

Л.М. КОНДРАТЬЕВА

Бурейский оползень и экологические риски

Приводятся сведения о первых прогнозах экзогенных геологических процессов при создании Бурейского водохранилища, включая вероятность образования оползней. Обращается внимание на такие факторы риска, как взвешенные вещества и затопленная древесина в первые годы заполнения водохранилища; возможные риски дестабилизации экосистемы водохранилища под воздействием новых поступлений растительных остатков, взвесей скальных пород и компонентов взрывчатых веществ (тринитротолуола). Предлагается провести открытую дискуссию для скорейшего выявления различных экологических рисков для экосистем Бурейского водохранилища, рек Бурей и Амур после мероприятий, связанных с ликвидацией последствий оползня.

Ключевые слова: Бурейское водохранилище, оползень, качество воды, древесина, тринитротолуол.

Bureysky landslide and ecological risks. L.M. KONDRATYEVA (Institute of Water and Ecological Problems, FEB RAS, Khabarovsk).

The article provides information about the first forecasts of exogenous geological processes during the creation of the Bureya reservoir, including the possibility of the formation of landslides. Attention is drawn to such risk factors as suspended solids and flooded wood in the first years of filling the reservoir; possible risks of destabilization of the reservoir ecosystem under the influence of new inputs of plant residues, rock suspensions and components of explosives (trinitrotoluene). It is proposed to hold an open discussion for the early identification of various environmental risks to the ecosystems of the Bureya reservoir, the Bureya and Amur Rivers after the activities related to the elimination of the consequences of the Bureya landslide.

Key words: Bureya reservoir, landslide, water quality, wood, trinitrotoluene.

Введение

Река Бурей – левый приток Амура протяженностью 739 км, протекает по территории Хабаровского края и Амурской области. На реке в 2003 г. завершено строительство гидроэлектростанции и началось заполнение Бурейского водохранилища. Особенности сооружения ГЭС в Сибири и на Дальнем Востоке связаны с суровыми климатическими условиями и распространением здесь многолетнемерзлых пород [1].

Бассейн р. Бурей условно делится на три геокриологических района [7]. Первый район включает верхнюю часть бассейна со сплошным распространением многолетнемерзлых пород мощностью от 50 до 500 м. Талики встречаются под руслами притоков, на хорошо прогреваемых склонах, а также в зонах разломов, смятия и дробления горных пород. Второй район охватывает центральную часть водосбора с сильно прерывистой и массивно-островной многолетней мерзлотой мощностью от 50 до 100 м. Острова мерзлотных пород приурочены к долинам рек и северным склонам гор. На южных склонах и вблизи водоразделов мерзлота отсутствует или имеет ограниченное распространение и малую мощность. Третий геокриологический район включает бассейны рек Тырма, Дубликан,

КОНДРАТЬЕВА Любовь Михайловна – доктор биологических наук, профессор, главный научный сотрудник (Институт водных и экологических проблем ДВО РАН, Хабаровск). E-mail: kondratevalm@gmail.com

Ягдынья, Верхний и Нижний Мельгин, характеризуется массивно-островным и островным типами распространения многолетнемерзлых пород толщиной менее 50 м.

Приплотинная и центральная части Бурейского водохранилища также находятся в области островного распространения многолетнемерзлых пород. Острова мерзлоты приурочены к залегающим с поверхности суглинкам и перекрывающим их торфяникам. Многолетняя мерзлота прерывается сквозными таликами на крутых склонах, под руслом и низкой поймой р. Бурей. Под старицами и небольшими водотоками граница мерзлоты понижается до 6–7 м.

В декабре 2018 г. в Верхнебуреинском районе Хабаровского края в 70 км от с. Чекунда произошел сход горных пород с сопки, перекрывший русло р. Бурей. Первые предположения о причинах оползня указывали на падение метеорита или ступени ракетоносителя, но эта информация не подтвердилась. Сейсмические станции Российской академии наук на Дальнем Востоке не зафиксировали на территории Хабаровского края ни падения крупного метеорита, ни любого другого события, которое могло бы спровоцировать обрушение горных пород в русло р. Бурей.

По мнению экспертов, это крупнейший за последние годы оползень в стране, который произошел в зимнее время (рис. 1). Судя по первым сообщениям Русгидро и Амурского бассейнового водного управления, перепад воды на двух участках выше и ниже сформировавшейся дамбы составлял 4–6 м. Сокращение поступления воды в водохранилище после оползня в связи со слабой ее фильтрацией через тело каменной плотины угрожало подтоплением поселков, расположенных выше по течению реки, в результате перекрытия русла может снизиться выработка электроэнергии на Бурейской ГЭС.



