

БИОМОНИТОРИНГОВЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ В РАЙОНЕ РАСПОЛОЖЕНИЯ ОБЪЕКТА «ЩУЧЬЕ» ПО УНИЧТОЖЕНИЮ ХИМИЧЕСКОГО ОРУЖИЯ

Д.Д. Алексеус^{1*}, О.М. Плотникова^{1,2}, О.В. Козлов²,
С.Ю. Максимовских¹

¹ Региональный Центр по обеспечению государственного экологического контроля и мониторинга объектов по хранению и уничтожению химического оружия (РЦ ГЭКиМ) по Курганской области и

² Курганский государственный университет, г. Курган, Россия

* Эл. почта: alexeyusd@mail.ru

Статья поступила в редакцию 09.01.2014; принята к печати 26.02.2014

Представлены результаты обследования природного комплекса зоны защитных мероприятий (ЗЗМ) объекта «Щучье» (Щучанский район Курганской области) по хранению и уничтожению химического оружия. Дана общая характеристика территории ЗЗМ. Мониторинг ЗЗМ проводился в 2009–2013 гг. методами лесопатологических исследований, лишеноиндикации, а также по показателям состояния зообентоса озер. Лесопатологические исследования показали, что лесные массивы в ЗЗМ не испытывают дополнительной негативной нагрузки, сверх действия факторов антропогенного (низовые пожары) и природного (вымывание за счет переувлажнения почвы) характера, и являются в целом стабильными системами. Исследования лишенофлоры показали, что в ЗЗМ преобладают листоватые и кустистые лишайники, принадлежащие к эпифитам, эпиксилам и эпигедам. Негативное влияние объекта «Щучье» на их состояние не отмечено. Содержание пролина как показателя стресса в индикаторной группе эпифитов вблизи завода по уничтожению и арсенала хранения химического оружия – низкое. В рамках гидробиологического мониторинга исследованы три озера ЗЗМ, которые по индексам сапробности отнесены к β-мезосапробным водоемам с умеренной степенью органического загрязнения. Изменения, происходившие на протяжении периода исследований в зоопланктонных сообществах этих экосистем, обусловлены протеканием естественных сукцессионных процессов, не связанных с антропогенным воздействием. В целом проведенные исследования не выявили негативного влияния объекта «Щучье» на состояние природной среды ЗЗМ.

Ключевые слова: биомониторинг, зообентос, лишайники, патология леса, уничтожение химического оружия.

BIOLOGICAL MONITORING OF THE PROTECTED AREA OF “SCHUCH’YE” FACILITY FOR DESTRUCTION OF CHEMICAL WEAPONS

D.D. Alekseyus^{1*}, O.M. Plotnikova^{1,2}, O.V. Kozlov², S. Yu. Maksimovskikh¹

¹ Kurgan Regional Center for Provision of State Environmental Control and Monitoring of Facilities for Destruction of Chemical Weapons and ² Kurgan University, Kurgan, Russia

* E-mail: alexeyusd@mail.ru

The results of biological monitoring of the protected area of the facility for destruction of chemical weapons (PAFDCW) located in Schuchanskiy District of Kurganskaya Oblast are reviewed. The general environmental characteristic of the area is presented. Monitoring of the area carried out in 2009–2013 included studies related to forest pathology, lichen indication, and studies of lacustrine benthos conditions. Forest pathology studies suggest that forests within PAFDCF do not suffer from additional adverse influences beyond known factors of anthropogenic (creeping fires) and natural (soaking caused by soil overwetting) origins and that their condition is stable. Lichen flora is dominated by foliose and fruticose forms of epiphytic, epixylic and soil species. No negative effects on their conditions are found. The content of proline as an indicator of stress is low in epiphytes found at sites near the facility. Three lakes examined within PAFDCW are referred to β-mesosaprobic basins moderately polluted with organic matter. Changes in the zooplanktonic communities of these systems are attributed to natural succession processes unrelated to anthropogenic effects. On the whole, no negative effects attributable to the facility for destruction of chemical weapons were found within its protected area.

Keywords: biological monitoring, forest pathology, zooplankton, lichen indication, destruction of chemical weapons

ВВЕДЕНИЕ

В Российской Федерации в марте 1996 г. была принята Федеральная целевая программа «Уничтожение запасов химического оружия в Российской Федерации», а в мае 1997 г. вступил в силу Федеральный закон «Об уничтожении химического оружия». Эти документы стали основой для выполнения «Конвенции о запрещении разработки, производства, накопления и применения химического оружия и его уничтожении», которая была открыта для подписания в Па-

риже в январе 1993 г. и вступила в силу 29 апреля 1997 г., когда была ратифицирована большинством ее стран-участников. Россия ратифицировала Конвенцию 5 ноября 1997 г. После ратификации конвенции Россия объявила о наличии 24 бывших объектов по производству химического оружия (ХО) и около 40 тысяч тонн общих запасов отравляющих веществ [20, 21]. К 2010 г. из бывших объектов по производству ХО восемь уничтожены полностью и 15 пере- профилированы на производство мирной продукции,

что подтверждено сертификатами организации по заприятию химического оружия (ОЗХО). На конец октября 2013 г. в России уничтожено около 31 тыс. т ОВ, что составляет около 77%.

В 1987 г. в России было полностью прекращено промышленное производство ХО, основными отравляющими веществами (ОВ) которого являлись фосген общеудушающего действия, иприт и люизит кожнонарывного действия и фосфорорганические ОВ зарин, зоман и вещество типа ви-икс нервнопаралитического действия. Все запасы химического оружия в России к этому времени были сосредоточены на семи арсеналах хранения – в Брянской (г. Почеп), Саратовской (г. Горный), Пензенской (пос. Леонидовка), Кировской (пос. Марадьковский), Курганской (пос. Плановый) областях и в Удмуртии (пос. Камбарка и Кизнер).

Особенностью арсенала в пос. Плановый Щучанского района, который был создан на базе передислоцированного в сентябре 1941 г. военного склада из г. Кунгура Пермской области и переименован в 1947 г. в центральную артиллерийскую базу боеприпасов, является хранение химических боеприпасов ракетных войск и артиллерии. С 1987 г. этот объект известен как арсенал хранения химического оружия в г. Щучье (объект «Щучье»). Техническая территория хранения ХО занимает площадь 253 га, на которой запасы химических оружия до недавнего времени составляли около 5,5 тыс. т фосфорорганических ОВ с общей формулой $\text{ROCH}_2\text{P}(\text{O})\text{X}$ – фосген, зарин, зоман и вещество типа ви-икс. Фосген в 2001 г. был перетарен из снарядов в металлические бочки и вывезен из Щучанского района. На заводе по уничтожению ХО, который начал свою работу в мае 2009 г., к июлю 2012 г. уничтожено около 3 тыс. т зарина (изопропилметилфторфосфоната), а к концу 2013 г. – около 1,8 тыс. т зомана (пинаколилметилфторфосфоната). Уничтожение оставшихся запасов ОВ – это 0,7 тыс. т вещества типа ви-икс (VX, О-изобутил-S-2-(N,N-диэтиламино)этилтиолметилфосфоната) начинается с 2014 г.

Для объекта «Щучье» (арсенала хранения и завода по уничтожению ХО) утверждена единая зона защитных мероприятий (ЗЗМ) площадью 750 кв. км. Такой размер ЗЗМ обусловлен тем, что арсенал хранения и завод по уничтожению химического оружия расположены на расстоянии 12 км друг от друга и соединены железнодорожным путем. В ЗЗМ объекта в 20 населенных пунктов (г. Щучье, п. Плановый, села Чумляк, Пуктыш, Нифанка и др.) проживает около 16 тыс. жителей. Здесь находятся железнодорожная и автомобильная магистрали Челябинск–Курган, водная система реки Миасс с притоками рек Чумляк и Чумлячка, озера Пуктыш, Панькино, Наумовское, Песчаное, Фролиха, Нифановское, множество болот, а также Чумлякское месторождение подземных вод.

