественный элементный состав и структуру геохимической аномалии (состав техногенного загрязнения) и представляет собой упорядоченную по значениям K_c совокупность (ранжированный ряд) химических элементов в природном объекте. ФГА изображается, например, следующим образом: Hg₁₅₀—Cd₁₁₀—As₅₁—Pb₁₁, где цифровые индексы около символов химических элементов представляют их коэффициенты концентрации (K_c).

3. *Суммарный показатель загрязнения донных отложений* (Z_c) представляет сумму коэффициентов концентрации K_c элементов:

$$Z_c = \sum K_c - (n - 1),$$

где K_c — коэффициент концентрации i -го химического элемента;

n — число, равное количеству элементов, входящих в ассоциацию.

Полученные значения Z_c ранжировали по ориентировочной шкале оценки уровня техногенного загрязнения донных отложений согласно классификации [10].

Поверхностные воды

Поверхностные воды опробованных водных объектов г. Новосибирска характеризуются по классификации О. А. Алекина [26] как пресные с малой минерализацией (148—449 мг/л) (табл. 1). В воде минерализация варьировала в интервале значений от 152±29 мг/л (карьер **К-2**), 304±27 (карьер **К-1**), 380±34 мг/л (карьер **К-3**), 382±34 мг/л (оз. Медвежье) и до 423±38 мг/л (карьер **К-4**). В фоновом оз. Карасевое минерализация воды составляла 162±31 мг/л. Во всех водоемах минерализация поверхностной воды лежит в пределах значений (≤ 1000), рекомендованных требованиями СанПиН 2.1.5.980-00 для водных объектов рекреационного водопользования [14].

Воды исследованных водоемов по величине водородного показателя (рН) относятся к слабощелочным: 7,36 (карьер **К-1**), 8,08 (карьер **К-4**), 8,16 (карьер **К-2**), 8,35 (карьер **К-3**), 8,57 (оз. Медвежье). В воде фоновое оз. Карасевое рН — 8,05. Во всех водоемах значения рН воды лежат в пределах (6,5—8,5), рекомендованных требованиями СанПиН 2.1.5.980-00 для водных объектов рекреационного водопользования [14].

Биохимическое потребление кислорода (БПК₅) в воде опробованных объектов изменялось в интервале значений (1,32—3,66 мг O₂/л) и не превышало нормативов состава вод СанПиН 2.1.5.980-00

(≤ 4 мг O₂/л). Значения ХПК (химическое потребление кислорода) в воде исследованных водоемов изменялись в пределах 2,8—24,7 мг O₂/л и также не превышали нормативов ≤ 30 мг O₂/л (табл. 1).

По макрокомпонентному составу (основные катионы и анионы) воды всех опробованных водных объектов г. Новосибирска являются гидрокарбонатными кальциевыми магниевыми (или магниевыми кальциевыми) согласно [26]. И только в воде карьера **К-4** наряду с гидрокарбонатными ионами высоко содержание хлорид-иона, в связи с чем, они отнесены к гидрокарбонатным хлоридным кальциевым водам. Соотношение катионов и анионов (в %-экв) в поверхностных водах исследованных водоемов показано на рис. 2. Концентрации всех проанализированных макрокомпонентов (табл. 1) находятся в воде исследованных водоемов г. Новосибирска в пределах значений нормативов ПДК_х для водных объектов хозяйственно-питьевого назначения [15]. По некоторым макрокомпонентам обнаружено превышение ПДК_р для объектов рыбохозяйственного назначения [16]. Например, по катиону магния (Mg⁺²) выявлено небольшое превышение концентрации в поверхностной воде карьера **К-3** (45,7 мг/л) и оз. Медвежье (49,1 мг/л) по сравнению с ПДК_р (40 мг/л); по аниону (PO₄³⁻) — в поверхностной воде карьера **К-2** (0,07 мг/л) по сравнению с ПДК_р (0,05 мг/л).

Таблица 1

Содержание основных ионов (мг/л) и микроэлементов (мкг/л) в поверхностных водах обводненных карьеров г. Новосибирска и фоновое водоема (оз. Карасевое), июнь 2012 г.

Показатель	К-1	К-2	К-3	К-4	оз. Медвежье	оз. Карасевое
М (мг/л)	304±27,4	152±28,9	380±34,2	423±38,1	382±34,4	162±30,8
рН	7,36	8,16	8,35	8,08	8,57	8,05
O ₂ , мг/л	8,57±0,86	8,55±0,86	9,75±0,98	7,96±0,79	7,55±0,76	8,59±0,86
БПК ₅ , мгO ₂ /л	1,87±0,49	2,44±0,63	1,63±0,42	2,49±0,65	2,28±0,59	2,06±0,53
ХПК, мгO ₂ /л	13,1±3,9	9,2±2,8	14,8±4,4	14,8±4,4	23,9±7,2	2,8±0,3
Ca ⁺²	49,7	46,5	40,9	52,9	31,3	26,5
Mg ⁺²	34,5	7,8	45,7	29,2	49,1	20,0
Na ⁺ + K ⁺	33,0	9	45	50	33	8
HCO ₃ ⁻	317	171	366	183	305	183
SO ₄ ²⁻	33,8	11,7	52,8	56,9	49,7	≤ 10
Cl ⁻	29,2	≤ 10	30,6	107	36	≤ 10
PO ₄ ³⁻	$\leq 0,05$	0,07	$\leq 0,05$	0,057	$\leq 0,05$	$\leq 0,05$
NO ₃ ⁻	1,42	0,27	0,3	0,89	1,27	0,24
NO ₂ ⁻	$\leq 0,02$	0,02	0,06	0,028	0,02	$\leq 0,02$
NH ₄ ⁺	0,20	0,32	0,20	0,26	0,53	0,12
Mn	13	14	14	26	70	84
Fe	100	50	≤ 5	190	290	270
Cu	4,1	3,9	3,8	2,5	1,7	3,3
As	5,7	10,5	8,93	8,22	11,4	1,92
Pb	1,7	1,9	4,2	11,3	1,3	0,024
Cd	0,1	0,083	0,027	0,73	0,075	0,01
Sb	1	2,8	1,9	2,5	3,67	4,45
Hg	0,078	0,13	$< 0,02$	0,066	0,041	0,055

Примечания. М — минерализация воды; БПК₅ — биохимическое потребление кислорода; ХПК — химическое потребление кислорода.