Рис. 1. Общий вид оползня на р. Бурей. Фото из *Amur INFO*



Рис. 2. Результат речного «цунами». Фото А.Н. Махинова

Ученые Дальневосточного научно-исследовательского центра «Планета» выявили термическую аномалию на месте разрушенной сопки и образования оползня. Анализ данных спутника дистанционного зондирования Земли «Sentinel-2A» за 9 и 12 декабря 2018 г. выявил значительные ландшафтные изменения рядом с руслом р. Бурей. На спутниковом снимке обнаружены разрушения береговой линии и уничтоженный лес. В статье А.Н. Махинова с соавторами, опубликованной в настоящем номере Вестника ДВО РАН, представлены подробные сведения о самом оползне и речном цунами в районе оползня. Это – невероятная аномалия, приведшая к довольно серьезным ландшафтным изменениям в месте схода оползня.

При падении оползня произошел выплеск воды из реки. Его высота составила до 40 м. По долине р. Средний Сандар (приток Бурей) волна поднялась на 4 км вверх по течению. Вода снесла все деревья под корень на противоположном от оползня берегу. Значительная часть деревьев обратным потоком была снесена в водохранилище, где впоследствии они вмерзли в лед. На снимке (рис. 2) видны результаты речного «цунами», вызванного оползнем.

К месту схода грунта Правительством Хабаровского края 12–17 января 2019 г. была организована научная экспедиция из ученых и экспертов разных ведомств. Цель экспедиции состояла в определении размеров тела оползня, прочности пород, оценке состояния сопки, уровня воды, возможной фильтрации сквозь образовавшуюся «дамбу» (завал). Эти данные необходимы для оценки уровня угрозы подтопления населенных пунктов вдоль р. Бурей. Наиболее опасный период ожидается в марте–апреле, когда начнется таяние снега. Полученные экспедицией исходные данные необходимы для организации превентивных мероприятий, направленных на минимизацию возможных неблагоприятных последствий от оползня и предотвращение социальных рисков.

По результатам экспедиции были определены параметры оползня. Согласно выводам специалистов, объем сошедшего грунта составил 24,5 млн м³, объем надводной части

оползня превышает 4,5 млн м³, основная часть находится под водой. Названы три причины возникновения оползня в зоне Бурейского водохранилища:

- 1) слишком крутой склон сопки и аномальная хрупкость породы для этих мест;
- 2) наличие разлома в зоне обвала горной породы, который мог привести к движению пород;
- 3) очень узкая долина реки; в месте оползня она представляет собой ущелье, заполненное водой на большую высоту, вследствие чего вода проникла в трещины сопки и привела к оползнию.

Было принято решение, что подрывные работы – единственно возможный способ ликвидации завала, образовавшегося на р. Бурей. Для решения поставленной задачи привлечены силы Минобороны РФ и военно-транспортной авиации. В операции задействованы подразделения отдельной инженерно-саперной бригады Восточного военного округа.

Задача статьи – начать открытую дискуссию в целях выявления различных экологических рисков для экосистем Бурейского водохранилища, рек Бурей и Амур после мероприятий, связанных с ликвидацией последствий бурейского оползня. Прежде всего необходимо обсудить изменение гидрохимических показателей качества природных вод этих объектов, оценить влияние новых экологических факторов на сообщества гидробионтов, принимающих участие в продукционно-деструкционных процессах.

Прогнозы экзогенных геологических процессов в зоне влияния водохранилищ

Прогнозы, как известно, необходимы для организации рационального природопользования в зоне влияния водохранилищ, их безопасной эксплуатации и минимизации последствий регулирования стока рек, на которых построены гидроэлектростанции. Негативные эффекты чаще всего проявляются в качестве воды, изменении естественных ландшафтов и активизации экзогенных геологических процессов (ЭГП). Так, спустя 3 года после заполнения Саяно-Шушенского водохранилища (1990 г.) был обнаружен крупный оползень-сдвиг объемом около 30 млн м³. Предполагалось, что в случае полного обвала он на 2/3 может перегородить водохранилище [6]. Однако исследования, проведенные в 2001 г., показали, что каких-либо подвижек дальше не произошло. Этому нашли объяснение: наличие очень крутого склона (70°), который не соответствовал углу скольжения массива горных пород (как правило, в пределах 35–45°). Другой оползень, с меньшей массой горных пород (до 1 млн м³), был обнаружен в зоне повышенной трещиноватости. Было показано, что оползни могут быть приурочены как к рыхлым делювиальным, так и к коренным скальным породам.