На состояние природной среды в ЗЗМ в настоящее время оказывают влияние: сельское хозяйство (основной фактор воздействия на ландшафты); Челябинский промышленный узел (объем выбросов загрязняющих веществ в атмосферный воздух в 2,5 раза превышает совокупный объем выбросов Курганской области, а сброс загрязненных сточных вод из Челябинской области по реке Миасс приводит к тому, что на входе в Курганскую область вода реки Миасс содержит нефтепродуктов, фосфатов, меди, железа от 5

до 10 ПДК); производственное объединение «Маяк», расположенное в 100–120 км от объекта по уничтожению ХО и имеющее большой объем хранящихся радиоактивных отходов; промышленные предприятия, транспорт и коммунальное хозяйство Щучанского района (хотя доля их влияния на природные системы в общем объеме невелика и воздействие имеет локальный характер); преобладающий западный перенос воздушных масс; застойный режим увлажнения части территории, повышенные концентрации радона. Таким образом, природная среда в Щучанском районе находится под многофакторным техногенным воздействием, к которому добавляется воздействие объекта по уничтожению ХО.

Начиная с 2004 г. в ЗЗМ объекта «Щучье» были начаты регулярные фоновые наблюдения за качеством природной среды (воздуха, воды, почвы, снега), а с 2008 г. – за состоянием растительного и животного мира. С началом работы объекта «Щучье» с мая 2009 г. проводится регулярный государственный экологический контроль и мониторинг окружающей среды в ЗЗМ объекта, в том числе биологический мониторинг.

Возможное влияние объекта по уничтожению ХО на окружающую среду оценивается, прежде всего, по концентрации общепромышленных и специфических загрязняющих веществ в компонентах природной среды ЗЗМ – атмосферном воздухе, почве, поверхностной природной воде и донных отложениях рек и озер, а также в промышленных выбросах и сбросах сточных вод. Для контроля общепромышленных загрязняющих веществ в настоящее время разработаны все методики измерений и установлены соответствующие нормативы в виде предельно-допустимых или ориентировочно-допустимых концентраций (ПДК, ОДК), ориентировочно-безопасные уровни воздействия, предельно-допустимые выбросы и нормативы допустимых сбросов.

Однако не менее важным является оценка потенциального специфического химического воздействия, связанного с возможной миграцией продуктов детоксикации и деструкции фосфорорганических ОВ в атмосферу, поверхностные и грунтовые воды, почву, донные отложения, из которых они могут поступать по пищевым цепям в биологические объекты растительного и животного происхождения. Кроме того, при попадании в природную среду фосфорорганических ОВ, продуктов их деструкции и компонентов дегазирующих смесей возможна их биодеградация, а также трансформация в другие вещества при химическом взаимодействии с соединениями, находящимися в природных средах, которые являются активными биореакторами. Так, в состав воздуха входят такие сильные природные окислители, как кислород и озон, а благодаря промышленности и автотранспорту в воздухе присутствуют оксиды углерода, азота, серы, серная кислота, углеводороды, ацетон, сложные эфиры, бензпирены, диоксины и другие вещества. Природная вода – хороший растворитель для протекания химических реакций и среда обитания микроорганизмов. Почва – наиболее сложная природная среда, состоящая из воды, почвенного воздуха, почвенных организмов, минеральных и органических веществ, в том числе гуминовых кислот и белков, ферментов, углеводов, липидов, лигнина, органических кислот – содержит, таким образом, практически все реакци-

онно-способные функциональные центры (амино-, меркапто-, гидроксид-, карбонильные, карбоксильные) для химических превращений.

Возможные пути и продукты спонтанной трансформации фосфорорганических ОБ и веществ их промышленного гидролиза в природных средах определяются, прежде всего, строением и реакционной способностью этих соединений. Технологические стадии обезвреживания фосфорорганических ОБ предполагают, что основными процессами, определяющими образование продуктов деструкции при уничтожении ХО, является взаимодействие зарина и зомана с водным раствором моноэтаноламина, взаимодействие VX с активными компонентами рецептуры РД-4М, в состав которой входят изобутилат и гидроксид калия, изобутанол, N-метилпирролидон и ε-капролактан, взаимодействие с водными растворами щелочей остаточных количеств ФОВ и их пиролиз (термодеструкция) [2, 16, 18]. Вещества дегазирующих смесей и продукты их деструкции, поступающая в природную среду, в силу своей реакционной способности могут сами оказывать на нее воздействие, реагируя с природными веществами и участвуя в процессах метаболизма, давая новые химические соединения.

При большом количестве химических соединений, образующихся как продукты детоксикации и деструкции фосфорорганических отравляющих веществ и веществ дегазирующих составов, при недостаточной изученности всего спектра продуктов трансформации фосфорорганических ОБ и методического и приборного обеспечения, а также из-за сложности и высокой стоимости анализов весьма затруднительно организовать эффективный экологический мониторинг только средствами аналитической химии, особенно при низких концентрациях загрязняющих веществ в условиях штатного режима эксплуатации объекта. Химико-аналитический контроль не учитывает и комбинированный характер действия загрязнителей, когда влияние каждого из них может дополнять, усиливать или подавлять друг друга. Существенным недостатком данных методов является и отсутствие достаточной информации о влиянии поллютантов на биологические объекты.

В настоящее время основными маркерами при контроле содержания фосфорорганических ОБ в природных средах считаются достаточно устойчивые к разложению метилфосфоновая кислота (МФК) и ее кислые эфиры, которые в силу своего строения могут быть посредниками свободно-радикальных процессов и таким образом влиять на антиоксидантные системы живых организмов [14].

Все это указывает на важность биологического мониторинга растительного и животного мира – системы наблюдений, оценки и прогноза изменений в биотических компонентах природного комплекса, вызванных факторами антропогенного происхождения. Важнейшей задачей является оценка эффектов загрязнения в биологических объектах на самой их ранней стадии, когда они еще не приняли необратимого характера.

Для достижения максимальной информативности биологического мониторинга при обеспечении оперативности и экономичности сбора материала требуется отбор наиболее показательных видов. В качестве индикаторных могут выступать сообщества микро-

водорослей, зоопланктона, почвенная микро- и мезофауна, мелкие млекопитающие с высокой численностью, не склонные к миграции, а также рептилии, амфибии, озерные рыбы, являющиеся типичными представителями лесных и луговых биоценозов.

БИОМОНИТОРИНГ ЗЗМ ОБЪЕКТА «ЩУЧЬЕ»

Биологический мониторинг проводился сотрудниками аккредитованных лабораторий биомониторинга и экотоксикологии Регионального центра государственного экологического контроля и мониторинга объектов по хранению и уничтожению химического оружия (РЦ ГЭКиМ) по Курганской области, которые имеют аттестаты аккредитации № РОСС RU.0001.515937 от 24.09.2009 г. и № РОСС RU.0001.517720 от 28.01.2010 г., а также достаточное количество аттестованных методик для производства работ методами биоиндикации и биотестирования.

Проведению биологического мониторинга и выбору объектов биомониторинга в ЗЗМ объекта по уничтожению химического оружия в Щучанском районе предшествовало обследование природного комплекса этого района.

1. Результаты обследования природного комплекса ЗЗМ объекта «Щучье» и обоснование объектов биомониторинга

В 2002–2008 гг. в целях изучения разнообразия флоры и фауны было проведено сплошное детальное обследование территории ЗЗМ.

Исследуемая территория расположена в юго-западной части Западно-Сибирской низменности и в геологическом отношении относится к периферической части эпигерцинской Западно-Сибирской плиты с двумя геоструктурными этажами, мезо-кайнозойский осадочный чехол покоится на палеозойском складчатом основании с глубиной залегания в пределах 50–100 м [8].

Рельеф района исследований равнинный с общим слабым уклоном с юга на север. Абсолютные высоты водоразделов незначительны и изменяются в пределах 180–230 м над уровнем моря. Перепад высот от водоразделов к руслу Миасса составляет 75–80 м.