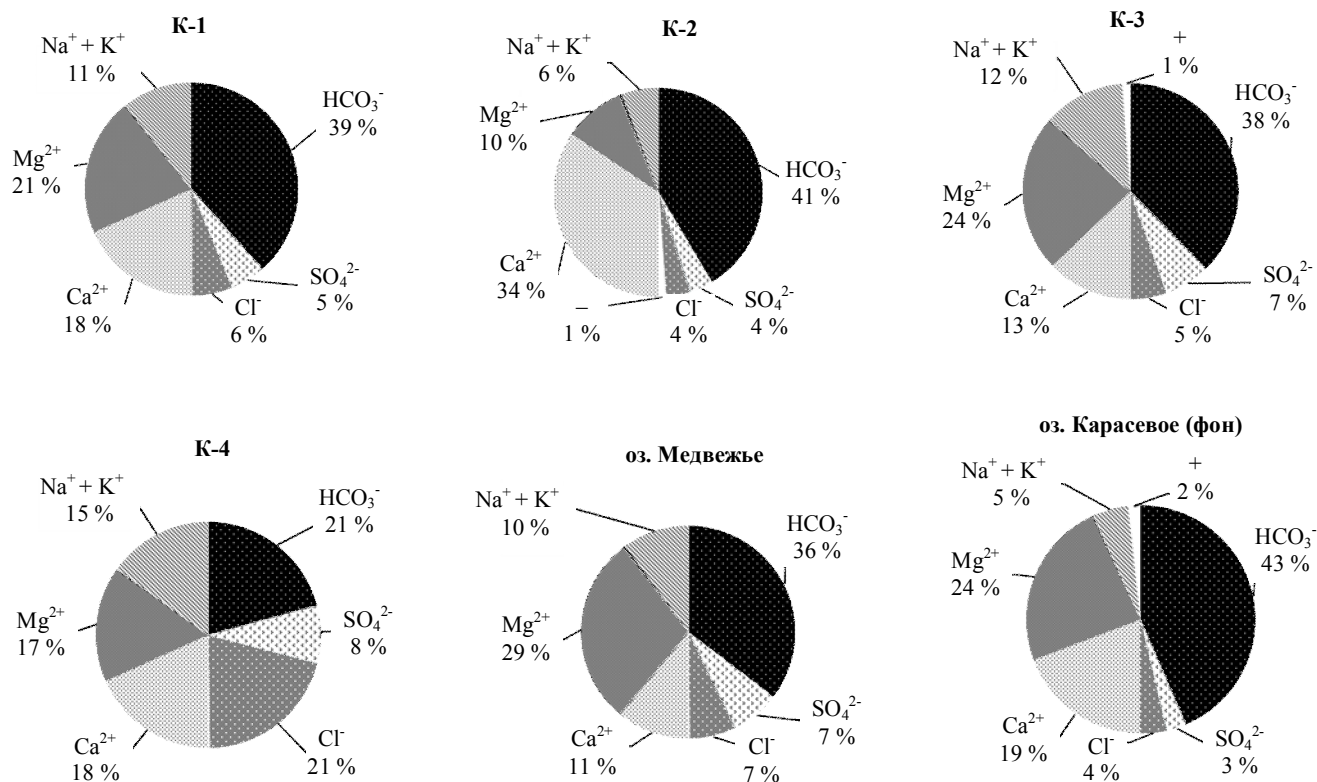


Рис. 2. Долевое распределение основных ионов (%-эквиваленты) в воде водных объектов г. Новосибирска и фонового водоема (оз. Карасевое)

Установлено превышение ПДК_р по отдельным микроэлементам в воде исследованных водоемов. В воде практически всех карьеров концентрации Mn превышают в 1,3—8,4 раза ПДК_р (10 мкг/л), самое высокое превышение 8,4 раза в воде оз. Карасевое (84 мкг/л) (табл. 1). Превышение по Cu (ПДК_р = 1 мкг/л) — в 1,7—4,1 раза, по Hg (ПДК_р = 0,01 мкг/л), кроме карьера К-3, — в 4,1—13 раз, самое высокое превышение (в 13 раз) — в воде карьера К-2. Концентрации Fe в воде карьера К-4 превышают ПДК_р (100 мкг/л) в 1,9 раз, оз. Медвежье — в 2,9 раз. Концентрации Pb в поверхностной воде всех водоемов не превышают ПДК_р (6 мкг/л), и только в карьере К-4 установлено превышение в 1,9 раз.

Формы нахождения химических элементов в воде

Компьютерные программы позволяют рассчитывать только формы металлов, представленные в виде комплексов с неорганическими и низкомолекулярными органическими лигандами. В данном случае получены расчетные формы металлов только с неорганическими лигандами, долевое соотношение форм представлено ниже.

Кальций как основной катион водного раствора находится в поверхностной воде опробованных водоемов преимущественно в виде аквакомплексов ионов (Ca²⁺). В водах карьера К-1 доля (Ca²⁺) составляет ≈ 93,08 %, карьера К-2 — ≈ 94,44 %, карьера К-3 — ≈ 88,57 %, карьера К-4 — ≈ 92,23 %, оз. Медвежье — ≈ 86,79 %, фонового оз. Карасевое — ≈ 94,66 %. Уча-

стие других химических форм кальция в его долевом распределении в воде незначительно. Гидрокарбонатные комплексы кальция (CaHCO₃⁺) не превышают 4,60 %, а нейтральные сульфатные комплексы (CaSO₄⁰) — 4,20 %.