При анализе возникновения и развития оползней-сдвигов в скальных породах выявлены следующие закономерности [6]:

- большая часть оползней в рыхлых и скальных породах имеет унаследованный характер, они возникают и формируются на участках древних оползней;
- оползневые смещения возникают и развиваются, как правило, в первые 5–8 лет эксплуатации водохранилищ;
- оползневый процесс зависит от множества факторов: особенностей инженерно-геологических решений, геолого-тектонического строения береговых массивов, резкого изменения гидрогеологических условий (открытая фильтрация вод водохранилища и формирование подпора подземных вод), режима уровня воды в водохранилище;
- при наполнении водохранилища в результате фильтрации поверхностных вод по крупным открытым (незакольматированным) трещинам в скальных породах происходит взвешивание крупных блоков, способных к смещению и оползанию;
- в ряде случаев основным фактором возникновения и развития оползней в скальных породах является ветро-волновая абразия;

– возникновению и развитию оползней способствует значительная сработка водохранилищ (до 40 м), обеспечивающая мощные выходы подземных вод и разрушение береговых отмелей.

Прогнозы активизации ЭГП в зоне влияния Бурейского водохранилища обсуждали в 2005 г. на Всероссийской научно-практической конференции «Научные основы экологического мониторинга водохранилищ», проведенной в г. Хабаровск [8]. А.П. Николаев (Научно-исследовательский и проектно-изыскательский институт экологии города, Москва) акцентировал внимание на том, что при заполнении и эксплуатации Бурейского водохранилища неизбежно будут активизироваться экзогенные геологические процессы. При составлении прогноза автор учитывал состав коренных пород, глубину их залегания, мощность зоны выветривания, тектоническую раздробленность, уклон и ориентацию склонов, наличие разломов, заболоченности и многолетней мерзлоты. В верхнем бьефе зоной активизации ЭГП он считал территорию долин р. Бурей и ее притоков, подверженную влиянию периодического затопления и подпора подземных вод в пределах Амурской области (170,7 км²) и Хабаровского края (196,3 км²). Для рассматриваемой территории прогнозировалось проявление комплекса ЭГП: гравитационных (оползни, обвалы, осыпи, оплывины), гидрогенных (боковая и донная эрозия вдоль русел, овражная и струйчатая эрозия, заболачивание) и геокриологических (курумы, каменные россыпи, бугры пучения, термокарст, термоэрозия). Причем при наполнении водохранилища путем циклических затоплений-осушений ожидалось более интенсивные ЭГП по сравнению с непрерывным однонаправленным подъемом уровней воды до проектных отметок [8].

Надо отметить, что эти прогнозы были приняты скептически, почти как необоснованные фантазии. Однако оценки А.П. Николаева оправдываются, особенно это очевидно после гигантского оползня на р. Бурей, случившегося в декабре 2018 г. Своего дальнейшего изучения и обсуждения ждет прогноз деградации многолетней мерзлоты в зоне влияния водохранилища. В районе плотины в результате эксплуатации водохранилища следует ожидать насыщения гидрогеологических массивов вследствие подъема подземных вод до уровня более 100 м. Подпор грунтовых вод распространится на обширные территории по всему периметру водохранилища – на расстояние до 1 км и более. В зонах затопления и подпора грунтовых вод будет происходить деградация многолетней мерзлоты.

С точки зрения прогнозного анализа интересен доклад М.Н. Гусева и Ю.В. Помигуева (Амурский комплексный научно-исследовательский институт ДВО РАН, Благовещенск) [8]. Для прогноза ЭГП в зоне влияния Бурейского водохранилища авторы использовали космоснимки, топографические карты, фондовые материалы и научные публикации. Они обратили внимание на возможное развитие деструктивных процессов в зоне «сработки ложа водохранилища» при периодическом изменении уровня воды. Согласно проекту колебания уровня воды должны составлять 20 м, в результате в зону затопления и осушения периодически попадают сравнительно широкие и пологие пространства левобережья и надпойменных террас правобережья. На приплотинном участке высокая мощность рыхлых образований, выстилающих поверхность террас, их повышенная обводненность могут привести к интенсификации процессов солифлюкции, поставляющей огромные массы обломочного материала в зону формирования береговой отмели. Усилению этих процессов будет способствовать уничтожение защитного растительного покрова как в результате целенаправленной очистки от леса, так и вследствие самого затопления.