К характерным особенностям исследуемой территории относятся слабый дренаж участка Исеть-Миасского и Миасс-Уйского водоразделов и близкое к поверхности горизонтальное залегание водоупорных глин, что определяет близость грунтовых вод. Этим объясняется расположение на этой территории множества блюдцевидных западин глубиной до 2–3 м и диаметром от 10–50 м до 1–3 км, которые сформировались при просадке грунта в результате выщелачивания из него солей или в результате механического действия вод, когда-то покрывавших зауральские степи. Блюдцевидные западины заняты пресными и солеными озерами, низинными болотами, ивняками, мелколиственными колками. Наибольшие по площади озера в ЗЗМ – Песчаное, Зайково, Пуктыш, Намумовское, Никитино, Нифановское и Щучье. Вытянутые котловинообразные поймы мелких притоков Миасса (реки Чумляк и Чумлячка) практически не оказывают влияния на дренаж территории.

Особенности рельефа и гидрологической сети в ЗЗМ объекта обуславливают разнообразие почв и растительности.

Почвенный покров отличается пестротой и мозаичностью: смена почв определяется микро- и мезорельефом, составом почвообразующих пород и в сильной степени зависит от колебаний уровня и химизма грунтовых вод. По механическому составу почвы района преимущественно тяжелосуглинистые и глинистые – около 66%; на среднесуглинистые приходится около 30% и на легкосуглинистые и супесчаные почвы – примерно 4% [7]. Территориальное распределение почвенного покрова определяется рельефом местности: на возвышенностях – преимущественно черноземные почвы, занимающие до 30% площади района; на пониженных расчлененных участках и склонах – солонцеватые почвенные разности. Наиболее распространенными почвообразующими породами в районе являются делювиальные отложения, на которых сформировались обыкновенные, выщелоченные, осолоделые и солонцеватые черноземы. Засоленность пород различна – от слабо до сильно засоленных. На них формируются солончаки, лугово-солончаковые почвы, частично солонцы. Солончаки, которые засолены по всему профилю, составляют 1% территории и занимают берега соленых озер и пересыхающие ложинообразные понижения. На легких по механическому составу породах формируются серые лесные почвы, к которым приурочены березовые колки. В пойме Миасса распространены аллювиальные почвы, которые заняты лугами, пойменными ивняками, пойменными низинными болотами. Значительные площади аллювиальных почв распаханы. Щучанский район относится к территориям интенсивного земледелия, земельные угодья сельскохозяйственного назначения составляют около 62%. В целом для почв Щучанского района в настоящее время характерно пониженное содержание гумуса и азота, достаточное – калия, среднее – фосфора и повсеместное повышенное содержание соединений меди и марганца.

Зональный тип растительности – луговые степи и степные луга, перемежающиеся с березовыми и березово-осиновыми лесами, низинными болотами на месте заросших пресных озер и солонцовыми лугами [17]. На территории ЗЗМ объекта по уничтожению ХО нередко отмечается характерное для Зауралья явление периодической гибели западных березовых колков в результате переувлажнения. Среди основных причин – близкое к поверхности почти горизонтальное залегание водоупорных слоев, равнинность и слабая дренажность территории в сочетании с периодическим увеличением количества осадков и понижением температур вегетационного периода в отдельные годы.

Разнообразие природных условий Щучанского района определило широкий набор жизненных форм растений, включающий древесные, полудревесные и травянистые типы семенных растений, травянисто- и кустарничковидные типы высших споровых. В границах ЗЗМ объекта по уничтожению ХО произрастает 623 вида сосудистых растений из 744 видов из списка флоры Щучанского района [11]. В числе дикорастущих аборигенные таксоны (591 вид) и адвентивные, появившиеся на данной территории благодаря непреднамеренному заносу (ксерофиты). В пределах ЗЗМ объекта произрастают 16 видов растений из Красной книги Курганской области [9].

Лесопокрываемая площадь составляет 19%, что несколько ниже среднего показателя степени лесисто-

сти Зауральской лесостепи. Древесная растительность Щучанского района представлена 12 видами деревьев, 25 видами кустарников и 11 видами кустарничков. На водоразделах широко представлены березовые, березово-осиновые и осиновые леса. Хвойно-лесная группа в ЗЗМ объекта малочисленна (4 вида) ввиду отсутствия естественной боровой растительности на этом участке. Подлесок развит неравномерно, от довольно густого до одиночных кустарников. Константные виды подлеска: вишня, малина, лесные виды ив, кизильник черноплодный, ракатник русский, шиповники майский, иглистый и гололистный, смородина щетинистая. На осветленных местах нередко встречаются заросли степных кустарников: таволга городчатая, ракатник.

Лугово-степные безлесные участки района исследований поражают пестротой типов местообитаний. Луговые, степные и галофитные сообщества ЗЗМ объекта по уничтожению химического оружия представлены 322 видами, что составляет около 50% флористического списка. На пологих участках пойм Миасса и Чумляка широко представлены мезофитно-луговые сообщества с участием мезофитных трав. Пойменные луга высокого уровня отличаются остепнением.

Огромное количество мелководных озер обуславливают развитие пестрой картины прибрежной, водной и болотной растительности района. Растительность водоемов включает не менее 84 прибрежно-болотных и 32 водных видов: земноводных, полностью погруженных, плавающих на поверхности или имеющих плавающие листья. Это число дополняют группы лугово-болотных и болотно-лесных видов, способных выдерживать длительное затопление. Соленые озера лишены высшей водной растительности, их берега заняты солончаковыми комплексами и зарослями тростника.

Наибольшие по площади болотные массивы представлены низинными осоковыми, осоково-разнотравными болотами – тростниковыми, тростниково-осоковыми и манниковыми. Низинные болота – типичные для южной части Западно-Сибирской равнины – играют важную роль в поддержании уровня и степени минерализации грунтовых вод. Высокотравные болота образуют комплексы с преобладанием осоковых и осоково-разнотравных ассоциаций. Сфагновые болота незначительны по площади и приурочены исключительно к северной части района.

Таким образом, разнообразие природных условий в районе объекта по уничтожению химического оружия в Щучанском районе предопределило разработку базовых стационарных площадок (СП) для проведения биомониторинга.

Для химико-аналитических исследований в ЗЗМ для объекта по уничтожению ХО «Щучье» определено 158 точек пробоотбора, которые имеют географическую привязку и отмечены на местности реперами. Изначально при построении системы пробоотбора за основу было принято радиальное расположение точек пробоотбора, выведенное на основании математических расчетов и учитывающее вероятность распределения концентраций загрязняющих веществ относительно источников загрязнения – арсенала хранения и завода (промзоны) уничтожения ХО.

Из точек пробоотбора для химико-аналитических исследований для каждого вида биологического мо-

иторинга с учетом специфики наблюдений было определено по несколько СП. В связи с тем, что для ЗЗМ особенно характерно наличие березовых колок, в том числе с лишайниками, посевов злаковых культур, мелких грызунов, а также множественных озер,

биологический мониторинг проводили методами лесопатологии на 6 СП (№ 33, 35, 40, 56, 89, 34), лишайноиндикации на 6 СП (№ 33, 35, 40, 56, 89, 98), по показателям и зообентоса озер на 3 СП (№ 46, 70, 123) (табл. 1, рис. 1).