Магний также превалирует в воде всех водоемов в аквакомплексной форме (Mg²⁺). В воде карьера К-1 доля Mg²⁺ составляет ≈ 93,16 %, карьера К-2 — ≈ 95,20 %, карьера К-3 — ≈ 89,93 %, карьера К-4 — ≈ 92,28 %, оз. Медвежье — ≈ 88,99 %, фонового оз. Карасевое — ≈ 95,91 %. В небольшом количестве (до 4,73 %) — в нейтральных сульфатных комплексах (MgSO₄⁰), а в гидрокарбонатных комплексах (MgHCO₃⁺) — не более 3,86 %.

Железо присутствует, главным образом, в гидроксидных комплексах Fe (III): Fe(OH)₃⁰ варьирует в воде опробованных водоемов от 70,71 до 83,8 %, значительно ниже процентные доли гидроксидных комплексов Fe(OH)₂⁺ (1,66—27,72 %) и Fe(OH)₄⁻ (1,57—26,92 %).

Для **цинка** установлено большое разнообразие как самих форм нахождения в воде исследованных водоемов, так и их долевого распределения. Биодоступная и токсичная аквакомплексная ионная форма Zn²⁺ превалирует в воде карьера К-1 (≈ 44,89 %), несколько ниже доля ее в воде карьера К-4 (≈ 23,07 %) и карьера К-2 (≈ 18,9 %). Доля нейтрального карбонатного комплекса (ZnCO₃⁰) высока в воде карьера К-2 (≈ 47,21 %) и карьера К-4 (≈ 44,31 %). Доля анионного карбонатного комплекса (Zn(CO₃)₂⁻²) высока в воде оз. Медвежье (≈ 63,32 %) и карьера К-3 (≈ 53,71 %). Доля остальных форм цинка незначительна.

Свинец превалирует в воде всех опробованных водоемов в нейтральном карбонатном комплексе (PbCO_3^0). В воде карьеров **К-1**, **К-2**, **К-3** и **К-4** его доля составляет $\approx 91,65\%$, $92,63\%$, $83,71\%$ и $92,49\%$, соответственно. В воде карьера **К-3** и оз. Медвежье существенна и доля анионной карбонатной формы — $\text{Pb}(\text{CO}_3)_2^{2-}$ — соответственно, $15,17\%$ и $20,83\%$. Долевое распределение остальных химических форм свинца изменяется от $5,3$ до $0,01\%$.

Медь присутствует в воде преимущественно в двух химических формах — нейтральном гидроксидном комплексе ($\text{Cu}(\text{OH})_2^0$) и нейтральном карбонатном комплексе (CuCO_3^0). В воде карьера **К-1** эти комплексы имеют следующее долевое распределение: CuCO_3^0 — $62,58\%$ и $\text{Cu}(\text{OH})_2^0$ — $26,43\%$. Для воды карьера **К-2** их соотношение таково: $\text{Cu}(\text{OH})_2^0$ — $81,79\%$, CuCO_3^0 — $16,93\%$, для воды карьера **К-3**: $\text{Cu}(\text{OH})_2^0$ — $78,66\%$, CuCO_3^0 — $19,10\%$, для воды карьера **К-4**: $\text{Cu}(\text{OH})_2^0$ — $78,17\%$, CuCO_3^0 — $20,16\%$, для оз. Медвежье: $\text{Cu}(\text{OH})_2^0$ — $86,96\%$, CuCO_3^0 — $11,28\%$ и для фонового объекта оз. Карасево: $\text{Cu}(\text{OH})_2^0$ — $73,86\%$, CuCO_3^0 — $24,35\%$. Остальные формы меди имеют несущественный вклад в долевое распределение его химических форм и изменяются от $6,14\%$ до $0,02\%$.

Кадмий превалирует в водах исследованных водоемов в наиболее токсичной акватированной ионной форме ($\text{Cd}^{2+}_{\text{aq}}$). В воде карьера **К-1** Cd^{2+} — $83,24\%$, карьера **К-2** — $90,52\%$, карьера **К-3** — $78,86\%$, карьера **К-4** — $74,64\%$, оз. Медвежье — $77,57\%$, фонового объекта оз. Карасево — $91,10\%$. Процентное содержание остальных форм нахождения кадмия изменяется от $9,1\%$ до $0,02\%$.

Никель преобладает в воде опробованных карьеров в нейтральной карбонатной форме (NiCO_3^0). В воде карьера **К-1** доля NiCO_3^0 — $93,06\%$, карьера **К-2** — $94,95\%$, карьера **К-3** — $88,37\%$, карьера **К-4** — $94,71\%$, оз. Медвежье — $84,19\%$, фонового оз. Карасево — $94,99\%$. Остальные химические формы никеля варьируют в пределах от $15,49\%$ до $0,01\%$.

Мышьяк находится в воде исследованных водоемов в трех формах — AsO_4^{3-} , HAsO_4^{2-} и H_2AsO_4^- . Превалирующая форма — HAsO_4^{2-} , за исключением карьера **К-1**, где преобладает форма AsO_4^{3-} — $84,29\%$, а доля HAsO_4^{2-} значительно ниже — $15,70\%$. В воде карьера **К-2** доля HAsO_4^{2-} составляет $96,87\%$, содержание двух других форм незначительно (H_2AsO_4^- — $3,08\%$, AsO_4^{3-} — $0,05\%$). В остальных водоемах долевое участие формы HAsO_4^{2-} следующее: в воде карьера **К-3** — $98,04\%$, карьера **К-4** — $96,56\%$, оз. Медвежье — $98,73\%$ и фонового объекта оз. Карасево — $96,16\%$. Процентное содержание остальных форм мышьяка в воде изменяется в пределах от $3,8$ до $1,1\%$.

