Изменение элементного состава воды в Бурейском водохранилище после крупного оползня

Голубева Е.М.

Институт тектоники и геофизики им. Ю.А. Косыгина Дальневосточного отделения Российской академии наук, Хабаровск, Россия, E-mail: evg8302@yandex.ru

Кондратьева Л.М.

Хабаровский федеральный исследовательский центр. Институт водных и экологических проблем, Хабаровск, Россия, E-mail: kondrlm@rambler.ru

АННОТАЦИЯ: Впервые представлены результаты исследования элементного состава воды в акватории Бурейского водохранилища в зоне влияния крупного оползня до и после проведения взрывных работ. Ниже тела оползня отмечено увеличение содержания Al, Fe, W, Cr и Pb. Наиболее существенные изменения качества воды произошли после проведения взрывных работ. В искусственном канале отмечено резкое увеличение концентраций Pb, Cd и Hg.

Changes in the elemental composition of water from the Bureyskya reservoir after a major landslide

Golubeva E.M.

Institute of Tectonics and Geophysics FEB RAS, Khabarovsk, Russia

Kondratyeva L.M.

Khabarovsk federal scientific center. Institute of water and ecological problems FEB RAS, Khabarovsk, Russia

ABSTRACT: For the first time, the results of studying the elemental composition of water in the water area of a Bureyskya reservoir in the zone of landslide influence before and after blasting are presented. Below the landslide body, an increase in the content of Al, Fe, W, Cr, and Pb was established. The most significant changes in water quality occurred after blasting. A sharp increase in the concentrations of Pb, Cd, and Hg was shown in the artificial channel.

ВВЕДЕНИЕ

Оползни, как катастрофические явления, наносят разрушительный ущерб, и приводят к гибели людей во всем мире [7]. Несмотря на то, что много внимания уделяется изучению механизмов образования оползней, крайне редко анализируется изменение химического состава водных объектов, находящихся в их зоне влияния. Это касается рек, водохранилищ и подземных водоносных горизонтов. Катастрофические экзогенные геологические процессы и связанные с ними оползневые явления приводят к изменению биогеохимических циклов многих литогенных элементов, и выступают фактором высвобождения токсичных тяжелых металлов в окружающую среду.

Одним из главных факторов, провоцирующих оползни и камнепады выступает изменение климата, сопровождаемое таянием мерзлых пород, ледников и увеличением количества осадков. Вода, как ключевой фактор, ускоряющий процесс выветривания, ослабляет механические свойства горных пород, их неоднородность и приводит к формированию рыхлого промежуточного слоя из аргиллита [9].

В декабре 2018 г. в Верхнебуреинском районе (Дальний Восток) сошел оползень с сопки на берегу Бурейского водохранилища (БВДХ). Оползень перекрыл бывшее русло реки Бурей от берега до берега, при этом ограничив доступ воды к Бурейской ГЭС, которая была запущена в эксплуатацию в 2003 г. Следует подчеркнуть, что оползень произошел через 16 лет после заполнения водохранилища, периодического сезонного обводнения/осушения флюктуационного пояса и длительного обводнения в 2013 г. после катастрофического наводнения в бассейне р. Амур. Работы, посвященные исследованию процессов, происходящих в зонах оттаивания/замораживания, касаются в основном их влияния на изменение механических свойств и пористости горных пород [6, 8].

Цель нашего исследования состояла в анализе особенностей распределения химических элементов в акватории БВДХ вокруг гигантского оползня и после проведения крупномасштабных взрывных работ для создания искусственного канала.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ

Коренные породы, слагающие крутой левый склон долины р. Бурей, представлены протеро-

зойскими магматическими породами. В зонах разломов отмечена повышенная трещиноватость пород, которая существенно ослабила устойчивость склона, подготовив смещение огромных масс горных пород. Значительную роль в подготовке условий для смещения оползня сыграло заполнение водохранилища, в результате которого подземные воды проникли под основание склона, увеличив обводненность трещиноватых пород в нижней его части и снизив устойчивость горных пород [3]. Мерзлотные процессы изучены лишь в центральной части бассейна в связи со строительством железных дорог, поселков и угольных шахт в Ургальском каменноугольном бассейне. Мощности многолетнемерзлых пород (ММП) представлены в виде геокриологической схемы с тремя районами [4].