На участках широкого развития трещиноватых и раздробленных скальных пород по берегам р. Бурей М.Н. Гусев и Ю.В. Помигуев прогнозировали интенсификацию обвалов и осыпей. Предполагалось, что величина переработки береговых откосов такого типа составит за первые 10 лет от 5 до 15 м, а далее может достигнуть 40–50 м [8]. Указывалось на особенность подтопления береговой зоны в зимний период: «В полосе переувлажнения грунтов следует ожидать развитие процессов наледообразования, формирования бугров пучения, морозобойного растрескивания грунтов – в пределах рыхлых пород,

интенсификации морозного выветривания и, возможно, формирования курума – в пределах скальных пород, особенно у подножий относительно крутых склонов» [8, с. 46].

Принимая во внимание сказанное выше, можно сделать вывод, что на берегах Бурейского водохранилища существует множество участков, где такое явление, как оползень, может повторяться в разные сезоны. Следовательно, крайне необходимо проведение комплексных работ по оценке устойчивости склонов в зонах с повышенной трещиноватостью горных пород для предотвращения угрозы обвалов и оползней.

Влияние затопленной древесины на качество воды

В первые годы заполнения Бурейского водохранилища главными негативными факторами, влияющими на изменение качества природных вод, являлись замедление водообмена и накопление в донных отложениях загрязняющих веществ, снижение самоочищающей способности водоема и избыточное развитие синезеленых водорослей [1].

Затопленная древесина в течение многих лет может служить источником поступления в воду различных органических веществ. С разложением лигнинсодержащих растительных остатков в водную среду попадают ароматические соединения различного строения, включая высокомолекулярные полициклические ароматические углеводороды (ПАУ) и водорастворимые фенолы [5].

Качество воды в Бурейском водохранилище в первые годы его заполнения при периодическом изменении гидрологического режима было обусловлено биогеохимическими процессами, протекающими при взаимодействии водных масс с затопленным почвенно-растительным покровом и метаморфизированными породами ложа водохранилища. Сезонные исследования на нескольких створах водохранилища показали, что гидрохимические показатели качества воды зависели от комплекса абиотических и биотических преобразований на биогеохимических барьерах при взаимодействии воды с почвами, затопленной древесиной и породами (вода–дно, вода–берег, вода–взвешенное вещество) [9].

По данным исследований, проведенных в период заполнения Бурейского водохранилища (2003–2007 гг.), качество воды по гидрохимическим, микробиологическим и гидробиологическим показателям существенно различалось на приплотинном участке и створе, удаленном на 8 км от плотины, вследствие изменения скорости течения водных масс и аккумуляции растительного детрита в нижних слоях воды перед плотиной. Вода из придонных слоев имела буро-коричневый цвет и повышенное содержание органических веществ, определяемых по ХПК. Здесь была установлена максимальная численность фенолрезистентных бактерий – индикаторов фенольного загрязнения [8]. Высокая цветность поверхностных вод среди выступающих вершин затопленных на корню деревьев была обусловлена разложением лигноцеллюлозы. Этот показатель оказался сопоставимым с цветностью водных масс, отобранных в придонных слоях, где также наблюдались трансформация и деструкция растительных остатков.

Известно, что при затоплении больших массивов леса и дефиците кислорода в ложе водохранилища могут образовываться сероводородные зоны, приводящие к ухудшению качества воды и гибели рыбы. Гидрохимические исследования показали, что в первые годы заполнения Бурейского водохранилища дефицит кислорода отсутствовал. Однако уже в 2005 г. на отдельных участках водохранилища в придонных слоях воды отмечались дефицит кислорода и появление сероводорода [10]. Одной из причин этого была затопленная на корню растительность как источник разнообразных органических веществ, вовлекаемых в процессы трансформации и деструкции. В результате вертикальной стратификации кислорода в придонных слоях формировались анаэробные зоны, способствующие сульфатредукции.

Следует отметить, что проблема с плавающей древесиной на некоторых участках акватории Бурейского водохранилища сохраняется до настоящего времени. Так, в октябре



Рис. 3. Плавающая древесина на Бурейском водохранилище: слева – октябрь 2018 г. *Фото ПАО «РусГидро»*; справа – июль 2004 г. *Фото автора*

2018 г. скопления древесины здесь напоминали ситуацию в июле 2004 г. (рис. 3). Дополнительное поступление древесины после оползня и речного «цунами» может усилить негативный экологический эффект, особенно в связи с размельчением древесины до щепы. В летний период это значительно увеличит площадь контакта растительных остатков с водой, что приведет к существенному увеличению цветности воды.