Марганец превалирует в двух формах — акватированной ($\text{Mn}^{2+}_{\text{aq}}$) и нейтральной карбонатной (MnCO_3^0). В воде карьера **К-1** наибольшую долю составляет Mn^{2+} — $63,07\%$, доля MnCO_3^0 значительно ниже — $16,22\%$. В воде карьера **К-2** эти две формы марганца в долевом отношении почти равноценны (Mn^{2+} — $45,75\%$ и MnCO_3^0 — $45,50\%$). В воде карьера карьера **К-3** преобладает MnCO_3^0 ($64,41\%$), доля акватированной ионной формы Mn^{2+} значительно ниже

($26,13\%$). В воде карьера **К-4** доля Mn^{2+} составляет $50,46\%$, а MnCO_3^0 — $38,59\%$. В воде оз. Медвежье преобладает нейтральная карбонатная форма — $73,64\%$, а доля Mn^{2+} значительно ниже — $20,25\%$, в фоновом оз. Карасево долевое соотношение двух этих форм почти одинаковое — MnCO_3^0 ($44,24\%$) и Mn^{2+} ($46,64\%$). Следует отметить, что в воде карьеров **К-1** и **К-2** весьма существенное положение занимает гидрокарбонатный комплекс MnHCO_3^+ , его доля составляет для первого водоема $19,14\%$, для второго — $22,75\%$. Процентное соотношение остальных комплексов марганца варьирует в пределах $8,5$ — $0,03\%$.

В целом, можно констатировать, что самой распространенной формой нахождения химических элементов в воде опробованных водоемов является наиболее биодоступная и токсичная акватированная ионная форма ($\text{Me}^{2+}_{\text{aq}}$). Высока и доля нейтральных карбонатных комплексов, являющихся также легкодоступными для биологических объектов. Следовательно, все исследованные металлы находятся в воде опробованных водоемов г. Новосибирска в подвижной форме и могут легко аккумулироваться биологическими объектами (планктон, бентос, водные растения, рыбы) и накапливаться в них.

Донные отложения и нитчатые зеленые водоросли

Получены данные по содержанию тяжелых металлов и металлоидов (As , Sb) в донных отложениях и сквозном индикаторном биообъекте *Cladophora glomerata* опробованных водных объектов и фоновом оз. Карасево (табл. 2), и проведен сравнительный анализ.

Карьер К-1. В неконсолидированном осадке (интегрированная взвесь в придонном слое воды), отобранном в центральной части водоема, выявлены повышенные по сравнению с осадком фонового водоема концентрации следующих металлов: Cu — 38 мг/кг сухой массы (фон — 12 мг/кг); Pb — 23 мг/кг (фон — 15 мг/кг); Cr — 38 мг/кг (фон — 16 мг/кг). Концентрации остальных исследованных химических элементов в неконсолидированном осадке находятся в пределах фоновых значений.

В нитчатых водорослях установлены повышенные относительно фона концентрации следующих химических элементов: Sb — $1,2$ мг/кг сухой массы (фон — $0,1$ мг/кг), Pb — $5,5$ мг/кг (фон — $1,1$ мг/кг), Cu — 11 мг/кг (фон — $2,9$ мг/кг), Cd — $0,11$ мг/кг (фон — $0,03$ мг/кг), остальные элементы находятся в пределах фоновых значений.

Карьер К-2. В неконсолидированном осадке центральной части карьера установлены повышенные относительно фоновых концентраций Sb , Pb , Cu , Ni , Cr . Так, содержание Sb в осадке карьера достигает $1,4$ мг/кг сухой массы (фон — $0,32$ мг/кг), Pb — 28 мг/кг (фон — 15 мг/кг), Cu — 42 мг/кг (фон — 12 мг/кг), Ni — 39 мг/кг (фон — 14 мг/кг), Cr — 66 мг/кг (фон — 16 мг/кг).

В нитчатых водорослях карьера содержание всех химических элементов находится на уровне или ниже фоновых значений для *S. glomerata* незагрязненного водоема оз. Карасево.

Элементный состав неконсолидированного донного осадка (НО) и нитчатых водорослей (В) водных объектов г. Новосибирска и фонового водоема (оз. Карасевое), мг/кг сухой массы

Элемент	К-1		К-2		К-3		К-4		оз. Медвежье		оз. Карасевое	
	НО	В	НО	В	НО	В	НО	В	НО	В	НО	В
Na	2500	10700	13000	1400	10000	3200	10000	3400	7200	1700	5000	3000
K	8000	12000	14000	12000	11000	8700	14000	12000	7200	15000	5700	11000
Ca	18000	79000	15000	11000	89000	170000	75000	18000	140000	11000	40000	170000
Mg	5000	8600	4500	4400	9200	7300	10000	4600	10000	8700	4100	23000
Al	3200	54000	46000	1200	45000	4000	61000	5100	30000	2500	23000	1200
Mn	440	900	400	2000	900	320	700	170	800	380	14000	18000
Fe	3600	24000	15000	1400	21000	3500	31000	3500	13000	1900	60000	2300
Cr	38	6,9	18	2,2	44	7,5	53	7,1	20	4,5	16	2,9
Ni	23	5,5	12	2	22	5,6	33	5,4	10	2,4	14	2,3
Co	7,5	1,7	4,8	0,7	7,1	1,4	10	1,4	4,5	0,52	17	6,6
Cu	38	11	7,3	2,6	28	7,7	44	8,1	10	3,4	12	2,9
Cd	0,3	0,11	0,05	0,03	0,3	0,1	0,36	0,07	0,04	0,07	0,27	0,03
Pb	23	5,5	7,8	0,6	37	7,3	38	7,3	8,6	12	15	1,1
Sb	1,1	1,2	0,4	0,06	1,5	0,01	1,3	0,1	1,3	3,8	0,32	0,1
Zn	9,6	8,1	2,3	1,2	8	6,7	9,9	5,5	1,8	1,7	4	6,3
As	2,6	7,5	10	3,4	3,2	11	8,5	7,5	6,5	11	5,3	5
Hg	0,04	0,044	0,07	0,015	0,03	0,022	0,05	0,046	0,04	0,018	0,035	0,04

Карьер К-3. Концентрации некоторых элементов в неконсолидированном осадке повышены относительно фоновых значений в осадке оз. Карасевое: Sb — 1,5 мг/кг по сравнению с фоном (0,32 мг/кг), Pb — 37 мг/кг (фон — 15 мг/кг), Cu — 28 мг/кг (фон — 12 мг/кг), Cr — 44 мг/кг (фон — 16 мг/кг). Остальные элементы находятся в пределах фоновых значений.

