

РЕКОНСТРУКЦИЯ ИНТЕНСИВНОСТИ НАВОДНЕНИЙ НА ЗАПАДНОМ ПОБЕРЕЖЬЕ ЯПОНСКОГО МОРЯ В ПОСЛЕДНИЕ ТЫСЯЧЕЛЕТИЯ; ВЛИЯНИЕ ИЗМЕНЕНИЙ КЛИМАТА

Астахов А.С.¹, Аксентов К. И.¹, Дарьин А.В.²

¹*Тихоокеанский океанологический институт им. В.И. Ильичева ДВО РАН,
г. Владивосток*

²*Институт геологии и минералогии им. В.С.Соболева СО РАН, г. Новосибирск
astakhov@poi.dvo.ru*

Число наводнений, в том числе катастрофических, на юге Дальнего Востока РФ, в северо-восточном Китае и в Северной Корее в последние десятилетия начало возрастать [1–4]. Многие исследователи предполагают дальнейшее увеличение числа и интенсивности наводнений в регионе, в том числе среднесрочной (2051–2075 гг.), перспективе [4]. На юге Приморского края предполагается увеличение количество средних летних на 10–20 % в 2041–2060 г.г. относительно 1995–2014 годов [5]. Основными причинами возникновения наводнений считаются тайфуны и внетропические циклоны, часто возникающие при прохождении полярного фронта [1; 3]. В Приморье с осадками тайфунного происхождения связаны более 60 % наводнений [1].

Прогноз будущих изменений интенсивности наводнений в регионе требует выявления динамики этого процесса за длительное время. Инструментальные измерения дают информацию только о последнем столетии. В данной работе для реконструкции истории катастрофических наводнений мы использовали наличие в донных осадках Амурского залива слоев, образованных осадочным веществом, вынесенным с суши во время экстремальных наводнений. От вмещающих отложений они отличаются более грубым (алевритовым) гранулометрическим составом и низким содержанием брома (рис. 1), поступающего в осадки почти исключительно с морским органическим веществом. В ряде случаев эти слои выделяются и низким содержанием рубидия, что определяется низким содержанием его в алеврит-песчаном материале.

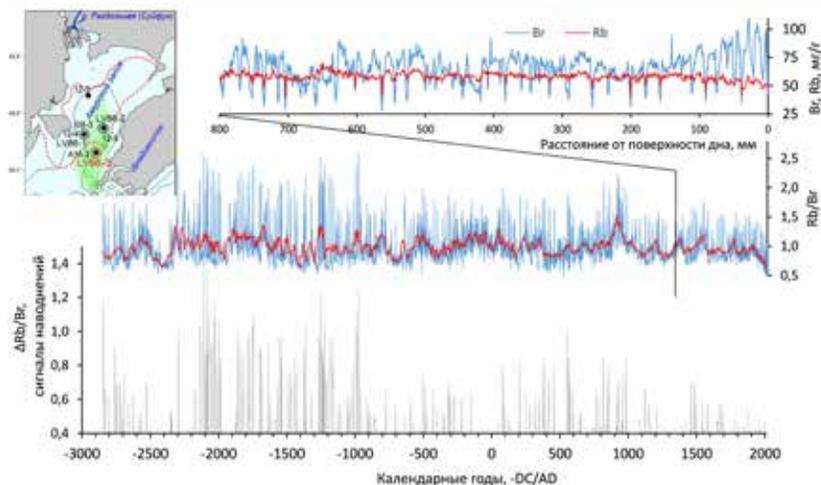


Рис. 1. Схема преобразования содержаний брома и рубидия в сигналы наводнений $B_{r_{\min}}$ и $\Delta Rb/Br$ по данным сканирования осадков колонки LV66-3 на установке рентгенофлуоресцентного анализа использующего синхротронное излучение. На врезке место отбора колонки LV66-3 и положение зоны гипоксии в Амурском заливе Японского моря [8]; красные сплошная и штриховая линии – границы области максимального смешения морских и речных вод (соленость менее 20 ‰) для летней межени и летнего паводка соответственно [9]

Для исследований выбрана колонка донных осадков LV66-3 длиной 466 см, полученная гравитационной трубкой в 66 рейсе НИС «Академик М.А. Лаврентьев» в 2014 г. в Амурском заливе Японского моря (рис. 1). Возрастная модель ее была обоснована AMS¹⁴C датировками раковин моллюсков, распределением ²¹⁰Pb и ¹³⁷Cs, палеомагнитными, тифростратиграфическими и литостратиграфическими данными [6] и построена с использованием вероятностной модели *Wacon 2,2* [7]. Для анализа по всей длине колонки были отобраны монолиты размером 170×15×7 мм из которых были приготовлены твердые препараты. Для этого образцы подвергались «шоковой» заморозке в жидком азоте, затем проводилась сушка в лиофильной камере и насыщение полимером – смесью эпоксидной смолы и ацетона. Непосредственно для измерений готовились пластинки толщиной 2 мм с шлифованной поверхностью. Анализ подготовленных препаратов проводился по ранее отработанным методикам в Институте ядерной физики СО РАН (г. Новосибирск) на установке сканирующего рентгенофлуоресцентного анализа

использующей в качестве источника возбуждения синхротронное излучение из ускорителя ВЭПП-3 (РФА СИ). С шагом 0,5–0,8 мм определялись содержания 20 элементов, из которых только Вг и Rb оказались индикаторами слоев наводнений.