Значительное ухудшение качества воды в р. Буряя в весенне-летний период 2019 г. может быть обусловлено высоким содержанием взвешенного материала, в том числе тонкодисперсных частиц раздробленных горных пород и древесных остатков. Среди критических показателей можно назвать изменение цветности воды, увеличение концентрации ароматических соединений, в том числе стойких токсичных ПАУ, и содержания отдельных элементов (например, ртути). Такие изменения наблюдались в период заполнения Бурейского водохранилища.

Летом 2005 г. проведены исследования загрязнения р. Амур в устьевых зонах крупных притоков. Методом высокоэффективной жидкостной хроматографии были выявлены существенные различия в составе ПАУ в устьевых зонах рек Зея, Буряя и Сунгари. Меньше всего ПАУ поступало со стоком р. Зея (около 0,046 нг/л). Суммарное содержание 7 представителей ПАУ в устьевой зоне р. Буряя в поверхностных водах составляло 0,141 нг/л, в придонных – 0,176 нг/л. В воде р. Буряя доминировали антрацен и фенантрен, которые могут поступать с шахтными водами при добыче угля и образовываться при деструкции растительных остатков. В 2007 г. в зоне влияния стока р. Буряя у левого берега р. Амур в придонных слоях воды были идентифицированы продукты трансформации ПАУ, в том числе метилированные производные нафталина. В зоне влияния р. Сунгари суммарное содержание 7 представителей ПАУ в поверхностных водах составляло 0,151 нг/л, в придонных – 0,09 нг/л, но здесь доминировал бензо(б)флуорантен, наиболее часто встречающийся среди продуктов пиролиза нефти и сжигания нефтепродуктов [3].

Несмотря на то что высокомолекулярные ПАУ слабо растворимы и медленно разлагаются в водной среде, они могут существенно влиять на качество воды через сопряженные с их деградацией процессы, такие как метаногенез, сульфатредукция и нитратредукция [18].

Одной из актуальных экологических проблем гидроэнергетики является феномен стремительного увеличения содержания ртути в рыбе водохранилищ, особенно в первые годы их формирования. В водные экосистемы ртуть попадает при разрушении коренных пород, выщелачивании из рыхлых отложений и почв, при разложении растительности и гидробионтов, а также при выпадении атмосферных осадков [15]. Создание водохранилищ не вызывает суммарного возрастания ее количества в окружающей среде, но приводит к изменению ее формы и подвижности. Риск ртутного загрязнения зависит от многих факторов, в том числе от формы нахождения этого металла в окружающей среде [13]. Самая токсичная форма ртути – метилртуть (CH_3Hg^+), которая образуется в результате микробиологических

процессов. У монометилртути высокая проницаемость через биологические мембраны, она обладает высоким химическим сродством к сульфгидрильным группам белков и очень медленно выводится из организмов, что приводит к ее аккумуляции.

Пролонгированные эффекты в изменении качества воды в р. Амур могут быть связаны со сбросами воды из водохранилища в период ледостава. Многолетние наблюдения за состоянием загрязнения льда в р. Амур свидетельствуют, что со сбросами водохранилищ в реку поступает большое количество детрита. Вовлекаясь в биогеохимические процессы, детрит выступает в качестве предшественника различных летучих органических веществ, провоцирующих образование метилированной ртути [2, 4].

Существенное изменение химического состава воды в р. Буря в весенний период может быть обусловлено поступлением измельченных горных пород (увеличение количества взвесей), остатков древесных пород (повышение цветности и содержания высокомолекулярных органических веществ), концентрированных растворов из порового пространства промерзающих пород (изменение элементного состава), существовавших длительное время в состоянии регулярного заморозания/оттаивания.

Взрывные работы. Загрязнение нитроароматическими соединениями

Чтобы исключить подтопление населенных пунктов и инфраструктуры во время весеннего половодья, после декабрьского оползня принято решение расчистить русло реки путем буровзрывных работ. Эти работы проводятся в сложных климатических условиях при низких температурах, непосредственно в русле реки и ее водоохранной зоне, что несет потенциальные риски для окружающих наземных и водных экосистем.

С точки зрения экологических рисков экспертному сообществу чрезвычайно важно обсудить вопрос о поступлении в экосистемы водохранилища, рек Буря и Амур большого объема взвешенных веществ, их вовлечения в биогеохимические процессы с учетом миграции и седиментации. Среди размельченного материала скальных пород будут присутствовать микрочастицы взрывчатых веществ (рис. 4).