Нитчатые водоросли карьера накапливают некоторые элементы до значений, превышающих фоновые концентрации: Cr — 7,5 мг/кг сухой массы (фон — 2,9 мг/кг), Pb — 7,3 мг/кг (фон — 1,0 мг/кг), As — 11 мг/кг (фон — 5,0 мг/кг). Остальные элементы находятся в *S. glomerata* в пределах фоновых значений.

Карьер К-4. В неконсолидированном осадке выявлены повышенные относительно фона содержания следующих элементов: Sb — 1,3 мг/кг сухой массы по сравнению с фоном (0,32 мг/кг), Pb — 38 мг/кг (фон — 15 мг/кг), Cu — 44 мг/кг (фон — 12 мг/кг), Cr — 53 мг/кг (фон — 16 мг/кг) и Ni — 33 мг/кг (фон — 14 мг/кг). Концентрации остальных элементов находятся в пределах фоновых значений. В нитчатых водорослях карьера выявлено незначительное превышение над фоном концентраций Cr, Ni, Cu, Pb.

Оз. Медвежье. Концентрации всех исследованных элементов в неконсолидированном осадке водоема находятся на уровне фоновых (неконсолидированный осадок оз. Карасевое). Установлено, что нитчатые водоросли оз. Медвежье интенсивно накапливают такие элементы, как Pb (12 мг/кг) и As (11 мг/кг) по сравнению с нитчатыми водорослями фонового объекта — 1,1 и 5,0 мг/кг, соответственно. Содержание Pb в водорослях оз. Медвежье почти в 10 раз выше фона, а содержание As — в 5 раз. Остальные элементы в водорослях *S. glomerata* находятся в пределах фоновых значений.

Оценка степени загрязнения донных осадков и биообъектов по геохимическим критериям

Карьер К-1. Рассчитанные коэффициенты концентрации химических элементов (K_c) указывают на 3-кратное превышение содержание Cu в неконсолидированном осадке, почти 4-кратное в нитчатой водоросли *S. glomerata* по сравнению с фоном (рис. 3). Для Pb установлено превышение в 1,5 раза над фоном в неконсолидированном осадке, в нитчатой водоросли — в 5 раз. В *S. glomerata* выявлено 4-кратное превышение над фоном по Cd и 12-кратное по Sb.

Карьер К-2. Коэффициенты концентрации (K_c) указывают на 4-кратное превышение фоновых значений в неконсолидированном осадке содержания Cr и Sb, 3-кратное Al, почти 3-кратное Ni, 3,5-кратное Cu и 2-кратное Hg.

Карьер К-3. Коэффициенты концентрации (K_c) указывают на 7-кратное превышение Pb в водорослях и 3-кратное превышение в неконсолидированном осадке. Для Cd — на 3-кратное превышение содержания этого элемента в нитчатых водорослях.

Карьер К-4. Коэффициенты концентрации (K_c) указывают на 4-кратное превышение концентраций Al над фоновыми значениями в нитчатых водорослях и почти 3-кратное — в неконсолидированном осадке, 7-кратное превышение содержания Pb в водорослях и 3-кратное в неконсолидированном осадке, 2-кратное превышение Cd в водорослях и 4-кратное превышение Sb в неконсолидированном осадке.

Оз. Медвежье. Коэффициенты концентрации (K_c) указывают на почти 11-кратное превышение содержания Pb в нитчатых водорослях *S. glomerata*, 38- и 4-кратное превышение содержания Sb в водорослях и неконсолидированном донном осадке, соответственно.