Бурейский оползень произошел 11 декабря 2018 г. в 14:48 местного времени при температуре воздуха $-36,2^{\circ}\text{C}$. Глубина промерзания грунтов составляла 0,8 м [2]. Согласно детальным геодезическим измерениям объем сошедшего с левого берега оползня составил 24,5 млн. м³.

В связи с труднодоступностью района схода оползня на Бурейском водохранилище исследования в его акватории проводили во время краткосрочных вылетов вертолетов МЧС России. Пробы воды были отобраны до начала взрывных работ выше и ниже тела оползня у левого и правого берега. После проведения взрывных работ пробы воды отбирали из образованного канала у левого берега (рис. 1).

Рис. 1. Границы оползня и места отбора проб воды: 1 – стенка срыва оползня, 2 – оползневое тело, 3 – канал из верхней части водохранилища в нижнюю после взрывных работ, 4 – точки отбора проб воды

Пробы природной воды консервировали свежеприготовленной азотной кислотой 1:1. Эле-

ментный состав природных вод и водных вытяжек определяли методом масс-спектрометрии с индуктивно связанной плазмой на ICP-MS ELAN-9000 фирмы Perkin Elmer (США).

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Сход оползня на БВДХ способствовал формированию биогеохимического барьера, что существенно изменило динамику миграции многих химических элементов. Древесные остатки после цунами, поверхностный сток с высоким содержанием органических веществ (ОВ) различного генезиса, размывание тела оползня, седиментация размельченных горных пород, поступление из порового пространства природных веществ привели к интенсификации процессов трансформации органических и минеральных соединений.

Анализ содержания химических элементов в пробах воды, отобранных выше и ниже тела оползня (у левого и правого берега), показал их неравномерное распределение. Это можно объяснить процессами инфильтрации воды сквозь тело оползня (табл.1). Концентрации элементов в воде вокруг оползня изменялись в разных пределах, либо увеличивались, либо уменьшались.

Таблица 1. Элементный состав воды в акватории Бурейского ВДХ в районе оползня (январь, 2019 г.), мкг/л

Элемент	ЛБ выше	ЛБ ниже	ПБ выше	ПБ ниже
Mg	1467,98	1350,74	1457,78	1375,48
Al	164,00	181,82	165,75	185,27
Ca	4102,51	3874,44	4160,18	3907,78
Cr	0,97	1,24	1,02	1,4
Mn	11,54	9,89	7,73	9,50
Fe	207,85	344,11	274,20	338,41
Ni	1,12	0,75	0,72	2,90
Cu	5,60	5,67	3,97	5,11
Zn	22,38	16,99	14,19	11,27
Se	0,07	<0,001	0,01	<0,001
Cd	0,11	0,03	0,19	0,03
Pb	0,25	1,32	0,03	1,38
Bi	0,02	0,05	0,55	0,09

В первую группу входили элементы концентрация которых увеличивалась ниже тела оползня: Al, Fe, W, Cr и Pb; вторую группу составляли элементы, концентрация которых яв-

но уменьшалась: Mg, Ca, Zn, Se и Cd. Самое существенное увеличение концентраций у обоих берегов после прохождения сквозь тело оползня было характерно для свинца, а минимальное снижение – для кадмия. Поведение отдельных элементов отличалось у разных берегов. Только у правого берега, на котором проявился максимальный эффект цунами, сопровождавшийся уничтожением растительного покрова, было отмечено существенное увеличение концентрации никеля и меди.

В результате оползня произошло количественное изменение элементного состава воды в Бурейском ВДХ. Поступление в поверхностные воды дополнительных источников органических веществ и химических элементов из горных пород, растительных и почвенных остатков, их взаимодействие с водой влияли на содержание органоминеральных комплексов, оказывающих существенное влияние на растворимость и миграционную способность токсичных тяжелых металлов.