Рис. 4. Один из 100 шурфов – специальных скважин глубиной до 2,5 м, в которые закладывали тротил. *Фото Минобороны РФ*

Большинство исследований поведения взрывчатых веществ касается горнодобывающей промышленности или военных действий. В этих исследованиях негативное токсичное воздействие рассматривается на примере наземных экосистем. В нашем случае риск загрязнения продуктами взрывчатых веществ возникает непосредственно для зоны Бурейского водохранилища, следовательно, распространению компонентов взрыва будет способствовать перенос водных масс. В связи с тем, что работы по расчищению русла р. Бурейя проводят военные, информация о типе применяемых взрывчатых веществ или их смесей весьма ограничена. Есть сведения только об объемах использованных взрывчатых веществ. По сообщениям СМИ, для восстановления нормального гидрологического режима Бурейского водохранилища вертолетами Ми-8 и Ми-26 к месту работ доставлено более 200 т инженерных боеприпасов и взрывчатых веществ. Первые 10 т тротила были взорваны 25 января 2019 г., в результате образовалась воронка глубиной 3,5 м, длиной 120 м и шириной 30 м. В дальнейшем объемы взрывчатых веществ увеличивались, пока не произошел прорыв дамбы.

В настоящее время недостаточно информации о влиянии разных компонентов взрывчатых веществ на структуру сообществ и отдельных представителей гидробионтов, остро реагирующих на содержание минеральных взвесей в природных водах в условиях низких температур.

Особый вред водным экосистемам может нанести тротил (тринитротолуол – trinitrotoluene, ароматическое нитросоединение), который чаще всего используется при открытой разработке полезных ископаемых и в сейсморазведке. Тротил входит в состав многих аммиачно-селитренных взрывчатых веществ. В чистом виде в форме гранул (гранулол, гранитол, пелетол, нитропел, гранатол) или в смеси с алюминиевым порошком (алюмотол, гранатол А, айригел) тротил применяется в ряде стран в качестве водоустойчивых взрывчатых веществ. Гигроскопичность тротила около 0,05 %, он плохо растворяется в воде (0,15 % при 100 °С), хорошо – в органических растворителях (пиридин, ацетон, толуол, хлороформ). Учитывая его слабую растворимость в воде, можно предположить присутствие основных ингредиентов тротила в составе взвешенных веществ.

В результате взрывных работ выделяются различные газообразные углерод- и азотсодержащие компоненты (CO_2 , CO , O_2 , H_2 , CH_4 , C (сажа); N_2 , NH_3 , C_2N_2 , HCN , NO , N_2O ; SO_2 , H_2S , HCl , Cl_2), оксиды металлов, карбонаты и бикарбонаты, цианиды, сульфаты, сульфиды, хлориды и др. Естественно, они повлияют на содержание в водной среде разных форм азота, сульфатов и токсичных элементов. Экологический риск увеличивается при одновременном поступлении большого количества продуктов, образовавшихся в результате взрыва (динитротолуола и нитробензола).

На потенциальную опасность взрывчатых веществ в окружающей среде влияют физические, химические и биологические процессы [19]. Известно, что некоторые взрывчатые вещества, включая тротил (2,4,6-trinitrotoluene) и гексоген (hexahydro-1,3,5-trinitro-1,3,5-triazine), подвергаются биоразложению в аэробных и анаэробных условиях [20]. Этот процесс зависит от комплекса геохимических условий, включая степень увлажнения почвы, присутствие дополнительных органических веществ и условия аэрации. Установлено, что незначительные различия в свойствах почвы способны привести к существенным изменениям окислительно-восстановительного потенциала в результате процесса разложения тротила. Сформированные детонационные кратеры могут вызвать большие пространственные вариации скорости дренажа [12].

В анаэробных условиях преобразование тротила и гексогена ограничено ковалентным связыванием продуктов трансформации с поверхностью почвы [16]. На динамику разложения нитротолуола могут влиять микробиологические процессы, контролируемые такими абиотическими факторами, как присутствие ионов железа и гуминовых веществ [11]. В результате может активизироваться деятельность бактерий *Geobacter metallireducens*, участвующих в цикле железа [17].