Табл. 1

Расположение стационарных площадок биологического мониторинга в ЗЗМ объекта по уничтожению химического оружия в Щучанском районе Курганской области

Расположение СП относительно источника	Номера СП в системе пробоотбора
Второй радиус от промзоны объекта – 2,3 км	26, 28, 33, 34, 35, 40
Третий радиус от промзоны объекта – 4,2 км	41
Пятый радиус от промзоны – 7,6 км	70 (оз. Панькино)
Четвертый радиус от промзоны – 5,9 км и пятый радиус от арсенала – 8,3 км	56
Третий радиус от промзоны объекта – 4,2 км и шестой радиус от арсенала – 9,9 км	46 (оз. Наумовское)
Первый радиус от арсенала – 2,0 км	89, 98
Третий радиус от арсенала – 6,7 км	123 (оз. Фролиха)

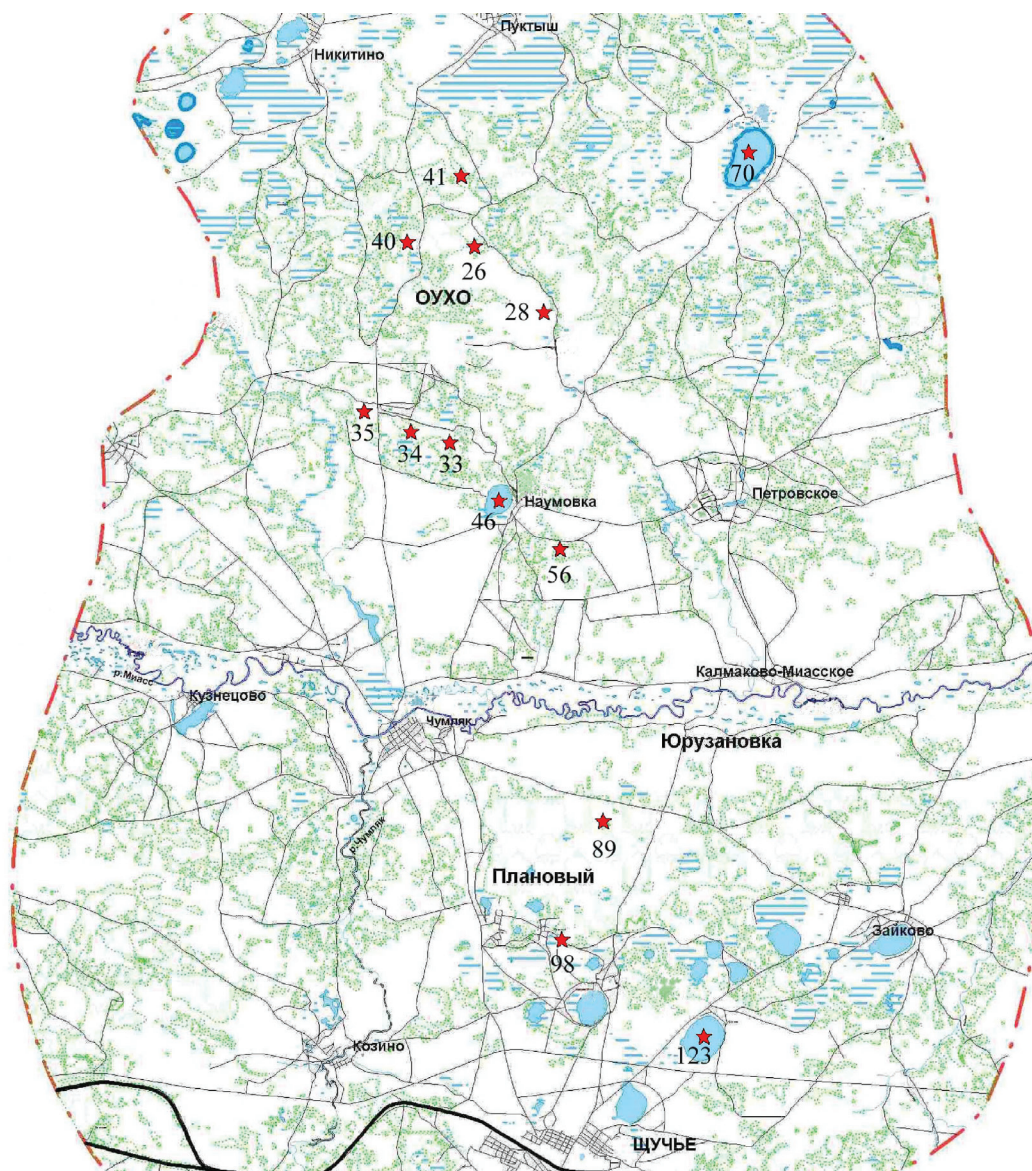


Рис. 1. Схема расположения постоянных стационарных площадок в ЗЗМ объекта по уничтожению химического оружия в Щучанском районе Курганской области

2. Результаты лесопатологического мониторинга в ЗЗМ объекта «Щучье»

Лесопатологическое состояние насаждений – характеристика насаждений по комплексу признаков, в том числе по соотношению деревьев разных категорий состояния, доле сухостоя и валежника, поврежденности насаждений вредителями, болезнями и другими неблагоприятными факторами среды природного и антропогенного характера. Лесопатологический мониторинг на территории ЗЗМ объекта «Щучье» проводился в соответствии со статьей 56 Лесного кодекса Российской Федерации и приказа МПР РФ «Об утверждении порядка организации и осуществления лесопатологического мониторинга» (№ 174 от 09.07.2007 г.).

При лесопатологическом обследовании проводили визуальную оценку состояния – натурную лесопатологическую таксацию жизнеспособности деревьев по кроне (основной признак), а также по дополнительным признакам – повреждения коры, корневых лап, наличие стволовых вредителей и грибных болезней. Дополнительно обследовали насаждения на наличие в них очагов насекомых-вредителей. Лесопатологическое обследование лесов в ЗЗМ объекта по уничтожению химического оружия в Щучанском районе проведено в 2009 и 2012 гг. (один раз в три года), следующее обследование лесов ЗЗМ планируется в 2015 г.

В целом лесопатологическое состояние древостоя на биоиндикационных СП по результатам обследования признано удовлетворительным по мягколиственному и хорошему по хвойному хозяйству. Для лесов Курганской области характерны две главные причины ослабления древостоя: вымокание – переувлажнение почвы под воздействием почвенно-климатических факторов – естественный фактор, характерный для лиственных лесов, и низовые пожары разной степени интенсивности антропогенного характера.

В лесах ЗЗМ низовые пожары 2009 г. привели к обгоранию корней и коры деревьев и выгоранию лесной подстилки (кроме СП-33, СП-56 и СП-89), что вызвало значительное ослабление деревьев и снижение качества кроны. Однако в 2012 г. на СП пожаров не происходило, что в целом способствовало восстановлению лесов ЗЗМ. Обнаружен единичный ветровал и бурелом деревьев (кроме СП-89). Так как 2009–2012 гг. характеризовались небольшим количеством осадков в осенне-зимнее время и недостаточным увлажнением в вегетационный период, это благоприятно сказалось на гидрологическом режиме

в лесных массивах. В 2012 г. в момент обследования лесов очагов насекомых-вредителей не выявлено, что подтверждалось отсутствием дефолиации. Из насекомых-вредителей единично встретился непарный шелкопряд и большой березовый пилильщик. Для березы характерно поражение ложным трутовиком; для осины – сердцевинной гнилью; сухостойные деревья заселены и отработаны стволовыми вредителями (лубоеды, усачи, златки).

По интегрально-балльной оценке состояния деревьев по комплексу визуальных признаков (густоте и цвету кроны, наличию и доле усохших ветвей, состоянию коры и др.), согласно «Методическим рекомендациям по государственной инвентаризации лесов» (приказ Рослесхоза № 472 от 10.11.2011 г. в ред. 2013 г.), выделяют 6 основных категорий: 1 – без признаков ослабления, 2 – ослабленные, 3 – сильно ослабленные, 4 – усыхающие, 5 – сухостой текущего года, 6 – сухостой прошлых лет. Рассчитанная средняя категория состояния деревьев в 2009 и 2012 гг. на всех биоиндикационных стационарных площадках ЗЗМ сопоставима и находилась в пределах методики проведения натурной лесопатологической таксации (табл. 2). Это указывает, что в целом насаждения находились в хорошем и удовлетворительном состоянии.

Таким образом, можно утверждать, что лесные массивы в ЗЗМ объекта «Щучье» не испытывают дополнительной негативной нагрузки, помимо установленных факторов ослабления, и являются в целом стабильными системами. В сравнении с предпусковым периодом объекта (2009 г.), когда впервые на биоиндикационных СП был проведен лесопатологический мониторинг, состояние лесов ЗЗМ в 2012 г. не ухудшилось.