ИЗМЕНЕНИЕ ЭЛЕМЕНТНОГО СОСТАВА ПОСЛЕ ПРОВЕДЕНИЯ ВЗРЫВНЫХ РАБОТ

Проведение буровзрывных работ на Бурейском водохранилище было вызвано необходимостью восстановления его проточности в районе оползня, чтобы снизить риски подтопления населенных пунктов и инфраструктуры во время весеннего половодья. В конкретном случае эти работы проводили для прорыва тела оползня и создания проточного канала. По данным Минобороны России для создания этого канала было использовано около 260 т тротила (тринитротолуола) и подорвано около 520 комплектов кумулятивных зарядов, содержащих гексоген. Поэтому необходимо учесть, что среди размельченного материала скальных пород присутствовали микрочастицы взрывчатых веществ и продукты их детонации [1].

При анализе изменения содержания исследуемых элементов в воде с течением времени (февраль-март-апрель) были выделены две группы, отличающиеся по динамике своего поведения. Для первой группы элементов (Ni, Se, Cd, W, Hg, Bi) было отмечено снижение концентрации, для второй группы (Fe, Al, Cr, Mn, Cu, Zn, Pb) – увеличение содержания. Распределение халькофильных элементов в акватории Бурейского водохранилища после оползня и проведения взрывных работ имело очень сложный характер (рис. 2).

Обращает на себя внимание резкое снижение содержания железа и алюминия после проведения взрывных работ и частичное восстановление в марте. Стоит отметить, что в пробах во-

ды, отобранных 14.02.2019 г. установлено большое разнообразие органических соединений различного строения, включая гексан, ацетальдегид, этилацетат, m- и o-ксилолы и др.

Рис. 2. Содержание элементов (мкг/л) в пробах воды в районе оползня: 1 – 4 (25.01.2018) – выше и ниже тела оползня; 5 – 10 – вода из канала, после взрывных работ: 5 – 8 – 14.02.2019; 9 – 01.03.2019; 10 – 17.04.2019

При проведении корреляционного анализа выявлена положительная связь в парах Fe-гексан и Fe-изопропилбензол ($R=0,952$ и $R=0,658$, соответственно). Это может быть связано с экстракцией гуминоподобных соединений из порового пространства тонкодисперсных горных пород, поступивших в воду после взрывов.

Содержание марганца снижалось как после прохождения сквозь тело оползня, так после проведения взрывных работ, когда в канале присутствовало большое количество взвешенного материала. Менее выраженными были изменения концентрации цинка и хрома. Содержание меди после взрывных работ долго восстанавливалось.

В пробах воды, отобранных спустя несколько месяцев после восстановления проточности в водохранилище через канал, содержание железа, марганца, алюминия, меди и цинка не достигли значений концентраций установленных до проведения взрывных работ. Однако концентрация хрома увеличилась в 2,3 раза по сравнению с периодом, который предшествовал мероприятиям по восстановлению проточности. Выявлены прямые положительные корреляционные связи между парами элементов Fe-Al, Al-Cu, Zn-Cu ($R=0,933$; $R=0,919$; $R=0,900$ соответственно). Вероятно, такие связи между литогенными элементами связаны с химическим составом горных пород, поступивших в воду после оползня и в результате взрывов.

Взрывные работы повлияли на резкое увеличение содержания приоритетных токсичных эле-

ментов Pb, Cd и Hg. Причем концентрации свинца и ртути в канале превысили значения, установленные до проведения взрывов (Pb более, чем в 7 раз, Hg - 80 раз). Повышенные концентрации ртути были установлены в пробах воды, отобранных в канале после окончания взрывных работ (0,08 мкг/л), которые снижались в апреле до пределов обнаружения (<0,001 мкг/л). Такие особенности распределения этого металлоида связаны с поступлением мелкодисперсных частиц почвы, размельченных горных пород, а также присутствием метилсодержащих органических соединений [1]. Ранее было установлено, что эмиссия ртути из оголенных почв превышает в два раза таковую из почвы, покрытой густой растительностью [5].