Несмотря на то что проведено немало исследований по определению скорости трансформации взрывчатых веществ на военных полигонах, слабоизученными остаются такие

аспекты, как их биодоступность для конкретных групп организмов в соответствующих местообитаниях, поведение (адсорбция и десорбция) в разных типах почв и донных отложениях. Не совсем ясно, как происходит их деструкция при низких температурах. Как следствие, могут оказаться неожиданными поведение ионов железа и динамика формирования железо-гуматных комплексов не только в Бурейском водохранилище, но и в реках Бурей и Амур. Это осложняет оценку экологического риска при проведении взрывных работ на р. Бурей.

Нынешняя ситуация напоминает события, когда произошло загрязнение р. Амур нитробензолом после техногенной аварии в Китае, случившейся в декабре 2005 г. В связи с этим вновь необходимо обсудить проблему загрязнения водных экосистем токсичными нитроароматическими соединениями, но уже вследствие проведения взрывных работ непосредственно на водохранилище, поскольку среди продуктов трансформации взрывчатых веществ может присутствовать нитробензол [14].

Интенсивное загрязнение окружающей среды в зоне оползня растительными остатками, нефтепродуктами от транспортных средств, привлеченных для проведения взрывных работ, большое количество взрывчатых веществ могут привести к существенному изменению качества воды в реках Бурей и Амур. В летний период ниже стока р. Бурей можно прогнозировать увеличение содержания ПАУ растительного генезиса и продуктов преобразования углеводородов, входящих в состав дизельного топлива и других нефтепродуктов. Эти изменения могут быть сопоставимы с экологическими эффектами, которые наблюдались в начале формирования водохранилища, и они могут сопровождаться существенной перестройкой биотических комплексов.

Заключение

По мнению экспертов, предсказать последствия взрывов для водных экосистем очень сложно. Взрывы на месте оползня, случившегося на р. Бурей 11 декабря 2018 г., могут вызвать обвал грунта оставшейся части горы, образовать волны, высота которых может достигать 20 м и выше. Расчищение русла путем взрывов не спасает от затопления населенные пункты: с. Чекунда может быть затоплено уже в марте, прогноз по с. Эльга уточняется. Существует риск новых сходов грунта, и не обязательно во время взрывных работ. Эти оползни уже будут носить антропогенно-спровоцированный характер. Риск будет возрастать в весенний период, когда увеличится поверхностный сток при таянии снега и мерзлых грунтов. Необходимо учесть, что последствия схода большой массы горных пород в летний период могут иметь совершенно иные риски, которые необходимо предусмотреть уже сейчас.

Наряду с риском затопления населенных пунктов в долине р. Бурей существуют пролонгированные экологические риски. Их распознавание и тем более предотвращение – невероятно сложная задача. С этими рисками связано качество воды – основного фактора изменения структуры и разнообразия сообществ гидробионтов, динамики сукцессионных процессов и основ стабильного функционирования водных экосистем.

Взрывные работы, огромная масса размельченных горных пород и древесины, временная инфраструктура Минобороны РФ, вертолеты, бульдозеры – все это сосредоточено на локальном участке водного объекта, где уже произошло аномальное природное геологическое явление, которое можно отнести к мощному фактору экологического риска. В весенний период в водную среду поступит большое количество минеральных веществ, растительных остатков, углеводородного топлива и продуктов взрывчатых веществ. По масштабам это может быть сопоставимо с аварийным сбросом после техногенной аварии.

Чрезвычайно важно своевременно организовать междисциплинарный мониторинг последствий всех мероприятий по освобождению русла р. Бурей от оползня. Опыт таких работ в бассейне р. Бурей имеется у научных сотрудников Дальневосточного отделения