3. Результаты исследований качества атмосферного воздуха методом лишеноиндикации в ЗЗМ объекта «Щучье»

Лишайники как широко распространенные организмы с высокой устойчивостью к изменениям климатических факторов и чувствительностью к загрязнителям окружающей среды используются для мониторинга качества атмосферного воздуха. Кроме того, будучи многолетними медленно растущими организмами, лишайники долго сохраняют однообразное строение, их части не подвергаются сезонной смене, поэтому лишайники являются интегральным индикатором состояния среды.

Из всех экологических групп лишайников наиболее чувствительны к загрязнителям растущие на

Табл. 2

Динамика изменения средней категории состояния деревьев в ЗЗМ объекта по уничтожению химического оружия в Щучанском районе в 2009 и 2012 гг.

№ СП	Главная порода	Средняя категория состояния деревьев в 2009 г., единиц	Средняя категория состояния деревьев в 2012 г., единиц	Изменение, единиц
33	Сосна	1,76	1,72	0,04
34	Береза	1,81	1,73	0,08
35	Береза	2,04	2,21	–0,17
40	Береза	2,49	2,52	–0,03
56	Береза	1,76	1,74	0,02
89	Береза	1,78	1,64	0,14
Средняя на всех СП:		1,94	1,93	0,01

коре деревьев эпифиты. Они реагируют на загрязняющие вещества, входящие в состав выбросов большинства промышленных производств. При повышении степени загрязнения воздуха первыми исчезают кустистые, затем листоватые и последними накипные (корковые) формы лишайников [5, 15].

Определение экологических рядов выносливости (полеотолерантности) лишайников основано на регистрации видового состава с удалением от источника загрязнения. Разработаны методы лишеноиндикационного картирования загрязнённости атмосферного воздуха на основе изучения лишайниковых группировок и вычисления индексов, отражающих влияние загрязнения воздуха на лишайники.

Характеристикой степени загрязнения атмосферы служат процент деревьев, покрытых лишайниками, степень проективного покрытия и изменение числа индикаторных видов.

Материалом для исследования послужили лишенологические сборы, проводившиеся в летние сезоны 2009 и 2012 гг. в ЗЗМ объекта по уничтожению химического оружия. На каждом дереве закладывали по 4 площадки размером 100 см². Для повторного обследования проводили точную и устойчивую маркировку учётной площади на дереве. Фиксировался видовой состав всех лишайников, которые представлены на стволе дерева в пределах учётной площадки, отмечалось, в каком числе квадратов представлен каждый вид (встречаемость).

В 2012 г. к списку 42 видов, обнаруженных ранее, нами были определены и добавлены 25 новых видов лишайников – накипных (16 видов из 25), листоватых (5) и кустистых (4). Основу лишенофлоры исследуемой территории ЗЗМ объекта «Щучье» составляют широко распространённые виды – плурирегиональные, евро-американские, голарктические и евразийские. Подавляющая часть лишайников относится к бореальным видам, из которых можно, например, отметить *Hypogymnia physodes*, *Evernia mesomorpha* и *Parmelia sulcata*. Лишенофлора в ЗЗМ объекта «Щучье» на 40% представлена листоватыми, на 36% кустистыми и 24% – накипными формами лишайников. Среди кустистых лишайников преобладают виды с шило-цифойдными талломами из семейства *Cladoniaceae*.

В экологическом отношении лишайники ЗЗМ объекта «Щучье» принадлежат к трём группам – эпифиты (64%), эпиксилы (24%) и эпигейды (12%). Преобладают эпифиты (27 видов).

Берёзовые древостои не отличаются высоким видовым разнообразием лишайников. К наиболее массовым видам эпифитных лишайников в берёзовых лесах относятся *Hypogymnia physodes*, *Parmelia sulcata*, *Cladonia coniocraea*, *Lecanora symmicta*, *Melanelia olivacea*, *Flavopunctelia soledica*. Значительное увеличение разнообразия видов придаёт осина. Массовыми видами эпифитных группировок лишайников, развивающихся на осине, являются виды родов *Caloplaca*, *Physcia*, *Phaeophyscia*. Спектры семейств лишенофлоры характеризуется ведущей ролью *Parmeliaceae*, *Cladoniaceae*, *Physciaceae*.

Индекс полеотолерантности (ИП) вычисляется по формуле:

$$ИП = \sum_{i=1}^n \frac{a_i \times c_i}{C_n},$$

где n – число видов на площадке описания, a_i – класс полеотолерантности вида, c_i – покрытие вида в баллах, C_n – суммарное покрытие видов в баллах [19]. Оценка покрытия при этом даётся по 10-балльной шкале [6]: 1–2% – 1 балл, 3–5 – 2, 6–10 – 3, 11–20 – 4, 21–30 – 5, 31–40 – 6, 41–50 – 7, 51–65 – 8, 66–80 – 9, 81–100% – 10. Значения ИП колеблются между 0 и 10, чем больше значение ИП, тем более загрязнён воздух в соответствующем местообитании.

Частота встречаемости отдельных видов лишайников на модельных деревьях в районе СП и общее проективное покрытие лишайников в пределах СП приведены в табл. 3. Средние значения ИП вычисляли для каждого обследованного ствола дерева, а затем для каждой СП. На всех исследованных СП значения ИП имели величину в пределах 5–7. Среднее значение по всем СП = 5,9.

Дополнительно для оценки степени загрязнения атмосферного воздуха на СП в ЗЗМ в лишайниках оценивали содержание аминокислоты пролина. Пролин накапливается в условиях биотического и абиотического стрессового воздействия, приводящего к снижению его окисления [4, 10]. Концентрация пролина возрастает в лишайниках вблизи дорог с интенсивным движением транспорта, вблизи заводов, населённых пунктов и др. Анализ пролина основан на фотометрическом определении окрашенного продукта, образующегося при взаимодействии нингидрина с продуктом расщепления пролина сульфосалициловой кислотой. Изучение содержания свободного пролина было проведено на доминирующем виде *Hypogymnia physodes*.

Табл. 3

Частота встречаемости различных видов лишайников на модельных деревьях СП ЗЗМ

№ СП	Количество модельных деревьев с лишайниками								Среднее проективное покрытие на СП, %
	<i>Hypogymnia physodes</i>	<i>Parmelia sulcata</i>	<i>Vulpicida pinastri</i>	<i>Evernia mesomorpha</i>	<i>Flavopunctelia soledica</i>	<i>Melanelia olivacea</i>	<i>Trapeliopsis flexuosa</i>	<i>Usnea hirta</i>	
33	10	10	3	6	2	7	–	5	23
35	7	8	1	1	10	2	–	1	36
40	7	4	4	–	6	1	–	–	32
56	8	10	3	4	7	5	–	1	17
89	10	8	3	4	1	3	–	2	41
98	7	2	–	7	8	–	–	–	51
Среднее	8,2	7,0	2,3	3,7	5,7	3,0	0	1,5	33,3

Содержание пролина изучено в образцах лишайников, отобранных на СП-33 и СП-35 южнее завода по уничтожению ХО, СП-40 – севернее завода, СП-56 – между заводом и арсеналом, СП-89 – северо-восточнее от арсенала и СП-98 – южнее от арсенала (рис. 2). Такое минимальное количество точек обусловлено гомогенным составом площадок (тип сообщества береза-осина), распространением и покрытием индикаторного вида.

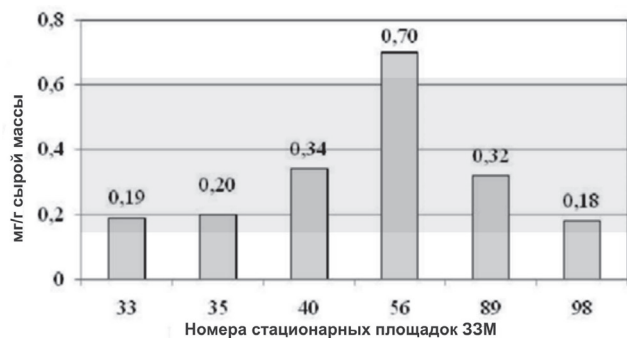


Рис. 2. Содержание пролина в лишайниках в ЗЗМ объекта по уничтожению химического оружия в Щучанском районе Курганской области (мг на 1 г сырой массы). Затемнением выделен диапазон нормальных значений

В слоевищах лишайников вблизи завода по уничтожению (СП-33, 35) и арсенала хранения ХО (СП-89, 98) содержание пролина низкое – 0,18–0,34 мг на 1 г сырой массы. На этих СП отмечены высокое проективное покрытие и богатое видовое разнообразие. Повышенное содержание пролина в *Hypogymnia physodes*, низкое проективное покрытие и скудное видовое разнообразие отмечено на СП-56 около села Наумовка, вероятно, в связи с повышенным антропогенным воздействием на природную среду (последствия низовых пожаров, вырубка леса, печное отопление).