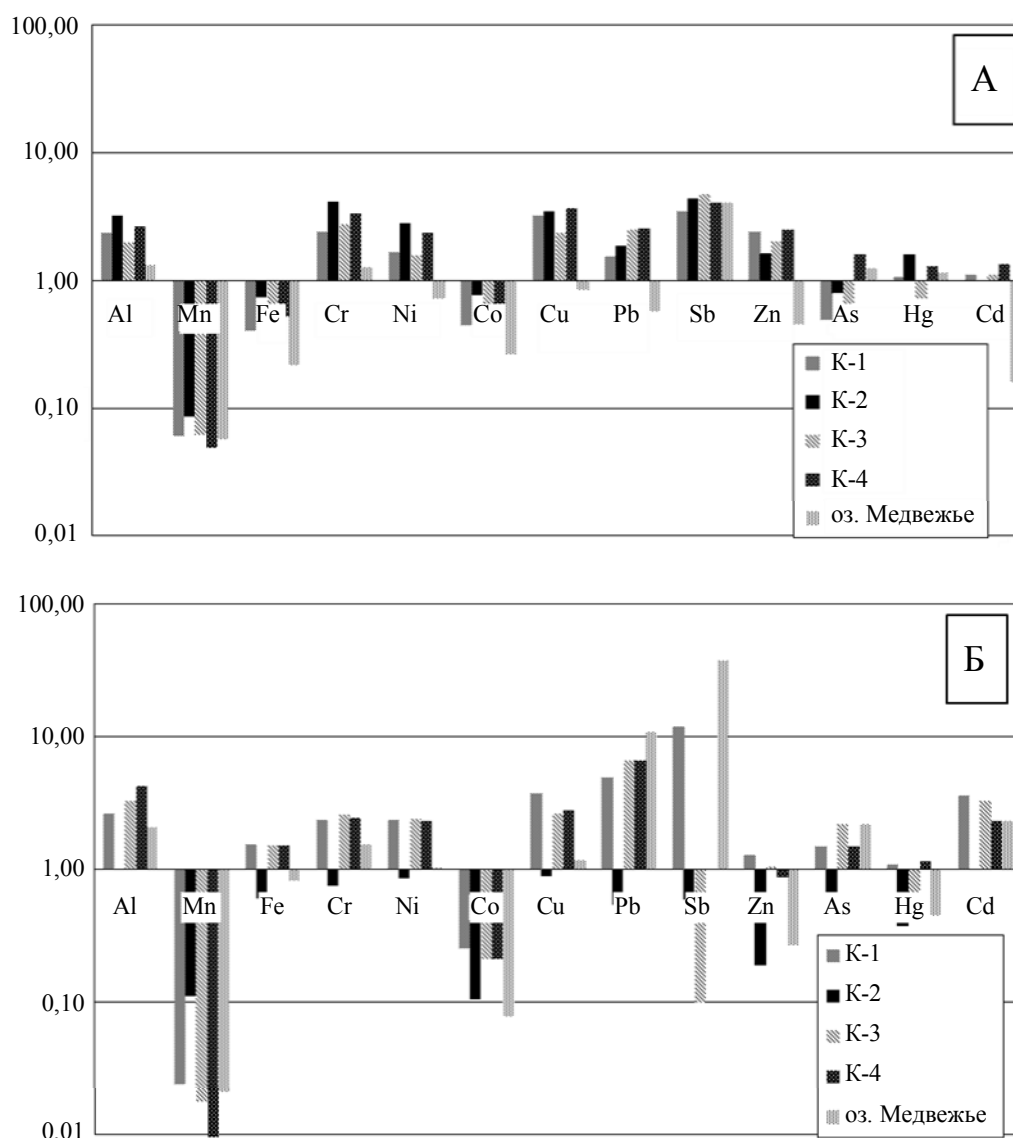


Рис. 3. Коэффициенты концентрации химических элементов (K_c):
 А — в донных осадка; Б — в нитчатых водорослях (*Cladophora glomerata*) водных объектов г. Новосибирска

В целом, сравнительный анализ значений коэффициентов концентрации химических элементов в донных осадках и сквозном индикаторном биообъекте (*C. glomerata*) опробованных водоемов показывает, что наиболее интенсивно накапливаются в них "летучие" халькофильные элементы (*Sb*, *Pb*, *Cd* и *Cu*).

Используя полученные коэффициенты концентрации (K_c), были построены упорядоченные по значениям K_c совокупности (ранжированные ряды) химических элементов в неконсолидированном осадке и нитчатых водорослях — геохимические ассоциации (ФГА).

Карьер К-1.

ФГА для неконсолидированного осадка:

$Sb_{3,44} > Cu_{3,17} > Zn_{2,4} > Cr_{2,38} > Al_{2,35} > Fe_{1,91} > Ni_{1,64} > Pb_{1,53}$.

Приоритетные элементы-загрязнители — **Sb** и **Cu**.

ФГА для нитчатой водоросли *C. glomerata*:

$Sb_{12} > Pb_5 > Cu_{3,79} > Al_{2,67} > Zn_{2,4} > Ni_{2,39} > Fe_{1,57} > As_{1,5}$.

Приоритетные элементы-загрязнители — **Sb**, **Pb** и **Cu**.

Карьер К-2.

ФГА для неконсолидированного осадка:

$Sb_{4,38} > Cr_{4,13} > Cu_{3,5} > Al_{3,22} > Ni_{2,79} > Pb_{1,87} > Zn_{1,63} > Hg_{1,60}$.

Приоритетный элемент-загрязнитель — **Sb**.

Для нитчатой водоросли K_c не указывают превышения концентраций всех химических элементов фоновых значений.

Карьер К-3.

ФГА для неконсолидированного осадка:

$Sb_{4,69} > Cr_{2,75} > Pb_{2,47} > Cu_{2,33} > Zn_{2,0} > Al_{1,96} > Ni_{1,57}$.

Приоритетный элемент-загрязнитель — **Sb**.

ФГА для нитчатой водоросли *C. glomerata*:

$Pb_{6,64} > Al_{3,33} > Cd_{3,33} > Cu_{2,66} > Cr_{2,59} > Ni_{2,43} > As_{2,20} > Fe_{1,52}$.

Приоритетные элементы-загрязнители — **Pb**, **Al** и **Cd**.

Карьер К-4.

ФГА для неконсолидированного осадка:

$Sb_{4,06} > Cu_{3,67} > Cr_{3,31} > Al_{2,65} > Pb_{2,53} > Zn_{2,48} > Ni_{2,36} > As_{1,6}$.

Приоритетные элементы-загрязнители — **Sb** и **Cu**.
ФГА для нитчатой водоросли *S. glomerata*:

$Pb_{6,64} > Al_{4,25} > Cu_{2,79} > Cr_{2,45} > Ni_{2,35} > Cd_{2,33} > Fe_{1,52} > As_{1,5}$.

Приоритетные элементы-загрязнители — **Pb** и **Al**.

Оз. Медвежье.

ФГА для неконсолидированного осадка:

Sb_{4,06}.

ФГА для нитчатой водоросли *S. glomerata*:

$Sb_{38} > Pb_{10,91} > Cd_{2,33} > As_{2,20}$.

Приоритетные элементы-загрязнители — **Sb** и **Pb**.

Используя полученные коэффициенты концентрации (K_c), были также рассчитаны значения суммарного показателя загрязнения донных отложений (Z_c) обводненных карьеров г. Новосибирска. Полученные значения (Z_c) ранжировали согласно классификации Е. А. Янина [10], что позволило отнести донные осадки опробованных водоемов к определенной категории по ориентировочной шкале оценки уровня техногенного загрязнения осадков и степени санитарно-токсикологической опасности.