Российской академии наук. Наиболее активно исследования проводили на первом этапе по программе социально-экологического мониторинга Бурейского гидроузла по заданию МПР Российской Федерации (2003–2008 гг.). Мониторинг состоял из блоков природно-социального назначения одинаковой важности (метеорологический, геологический, водная среда, почвенный покров, растительность, сельскохозяйственные земли, животный мир, социальная среда). Затем по мере сокращения финансирования эти работы стали постепенно сворачиваться. Однако сформированная база данных может стать основой для сравнительной оценки социальных и экологических рисков после мероприятий по предотвращению последствий экзогенных природных процессов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Гидроэкологический мониторинг зоны влияния Бурейского гидроузла. Хабаровск: ИВЭП ДВО РАН, 2007. 273 с.
2. Кипер Р.А., Кондратьева Л.М., Голубева Е.М. Биогеохимические аспекты условий метилирования ртути во льдах реки Амур // Криосфера Земли. 2017. Т. 21, № 2. С. 25–32.
3. Кондратьева Л.М., Андреева Д.В., Голубева Е.М. Влияние крупных притоков на биогеохимические процессы в реке Амур // География и природ. ресурсы. 2013. № 2. С. 36–43.
4. Кондратьева Л.М., Андреева Д.В., Голубева Е.М. Факторы, влияющие на процессы сульфатредукции и метилирования ртути во льдах реки Амур // Лед и снег. 2018. № 1. С. 105–116.
5. Кондратьева Л.М. Экологический риск загрязнения водных экосистем. Владивосток: Дальнаука, 2005. 299 с.
6. Кусковский В.С. Экзогенные геологические процессы на берегах Саяно-Шушенского водохранилища // Проблемы гидрогеологии, инженерной геологии и гидрогеоэкологии: материалы Всерос. науч. конф. / под ред. С.Л. Шварцева; Томский политехн. ун-т. Томск: Изд-во НТЛ, 2011. С. 140–146.
7. Мордовин А.М., Шестеркин В.П., Антонов А.Л. Река Буряя: гидрология, гидрохимия, ихтиофауна. Хабаровск: ИВЭП ДВО РАН, 2006. 149 с.
8. Научные основы экологического мониторинга водохранилищ: Дружининские чтения. Материалы Всерос. науч.-практ. конф., Хабаровск, 28 февр. – 3 марта 2005 г. Хабаровск: ИВЭП ДВО РАН, 2005. 214 с.
9. Факторы формирования качества воды на Нижнем Амуре / под ред. Л.М. Кондратьевой. Владивосток: Дальнаука, 2008. 217 с.
10. Шестеркин В.П., Шестеркина Н.М. Гидрохимия Бурейского водохранилища в период заполнения (2005–2006 гг.) // Современные проблемы водохранилищ и их водосборов: тр. междунар. науч.-практ. конф., Пермь, 28 мая – 1 июня 2007 г. Пермь: Перм. гос. ун-т, 2007. Т. 2. С. 100–104.
11. Bhushan B., Halasz A., Hawari J. Effect of iron (III), humic acids and anthraquinone-2,6-disulfonate on biodegradation of cyclic nitramines by *Clostridium* sp. EDB2 // J. Appl. Microbiol. 2006. Vol. 100. P. 555–563.
12. Borden R.C., Won J., Yuncu B. Natural and Enhanced Attenuation of Explosives on a Hand Grenade Range // J. Environ. Quality. 2017. Vol. 46. P. 961–967.
13. Constant P., Poissant L., Villemur R., Yumvihoze E., Lean D. Fate of inorganic mercury and methyl mercury within the snow cover in the low arctic tundra on the shore of Hudson Bay (Quebec, Canada) // J. Geophys. Res: Atmospheres. 2007. Vol. 112, N 8. P. 1–10.
14. Eriksson J., Frankki S., Shchukarev A., Skjellberg U. Binding of 2,4,6-trinitrotoluene, aniline, and nitrobenzene to dissolved and particulate soil organic matter // Environ. Sci. Technol. 2004. Vol. 38, N 11. P. 3074–3080.
15. Frohne T., Rinklebe J., Langer U., Du Laing G., Mothes S., Wennrich R. Biogeochemical factors affecting mercury methylation rate in two contaminated floodplain soils // Biogeosciences. 2012. Vol. 9. P. 493–507.
16. Kalderis D., Juhasz A.L., Boopathy R., Comfort S. Soils contaminated with explosives: Environmental fate and evaluation of state-of-the-art remediation processes // Pure Appl. Chem. 2011. Vol. 83. P. 1407–1484.
17. Kwon M.J., Finneran K.T. Biotransformation products and mineralization potential for hexahydro-1,3,5-trinitro-1,3,5-triazine (RDX) in abiotic versus biological degradation pathways with anthraquinone-2,6-disulfonate (AQDS) and *Geobacter metallireducens* // Biodegradation. 2008. Vol. 19. P. 705–715.
18. Yuan S.Y., Chang B.V. Anaerobic degradation of five polycyclic aromatic hydrocarbons from river sediment in Taiwan // J. Environ. Sci. Health. 2007. Vol. 42, N 1. P. 63–69.
19. Juhasz A.L., Naidu R. Explosives: fate, dynamics, and ecological impact in terrestrial and marine environments // Rev Environ Contam Toxicol. 2007. Vol. 191. P. 163–215.
20. Won J., Borden R.C. Impact of glycerin and lignosulfonate on biodegradation of high explosives in soil // J. Contam. Hydrol. 2016. Vol. 194. P. 1–9.