Таким образом, по проценту проективного покрытия, индексу полеотолерантности и содержанию пролина в лишайниках ЗЗМ негативное влияние на природную среду объекта по уничтожению химического оружия «Щучье» не отмечено.

4. Результаты исследований зообентоса озер ЗЗМ объекта «Щучье»

Подсистема гидробиологического мониторинга в ЗЗМ объекта по уничтожению химического оружия в Щучанском районе занимает значительное место в структуре мониторинга методом биоиндикации в связи с большим количеством озер на этой территории. Кроме того, выпадение атмосферных осадков на исследуемой территории ЗЗМ объекта «Щучье» может привести к первичному загрязнению поверхностных вод различными органическими соединениями, а также вторичному загрязнению посредством поступления их с грунтовыми водами при загрязнении почв.

В ЗЗМ объекта «Щучье» в 2009–2013 гг. исследовали озера Наумовское – 30,0 га, Панькино – 115,5 га и Фролиха – 77,0 га (табл. 4).

Озеро Панькино находится на расстоянии около 6 км от завода по уничтожению ХО в северо-восточном направлении, озеро Фролиха – на расстоянии 4,5 км юго-восточнее арсенала, а озеро Наумовское расположено между заводом по уничтожению (4 км) и арсеналом хранения (10 км) химического оружия. При оценке возможного воздействия данных объектов на экосистемы исследуемых водоемов необходимо учитывать данный факт, так как озеро Наумовское может испытывать воздействие со стороны сразу двух потенциально опасных источников.

По своему происхождению водоемы ЗЗМ типичны для территории Курганской области и представляют собой результат суффозионных процессов. Это привело к формированию правильных по форме блюдцеобразных озер с незначительной (2,0–2,5 м) глубиной, малым уклоном дна и различной степенью зарастания погруженными и полупогруженными макрофитами. Физико-географические характеристики исследованных водоемов получены с помощью дистанционного зондирования и обработаны с использованием геоинформационной системы *MapInfo 8.0*.

Полевые исследования проводились в соответствии со стандартными методиками научных гидробиологических исследований [1]. Места отбора планктонных и бентосных проб, а также их количество определялись в зависимости от морфологических особенностей водоема.

Табл. 4

Физико-географические характеристики исследованных водоемов ЗЗМ объекта «Щучье»

Название озер ЗЗМ	Географические координаты		Площадь, км ²	Длина береговой линии, км	Высота над уровнем моря, м
	в. д.	с. ш.			
Панькино	62°48'12"	55°26'33"	115,5	4,259	160
Наумовское	62°42'47"	55°21'41"	30,0	2,030	162
Фролиха	62°48'27"	55°14'30"	77,0	3,281	159

Табл. 5

Сравнение степени сапробности природных вод по двум шкалам оценки

Степень сапробности водоема	Балльная оценка	
	Госгидромет РФ	Кольквитц-Марссон
Ксеносапробный	0	0,0–0,5
Олигосапробный	1	0,5–1,5
β	2	1,5–2,5
α	3	2,5–3,5
Полисапробный	4	3,5–4,0

Для комплексной оценки степени загрязнения (сапробности) озер различной типологии использовали индекс Пантле-Букка, который является универсальным индексом, применяемым на любых водоемах и использующим как планктон, так и бентос [22]. Данный индекс разработан для четырехбалльной системы сапробности Кольквитца-Марссона (табл. 5) и используется с небольшими изменениями при оценке загрязненности природных и сточных вод в системе Госгидромета Российской Федерации.

При данном методе оценки в определение сапробности должны включаться некоторые поправки, учитывающие природный фон содержания органики в водоеме и разницу в субстратах обитания, так как для водоемов Зауралья, имеющих значительные накопления иловых грязей, оценка может быть несколько завышенной.

Индекс вычислялся по формуле:

$$I = \frac{\sum(S \times J)}{\sum J},$$

где S – сапробность каждого найденного в пробе индикаторного таксона (от 0 до 4); J – его индикаторный вес (от 1 до 4). При данном методе оценки в определение сапробности включаются некоторые поправки, учитывающие природный фон содержания органики в водоеме и разницу в субстратах обитания, так как для водоемов Зауралья, имеющих значительные накопления иловых грязей, оценка может быть несколько завышенной. В модификации Сладечека и Чертопруда данный индекс учитывает видовой состав гидробионтов озерных экосистем исследуемого региона и индикаторный вес организмов, показывающий, насколько узок диапазон загрязнения, характерный для данного таксона (см. [22]).

При определении биомассы популяций организмов зоопланктона учитывались размерно-весовые характеристики каждой из них. Индивидуальную массу особей определяли на аналитических весах с точностью до 0,001 г. Для планктонных ракообразных, относящихся к *Copepoda* и *Cladocera*, масса тела рассчитывалась с использованием номограмм, отражающих зависимость их массы тела от линейных размеров особей [22, 23]. Среднюю удельную биомассу популяции определяли взвешиванием всех особей в пробе с дальнейшим пересчетом данной величины на единицу площади поверхности водоема (1 м²).

Водные экосистемы в отличие от наземных более динамичны, поэтому отбор проб в точках с постоянными координатами дает возможность получить объективную картину состояния природных компонентов в изменяющихся природных условиях. Это позволяет впоследствии при оценке антропогенного воздействия на данные экосистемы исключить влияние обычного для данной территории комплекса природных факторов для более точной оценки состояния компонентов зоопланктонных сообществ.

Для определения таксономического статуса организмов использовались определители пресноводных беспозвоночных [3, 12, 13]. В результате обработки полученных материалов получали популяционные характеристики беспозвоночных гидробионтов, статус доминирования их в экосистемах озер, оценивали биологическое разнообразие зоопланктоценозов исследованных водоемов.

В 2009 г. по биологическому разнообразию во всех наблюдаемых водоемах доминировали виды *Keratella quadrata*, *Acanthocyclops vernalis*. К субдоминантному виду относился *Daphnia longispina*, численность которого в момент исследования составляла 36000 особей/м². Половая структура представлена преимущественно самками, самцы встречаются редко.

В 2010 г. отбор проб показал изменение видового состава. Доминирующими видами являлись *Daphnia cristata* и *Acanthocyclops vernalis*. Отсутствовал вид *Keratella quadrata*, однако в планктоне присутствовал вид *Daphnia longispina*.

По биологическому разнообразию зоопланктонных организмов озеро Панькино представляется наиболее интересным с точки зрения биоиндикации негативных воздействий. Зоопланктоценоз озера Панькино в 2010 г. был представлен двумя видами ветвистоусых ракообразных (*Cladocera*, *Daphnidae*), которые различаются по степени доминирования. К доминирующим видам ветвистоусых ракообразных в планктоценозе водоема относятся *Daphnia longispina*, *Daphnia pulex*. К субдоминантному виду относится *Mesocyclops leuckarti*, плотность популяции которого в момент исследования составила 4000 особей/м². Доля молодежи в популяциях ветвистоусых ракообразных в июле 2010 г. колеблется от 9 до 13% общей численности популяций. В выводковых камерах самок отмечено в среднем 6–8 яиц, причем часть самок имеют эфиппиумы, содержащие диапаузирующие яйца. Количество самок с яйцами составляет до 76% общего числа особей в популяциях. В осенних сборах 2010 г. в планктоне озер отмечено значительное количество (до 890 эфиппиумов/м²) эфиппиумов, содержащих диапаузирующие яйца ветвистоусых раков. Данная зимующая жизненная форма дает возможность возобновления популяций ветвистоусых раков после неблагоприятных условий зимнего периода. Доля молодежи в популяциях ветвистоусых ракообразных в 2011 г. колеблется от 10 до 23% общей численности популяций. В выводковых камерах самок отмечено в среднем 5–9 яиц, причем часть самок имеют эфиппиумы, содержащие диапаузирующие яйца. Количество самок с яйцами составляет до 48% общего числа особей в популяциях.