Уровень техногенного загрязнения донных осадков карьера **К-2** ($Z_c = 14,47$) и карьера **К-4** ($Z_c = 14,44$) по значениям Z_c оценивается как **среднезагрязненный** согласно ориентировочной шкале ($10 \leq Z_c < 30$) по [10], осадков карьера **К-3** ($Z_c = 9,02$), карьера **К-1** ($Z_c = 8,46$) и оз. Медвежье ($Z_c = 0,25$) — как **слабозагрязненный** по ориентировочной шкале ($Z_c < 10$). Степень санитарно-токсикологической опасности в соответствии с рассчитанными значениями Z_c оценивается для донных осадков карьера **К-1**, карьера **К-3** и оз. Медвежье как "допустимая", для донных осадков карьера **К-4** — как "умеренная" согласно [10]. Следует отметить, что самый низкий уровень техногенного загрязнения и степени санитарно-токсикологической опасности донных осадков выявлен в оз. Медвежье, а самый высокий — донных осадков карьера **К-2** и карьера **К-4**.

Заключение

Проведенные эколого-геохимические исследования выявили разную степень антропогенной химической трансформации экосистем обводненных карьеров г. Новосибирска.

Поверхностные и придонные воды исследованных водоемов характеризуются как слабощелочные (7,36—8,57), пресные с малой минерализацией (148—449 мг/л), которая лежит в пределах значений, рекомендованных требованиями СанПиН 2.1.5.980-00 для водных объектов рекреационного водопользования. Биохимическое потребление кислорода (БПК₅) в воде опробованных объектов на момент отбора проб (июнь 2012 г.) изменялось в интервале значений (1,32—3,66 мгО₂/л) и не превышало нормативов состава вод СанПиН 2.1.5.980-00 (≤ 4 мгО₂/л). Значения ХПК (химическое потребление кислорода) в воде водоемов (2,8—24,7 мгО₂/л) также не превышали нормативов ≤ 30 мгО₂/л.

По химическому составу поверхностные и придонные воды опробованных водных объектов г. Новосибирска являются гидрокарбонатными кальциевыми (и/или магниевыми), за исключением карьера **К-4**, воды в котором гидрокарбонатно-хлоридные

кальциевые. Концентрации макрокомпонентов (катионы и анионы) находятся в пределах значений нормативов ПДК_р и ПДК_х для водных объектов хозяйственно-питьевого назначения.

Установлено превышение ПДК_р по некоторым микроэлементам в воде исследованных водоемов, по Mn — в 1,3—8,4 раза, самые высокие концентрации Mn в воде оз. Карасево (84 мг/л) — в 8,4 раза превышают ПДК_р (10 мкг/л). Установлено превышение Cu в воде карьеров в 1,7—4,1 раза с ПДК_р (1 мкг/л). По Hg в воде всех карьеров, за исключением карьера **К-3**, — в 4,1—13 раз в сравнении с ПДК_р (0,01 мкг/л).

Превалирующие химические формы потенциальных элементов-экоотоксикантов в воде опробованных водоемов г. Новосибирска преимущественно находятся в виде наиболее биодоступной и токсичной акватированной ионной формы Me^{2+}_{aq} (Cd, Zn, Mn). Высока доля биодоступных нейтральных карбонатных комплексов $MeCO_3^0$ (Pb, Zn, Cu, Ni, Mn), которые могут легко аккумулироваться биологическими объектами (планктон, бентос, водные растения, рыбы) и накапливаться в них. Рассчитанные коэффициенты концентрации химических элементов (K_c) как раз подтверждают, что в донных осадках и нитчатых водорослях наиболее интенсивно накапливаются (Pb, Cd, Cu и др.).

Приоритетными элементами-загрязнителями донных осадков всех опробованных водных объектов согласно построенным ранжированным рядам K_c (геохимические ассоциации — ФГА) установлены Sb, Pb и Cu, для нитчатых водорослей *Cladophora glomerata* — Sb, Pb, Cd и Cu.

Уровень техногенного загрязнения донных осадков карьера **К-2** ($Z_c = 14,47$) и карьера **К-4** ($Z_c = 14,44$) по значениям Z_c оценивается как **среднезагрязненный** согласно ориентировочной шкале ($10 \leq Z_c < 30$) по [10], осадков карьера **К-3** ($Z_c = 9,02$), карьера **К-1** ($Z_c = 8,46$) и оз. Медвежье ($Z_c = 0,25$) — как **слабозагрязненный** по шкале ($Z_c < 10$). Степень санитарно-токсикологической опасности в соответствии с рассчитанными значениями Z_c оценивается для донных осадков карьера **К-1**, карьера **К-3** и оз. Медвежье как "допустимая", для донных осадков карьера **К-4** — как "умеренная" согласно [10]. Таким образом, самый высокий уровень техногенного загрязнения и степени санитарно-токсикологической опасности донных осадков выявлен в карьерах **К-2** и **К-4**, а самый низкий — донных осадков оз. Медвежье.

Авторы признательны Г. Н. Кривопаловой,
Ж. О. Бадмаевой и Н. В. Андросовой
за участие в аналитических работах.

Работа выполнена при финансовой поддержке
муниципального гранта (№ 22-12) мэрии
города Новосибирска по проекту "Исследование
качественного и количественного состава
загрязняющих веществ в воде прудов
и обводненных карьеров города Новосибирска".