Присутствие в пробах воды ртути и метилсодержащих органических соединений (толуола, m-, o-ксилолов) является предпосылкой для образования ее растворимой метилированной формы. Этим процессом может быть обусловлено увеличение ее концентрации в воде.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Проведенные исследования показали, что существенные различия в количественном содержании большинства элементов в воде Бурейского водохранилища после катастрофического оползня были связаны с взрывными работами, размельчением горных пород, активизацией биогеохимических процессов в системе водопорода, образованием различных форм элементов (растворимых и нерастворимых). Наиболее существенные изменения были выявлены в поведении железа и ртути.

После проведения взрывных работ содержание железа в воде созданного канала резко снизилось до следовых значений. Это может быть связано с процессами окисления металла в результате размельчения горных пород, высвобождения органических веществ, образования железо-гуматных комплексов и их осаждения в составе взвешенных веществ. Спустя три месяца содержание железа в канале постепенно увеличилось до природных значений. Остается открытым вопрос о распределении взвешенного материала в зонах седиментации, вовлечении органоминеральных комплексов в биогеохимические процессы и изменение концентраций

многих элементов на других участках водохранилища ниже по течению от тела оползня.

Максимальная концентрация ртути была установлена в канале после завершения взрывных работ, она составляла 8 ПДК для рыбохозяйственных водных объектов. Увеличение концентрации этого халькофильного элемента в пробах воды, после образования канала, может быть связано с поступлением из порового пространства метилсодержащих летучих органических веществ и образованием более подвижной токсичной метилртути.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Кондратьева Л.М., Махинов А.Н., Ким В.И., Филиппова Г.М. Изменение качества воды в акватории крупного оползня на Бурейском водохранилище // Водохранилища Российской Федерации: Современные экологические проблемы, состояние, управление, Новочеркасск: Изд-во Лик. – 2019. – С. 409–416.
2. Кулаков В.В., Махинов А.Н., Ким В.И., Остроухов А.В. Катастрофический оползень и цунами в водохранилище Бурейской ГЭС (бассейн Амура) // Геоэкология, Инженерная геология, Гидрогеология, Геокриология – Т. 3. – 2019. – С. 12–20.
3. Махинов А.Н., Ким В.И., Остроухов А.В., Матвеев Д.В. Крупный оползень в долине реки Бурея и цунами в водохранилище Бурейской ГЭС // Вестник ДВО РАН. – № 2. – 2019. – С. 35–44.
4. Мордовин А.М., Шестеркин В.П., Антонов А.Л. Река Бурея: гидрология, гидрохимия, ихтиология. – Хабаровск: Изд-во ИВЭП ДВО РАН. – 2006. – 149 с.
5. Gabriel M.C., Williamson D. Some insight into the influence of urban ground surface properties on the air-surface exchange of total gaseous mercury // Appl. Geochem. – V. 23. – 2008. – P. 794–806.
6. García-Giménez R., Frías M., Arribas I., Vegas I., Vigilde la Villa R., Rubio V. Freeze-thaw effect on the durability of binary cements containing activated coal-mining waste // Constr. Build. Mater. – V. 190. – 2018. – P. 140–149.
7. Mavrouli O., Corominas J. Vulnerability of simple reinforced concrete buildings to damage by rockfalls // Landslides. – V. 7(2). – 2010. – P. 169–180.
8. Medina C., Sánchez de Rojas M. I., Frías M. Freeze-thaw durability of recycled concrete containing ceramic aggregate // J. Clean. Prod. – V. 40. – 2013. – P.151–160.
9. Wang J.J., Zhao T.L., Chai H.J., Tang S.C. Failure of a rock slope 16,5 years after excavation in repeated strata of sandstone and mudstone // Environ. Earth Sci. – V. 75. – 2016. – e1458.