Зоопланктоценоз в озере Фролиха достаточно стабилен, а все возможные изменения связаны, по всей видимости, с изменениями солености воды в водоеме. За исследуемый период минерализация воды в озере повысилась на 1 г/л, что привело к исчезновению из планктоценоза одного вида ветвистоусых раков (*Bosmina longirostris*, *Keratella quadrata*) и появлению в нем незначительного количества особей *Trichocerca sp.*, *Eylais sp.*, *Daphnia cucullata*, *Cyclops leuckarti*. Представители данного рода, наряду с *Keratella quadrata*, составляют систему субдоминантов, которая может нивелировать незначительные негативные природные воздействия на данный зоопланктоценоз. Одновременно с этими процессами увеличилась численность еще одного вида-доминанта – веслоногих раков *Cyclops strenuous*, плотность популяции которого в 2011 г. по сравнению с предыдущим годом выросла в 1,75 раза, в 2009 г. этот вид вообще не был обнаружен.

Подобные процессы можно считать типичными для небольших суффозионных озер исследуемой территории, так как все они подвержены влиянию

циклов водности и, как следствие, регулярному изменению минерализации воды. За последние два года начал снижаться уровень подземных вод, а изменения климата привели к сезонным уменьшениям количества атмосферных осадков. Повышение минерализации воды приводит к структурным перестройкам зоопланктоценозов и изменению их видового разнообразия.

В зоопланктоценозах озер в 2011 г. значительную роль играют ветвистоусые рачки, плотность популяций которых в момент исследований доходила до 826–1134 особей/м². Половая структура популяций сдвинута в сторону преобладания самок, что объясняется неоптимальными условиями существования популяций в момент исследований при массовом развитии зеленых и сине-зеленых водорослей. Горизонтальное распределение ветвистоусых ракообразных достаточно равномерно. Это связано с развитием кормовой базы в водоеме и отсутствием ветрового переноса и перемешивания в момент исследований.

В 2012 г. для всех трех модельных водоемов проводились исследования в прибрежной фации зарастания полуводными и погруженными макрофитами и в открытой части водоемов, свободной от плавающих макрофитов, на расстоянии 70–120 м от уреза воды. В озере Фролиха различий в видовом составе зоопланктов прибрежной и открытой части водоема не наблюдалось. По сравнению с 2011 г. в водоеме в небольшом количестве и примерно одинаковой плотности популяций появляются *Bosmina longirostris* и *Daphnia longispina*. Стабильно на протяжении всех лет исследований в зоопланктоне отмечались представители веслоногих раков *Eudiaptomus gracilis* и коловраток *Keratella quadrata*. По сравнению с предыдущими годами наблюдается снижение общей массы планктонных организмов. Возможно, одной из причин, определяющих данную тенденцию в исследованных водоемах, является снижение уровня воды в связи с аномально жарким летом и минимальный уровень на протяжении современной фазы гидрогеологического цикла для озер Зауралья.

В летний сезон 2013 г. наблюдалась стабилизация структуры зоопланктонных сообществ исследуемых озер (табл. 6), что, возможно, связано с установлением интервала минерализации среды, характерного для формирования подобных комплексов с меньшим биологическим разнообразием. Несмотря на понижение уровня озер по вертикали на 0,3–0,5 м и увеличение солености на 1,0–1,5 г/л, следует отметить общее увеличение численности и биомассы зоопланктона при увеличении степени доминирования отдельных видов. Все изменения в структуре зоопланктоценозов, системе доминирования отдельных видов беспозвоночных гидробионтов и структуры их популяций в них определяются естественными природными причинами и прежде всего – изменением минерализации среды и глубины в определенные фазы минимального уровня гидрологического цикла озер.

В планктоне озер в 2013 г. появляются коловратки *Keratella quadrata* (озеро Наумовское – 632 особи/м²; Панькино – 228632 особи/м²) и *Kellicottia longispina* (Панькино – 186632 особи/м²). Новым массовым видом для озера Панькино, имеющим при невысокой плотности популяции (132 особи/м²) среднюю относительную биомассу (0,396 г/м²), в 2013 г. можно считать личиночные стадии поденок *Cloeon dipterum*.

Среди ракообразных, вновь отмеченных в исследованных озерах летом 2013 г., встречены *Ceriodaphnia reticulata* (Наумовское – 792 особи/м²) и *Daphnia longispina* (Наумовское – 132 особи/м²).

В результате проведенных исследований на данный момент на основе коэффициента сапробности и индикаторного веса гидробионтов различных систематических единиц рассчитаны индексы сапробности по планктону для каждого исследованного водоема с учетом доминирования в экосистемах озер:

- озеро Наумовское: $I = 2,2$
- озеро Фролиха: $I = 1,9$
- озеро Панькино: $I = 1,7$

В соответствии со шкалам Гидромета РФ и Кольквитца-Марссона озеро Наумовское по этим показателям относится к β -мезосапробным водоемам с умеренной степенью органического загрязнения, так же как и озера Фролиха и Панькино, где степень фонового органического загрязнения несколько ниже, возможно, вследствие меньшей селитебной и хозяйственной нагрузки.

При проведении лабораторных исследований морфологии беспозвоночных зоопланктов озер на территории ЗЗМ объекта «Щучье» нами не обнаружены отклонения линейных размеров и другие признаки модификационной изменчивости гидробионтов исследованных систематических групп, выходящие за пределы, обусловленные протеканием естественных сукцессионных процессов, не связанных с антропогенным воздействием.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Важность и особенности биологического мониторинга в районе расположения объекта по уничтожению химического оружия в Щучанском районе Курганской области обусловлены разнообразием природного комплекса и большой площадью ЗЗМ. Стационарные площадки мониторинговых исследований располагались в 2–10 км от источников загрязнения – завода по уничтожению и арсенала хранения химического оружия. Биологический мониторинг в ЗЗМ объекта «Щучье» проводился в 2009–2013 гг. методами лесопатологических исследований, лишеноиндикации и по показателям зообентоса озер. Лесопатологические исследования показали, что лесные массивы в ЗЗМ объекта «Щучье» не испытывают дополнительной негативной нагрузки, сверх действия установленных факторов антропогенного (низовые пожары) и природного (вымывание за счет переувлажнения почвы под воздействием почвенно-климатических факторов) характера и являются в целом стабильными системами; в 2012 г. в сравнении с предпусковым периодом объекта (2009 г.) состояние лесов не ухудшилось. Исследования лишенофлоры показали, что в ЗЗМ объекта «Щучье» по биоморфологическому составу преобладают листоватые и кустистые лишайники, принадлежащие в экологическом отношении к трём группам – эпифитам, эпиксилам и эпигеидам с преобладанием эпифитов (64%). В эпифитах для оценки степени загрязнения атмосферного воздуха в ЗЗМ оценивали содержание индикатора стресса – аминокислоты пролина. Содержание пролина в лишайниках вблизи завода по

**Основные популяционные характеристики планктонных беспозвоночных гидробионтов
в озерах Щучанского района Курганской области в 2009–2013 гг.**