ЛИТЕРАТУРА

1. Вернадский В. И. История минералов земной коры. Книга 2. История природных вод. Избр. соч. Т. IV. — М.: Изд-во АН СССР, 1960. — 651 с.
2. Никаноров А. М., Жулидов А. В. Биомониторинг металлов в пресноводных экосистемах. — Л.: Гидрометеиздат, 1991. — 312 с.
3. Варшал Г. М., Велюханова Т. К., Кощеева И. Я., Буачидзе Н. С., Махарадзе Г. А. Изучение химических форм элементов в поверхностных водах // Журнал аналитической химии. 1983. Т. 38. С. 1590—1599.
4. Леонова Г. А., Богуш А. А., Бобров В. А., Булычева Т. М., Маликов Ю. И., Аношин Г. Н., Бадмаева Ж. О., Палесский С. В., Андронова Н. В., Трофимова Л. Б., Ильина В. Н. Химические формы тяжелых металлов в воде Новосибирского водохранилища: оценка их биодоступности и потенциальной экологической опасности для планктона // Химия в интересах устойчивого развития. 2006. Т. 14. № 5. С. 453—465.
5. Леонова Г. А., Богуш А. А., Бобров В. А., Бадмаева Ж. О. Химические формы тяжелых металлов в рапе соляного озера Большое Яровое, оценка их биодоступности и экологической опасности // Экология промышленного производства. 2006. № 2. С. 39—46.
6. Линник П. Н., Набиванец Б. И. Формы миграции металлов в пресных поверхностных водах. — Л.: Гидрометеиздат, 1986. — 270 с.
7. Саэт Ю. Е., Башаркевич И. Л., Смирнова Р. С., Фридман Г. А. Геохимическая оценка влияния отходов на окружающую среду городов // Геохимические методы мониторинга. — Минск: Наука и техника, 1980. С. 34—46.
8. Саэт Ю. Е., Янин Е. П. Геохимические закономерности образования антропогенных потоков рассеяния химических элементов в малых реках // Методы изучения техногенных геохимических аномалий. — М.: ИМГРЭ, 1984. С. 31—44.
9. Саэт Ю. Е., Ревич Б. А., Янин Е. П. Геохимия окружающей среды. — М.: Недра, 1990. — 335 с.
10. Янин Е. П. Техногенные геохимические ассоциации в донных отложениях малых рек (состав, особенности, методы изучения). — М.: ИМГРЭ, 2002. — 52 с.
11. Бобров В. А., Леонова Г. А., Маликов Ю. И. Геохимические особенности илистого осадка Новосибирского водохранилища // Водные ресурсы. 2009. Т. 36. № 5. С. 551—563.
12. Леонова Г. А., Бадмаева Ж. О., Ильина В. Н., Андронова Н. В. Биогеохимическая индикация антропогенной химической трансформации водных экосистем бассейна р. Обь // Эколого-биогеохимические исследования в бассейне Оби. — Томск: РАСКО, 2002. С. 136—156.
13. <http://www.globalnsk.ru/news/id/275>
14. СанПиН 2.1.5.980-00 "Гигиенические требования к охране поверхностных вод".
15. Нормативные данные по предельно допустимым уровням загрязнения вредными веществами объектов окружающей среды. — СПб.: НТЦ "АМЕКОС", 1993. — 233 с.
16. Приказ № 20 об утверждении нормативов качества воды водных объектов рыбохозяйственного значения, в том числе нормативов предельно допустимых концентраций вредных веществ в водах водных объектов рыбохозяйственного значения, федерального агентства по рыболовству, 18 января 2010 г. (http://www.innovbusiness.ru/pravo/DocumShow_DocumID_164888_DocumIsPrint_Page_1.html)
17. Методические указания по отбору, первичной обработке, хранению и анализу образцов при биогеохимических исследованиях морских экосистем (переходные и тяжелые металлы). — М.: ВНИРО, 1981. — 27 с.
18. Руководство по методам гидробиологического анализа поверхностных вод и донных отложений. — Л.: Гидрометеиздат, 1983. — 240 с.
19. Методика выполнения измерений массовой концентрации сульфат-ионов в пробах природных и сточных вод турбидиметрическим методом // ПНД Ф 14.1:2.159-2000. — М.: 2005. — 11 с.
20. Методика выполнения измерений массовой концентрации хлоридов в природных и очищенных сточных вод аргентометрическим методом // ПНД Ф 14.1:2.96-97. — М.: Ростов-на-Дону, 2004. — 19 с.
21. Методика выполнения измерений титриметрическим методом // РД 52.24.493-2006. — М.: Ростов-на-Дону, 2006. — 37 с.
22. Симонова В. И. Атомно-абсорбционные методы определения элементов в породах и минералах. — Новосибирск: Наука, 1986. — 212 с.
23. Арнаутон Н. В. Стандартные образцы химического состава природных минеральных веществ. — Новосибирск: Изд-во ин-та геологии и геофизики СО АН СССР, 1990. — 219 с.
24. Govindaraju K. Compilation of working values and description for 383 geostandards // Geostandards Newsletter, 1994. No. 18. P. 1—158.
25. Ball J. W., Nordstrom D. K. User's manual for WATERQ4F, with revised thermodynamic data base and rest cases for calculating speciation of major, trace, and redox elements in natural waters. — California: MenloPark, 1991. — 189 p.
26. Алексин О. А. Общая гидрохимия. — Л.: Гидрометеиздат, 1948. — 207 с.

Ecogeochemical assessment of anthropogenic pollution flooded open pits ecosystems in Novosibirsk

A. E. MALTSEV, G. A. LEONOVA, A. A. BOGUSH

Institute of Geology and Mineralogy of Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, Novosibirsk, Russia

T. M. BULYCHEVA

Federal Water Agency "VerhneObregionvodhoz", Novosibirsk, Russia

An ecological and geochemical investigation of the five water bodies in Novosibirsk was carried out. These objects were of interest as potential recreational areas. Assessment of heavy metal pollution of surface waters, sediments and indicator biological object (filamentous green algae) was conducted using the complex geochemical criteria. The most bioavailable forms of heavy metals (aqua-ions (Me^{2+}) and neutral carbonate complexes) in inorganic subsystem of surface waters were determined using the software package WATERQ4F. It was found that water bodies studied were contaminated by heavy metals in varying degrees.

Keywords: flooded open pits, water ecosystem, sediments, biological object, heavy metals, geochemical criteria for assessing pollution, element speciations.

Bibliography — 26 references.

Received December 23, 2013

* * *