Систематическая принадлежность организма	2009		2010		2011		2012		2013	
	экз./м ²	г/м ²	экз./м ²	г/м ²	экз./м ²	г/м ²	экз./м ²	г/м ²	экз./м ²	г/м ²
Озеро Наумовское										
<i>Keratella quadrata</i>	2444	0,073	1982	0,059	718	0,021	–	–	632	0,013
<i>Daphnia cristata</i>	–	–	622	0,248	826	0,329	–	–	1815	0,718
<i>Bosmina longirostris</i>	342	0,273	–	–	–	–	–	–	–	–
<i>Ceriodaphnia reticulata</i>	–	–	–	–	–	–	118	0,082	792	0,550
<i>Acanthocyclops vernalis</i>	2100	0,420	1890	0,378	1664	0,332	–	–	–	–
<i>Eudiaptomus gracilloides</i>	–	–	–	–	–	–	1058	0,317	1188	0,357
<i>Chaoborus sp.</i>	133	0,280	–	–	3890	–	–	–	–	–
Озеро Панькино										
<i>Culex sp.</i>	15	0,571	4	0,104	–	–	–	–	66	1,716
<i>Keratella quadrata</i>	3636	0,109	2627	0,079	1228	0,037	364	0,011	228	0,007
<i>Keratella cochlearis</i>	3405	0,102	–	–	–	–	–	–	–	–
<i>Kellicottia longispina</i>	735	0,029	–	–	–	–	–	–	186	0,007
<i>Daphnia longispina</i>	1100	0,881	1344	1,075	1124	0,899	–	–	132	0,106
<i>Daphnia pulex</i>	518	0,726	138	0,193	123	0,172	–	–	–	–
<i>Bythotrephes longimanus</i>	–	–	–	–	–	–	58	0,104	34	0,061
<i>Eudiaptomus gracilloides</i>	–	–	–	–	–	–	612	0,183	297	0,088
<i>Mesocyclops leuckarti</i>	1142	0,229	826	0,165	4124	0,824	26	0,005	–	–
<i>Cloeon dipterum</i>	–	–	–	–	–	–	–	–	132	0,396
Озеро Фролиха										
<i>Keratella quadrata</i>	1125	0,034	926	0,028	882	0,027	312	0,009	366	0,011
<i>Bosmina longirostris</i>	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
<i>Trichocerca sp.</i>	995	0,029	–	–	–	–	–	–	–	–
<i>Daphnia longispina</i>	604	0,405	–	–	–	–	258	0,173	263	0,176
<i>Cyclops strenuus</i>	8571	0,686	–	–	–	–	–	–	–	–
<i>Eudiaptomus gracilis</i>	995	0,119	1128	0,135	1882	0,225	664	0,079	726	0,086
<i>Eylais sp.</i>	–	–	6	0,072	–	–	–	–	–	–
<i>Daphnia cucullata</i>	–	–	528	0,312	618	0,365	128	0,076	218	0,129

уничтожению и арсенала хранения химического оружия определено как низкое – около 0,2–0,3 мг на 1 г сырой массы. По результатам исследований (процент проективного покрытия, индекс полеотолерантности и содержание пролина в лишайниках ЗЗМ) не отмечено негативного влияния объекта по уничтожению химического оружия «Щучье» на природную среду.

В рамках гидробиологического мониторинга в ЗЗМ объекта «Щучье» исследовали озера Наумовское – 30,0 га, Панькино – 115,5 га и Фролиха – 77,0 га. На основе коэффициента сапробности и индикаторного веса гидробионтов различных систематических единиц нами рассчитаны по планктону для каждого исследованного водоема индексы сапробности, которые лежат в пределах 1,7–2,2. Согласно шкалы Гидромета РФ по этим показателям озеро Наумовское

относится к β-мезосапробным водоемам с умеренной степенью органического загрязнения, так же как и озера Фролиха и Панькино, однако степень фонового органического загрязнения для них ниже. Причиной этого можно считать меньшую степень селитебной и хозяйственной нагрузки на озера Фролиха и Панькино. Исследования морфологии беспозвоночных зоопланктона озер подтверждает, что у представителей зоопланктона исследованных водоемов отсутствуют изменения сверх обусловленных протеканием естественных сукцессионных процессов, не связанных с антропогенным воздействием.

В целом проведенные биомониторинговые исследования в 2009–2013 гг. не выявили негативного влияния объекта «Щучье» на состояние природной среды ЗЗМ.

Литература

1. Абакумов В.А. Руководства по гидробиологическому мониторингу пресноводных экосистем. – СПб. : Гидрометеиздат, 1979. – 345 с.
2. Александров В.Н., Емельянов В.И. Отравляющие вещества. – М. : Воениздат, 1990. – 268 с.
3. Боруцкий Е.В., Степанова Л.А., Кос М.С. Определитель Calanoida пресных вод. – СПб. : Наука, 1991. – 504 с.
4. Бритиков Е.А. Биологическая роль пролина. – М. : Наука, 1985. – 88 с.

5. Бязров Л.Г. Лишайники в экологическом мониторинге. – М. : Научный мир, 2002. – 336 с.
6. Голубкова Н.С. Влияние роста города на лишайники и лишеноиндикация атмосферных загрязнений г. Казани // Ботанический журнал. – 1978. – Т. 63, № 8. – С. 1145–1152.
7. Егоров В.П., Кривонос Л.А. Почвы Курганской области. – Курган : Зауралье, 1995. – 174 с.
8. Западная Сибирь. – М. : АН СССР, 1963. – 488 с.
9. Красная книга Курганской области. – Курган : Изд-во Курганского гос. ун-та, 2012. – 448 с.
10. Мокронос А.П. Физиология растений на рубеже XXI века // Физиология растений. – 2000. – Т. 47, № 3. – С. 341–342.
11. Науменко Н.И. Флора Южного Зауралья: дис. ... докт. биол. наук: 03.00.05. – СПб., 2003. – 401 с.
12. Определитель пресноводных беспозвоночных Европейской части СССР (планктон и бентос). – Л. : Гидрометеиздат, 1977. – 512 с.
13. Определитель пресноводных беспозвоночных России и сопредельных территорий. – СПб. : Наука, 2001. – Т. 1, 395 с. Т. 2, 629 с.
14. Плотникова О.М., Лунева С.Н., Коретин А.М. и др. Биологическая активность метилфосфонатов: влияние метилфосфоновой кислоты на гомеостаз, методы исследования. – Курган : Изд-во Курганского гос. ун-та, 2011. – 120 с.
15. Пчелкин А.В., Боголюбов А.С. Методы лишеноиндикации загрязнений окружающей среды: методическое пособие. – М. : Экосистема, 1997. – 25 с.
16. Растегаев О.Ю., Чупис В.Н., Марьин В.И. и др. Фосфорорганические отравляющие вещества. Свойства и методы определения. – Саратов : ООО «Фиеста-2000», 2009. – 219 с.
17. Растительность степной и лесостепной зон Западной Сибири. – Новосибирск : Изд-во СО АН СССР, 1963. – 442 с.
18. Савельева Е.И., Зенкевич И.Г., Кузнецова Т.А., Радилов А.С. Исследование продуктов превращений фосфорорганических отравляющих веществ методом ГХ-масс-спектрометрии // Рос. хим. журн. – 2002. – Т. 46, № 6. – С. 82–91.
19. Трасс Х.Х. Классы полеотолерантности лишайников и экологический мониторинг // Проблемы экологического мониторинга и моделирования экосистем. – Л. : Гидрометеиздат, 1984. – С. 144–159.
20. Холстов В.И., Фокин Е.А., Спиранде В.В. и др. Химическое разоружение. Практика обеспечения выполнения конвенционных обязательств по запрещению химического оружия и его уничтожению // Российский химический журнал (Журнал Российского химического общества им. Д.И. Менделеева). – 2007. – Т. 51. – № 2. – С. 4–8.
21. Холстов В.И. Химическое разоружение. Практика обеспечения выполнения конвенционных обязательств по запрещению химического оружия и его уничтожению // Российский химический журнал (Журнал Российского химического общества им. Д.И. Менделеева). – 2010. – Т. 54. – № 4. – С. 5–9.
22. Чертопруд М.В., Чертопруд Е.С. Краткий определитель беспозвоночных пресных вод европейской России. – М. : Товарищество КМК, 2010. – 179 с.
23. Численко Л.Л. Номограммы для определения веса водных организмов по размерам и форме тела. – Л. : Наука, 1968. – 105 с.