Полученные новые результаты РФА СИ 1), определенные ранее в верхней части колонки [6] как сигналы наводнений различной интенсивности и происхождения. Часть этих сигналов совпадает с отрицательными пиками рубидия (рис. 1), что подтверждает низкое содержание или отсутствие глинистого материала в этих прослоях или в их центральной части. Можно предполагать, что формирование их происходило в периоды (сезоны) наиболее интенсивного стока реки Раздольная, когда шлейф замутненных речных вод распространялся до места отбора колонки в центральной части залива (рис. 1). Количество прослоев, где проявлены минимумы брома и рубидия одновременно по колонке составляет 25 %. В ее нижней части, накопившейся 2,5–4,8 тыс. лет назад они составляют 40–45 %. Эта цифра близка относительному количеству 39,5 % наводнений, вызванных прохождением внетропических циклонов по данным гидрометеорологических наблюдений в Приморье за последнее столетие [1]. Такие условия, по мнению некоторых авторов возникают в периоды проникновения в регион глубоких внетропических полярно-фронтальных циклонов, часто, при дополнительном подпитки с юга затухающими тайфунами [3; 5]. В отличие от прохождения одиночных тайфунов ливневые дожди, связанные с циклогенезом на полярных фронтах проявляются более длительный период и распространяются на обширные территории [1], концентрируя, в нашем случае, осадки со всего водосборного бассейна реки Раздольная.

Для выявления сигналов наводнений использован ранее примененный подход, основанный на подсчете числа и амплитуды положительных пиков Rb/Vr, нормированных относительно тренда этой величины [6]. В нашем случае использовался тренд по 41 точке (рис. 1), а в качестве сигналов наводнений принимались пики $\Delta Rb/Vr$ больше 0,2 и 0,4 (рис. 1). Величина пиков принималась за интенсивность наводнения. Рассматривалась также возможность прямого использования в качестве сигналов наводнений и их интенсивности отрицательных пиков брома и их абсолютной величины. Для столетних периодов была рассчитана частота наводнений

(количество сигналов за/100 лет) и максимальная амплитуда сигналов как показатель интенсивности наводнений.

Проведенный предварительный анализ результатов позволяет предполагать, что основная часть наводнений так же как в современных условиях связана с ливневыми дождями сопровождающих проникновением на территорию Приморья тайфунов. Это подтверждается хорошей корреляцией между летней температурой воздуха региона, реконструированной по различным объектам и прокси, с выявленной частотой наводнений и их интенсивностью на протяжении всего изученного периода. Это соответствует известному мнению о смещении траекторий тайфунов югу в холодные периоды и наоборот [7]. В нашем случае уменьшение амплитуды сигналов наводнений $\Delta Rb/Br$ (рис. 1) за реконструируемый период совпадает с трендами изменений летних температур в регионе и тенденцией изменения солнечная инсоляция на данной широте.

В то же время корреляция между частотой и интенсивностью наводнений с количеством летних атмосферных выпадений отсутствует. Причиной этого предполагается специфический тип муссонного климата «warm-dry and cold-wet» [10]. В этих условиях повышенная облачность в дождливые сезоны/годы затрудняет прогревание солнцем земной поверхности, определяя пониженную температуру воздуха и, соответственно, препятствуя проникновению тайфунов. Полученные результаты свидетельствуют о том, что прогноз частоты и интенсивности наводнений на восточном побережье Японского моря должен основываться на прогнозе будущих изменений летней температуры воздуха, а не атмосферных осадков.

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского научного фонда, грант № 25-27-20098.

Литература

1. Федоровский А.С., Бортин Н.Н., Горчаков А.М. и др. Ливневые дожди как фактор наводнений в Приморском крае // Водное хозяйство России. 2019. № 4. С. 144-168.
2. Qi W., Feng L., Yang H. et al. Spring and summer potential flood risk in Northeast China // Journal of Hydrology: Regional Studies 2021. 38. 100951.

3. Махинов А.Н., Лю Шугуан, Ким В.И. и др. Особенности больших наводнений на реке Амур в период высокой водности 2009–2021 гг. // Тихоокеанская география. 2023. № 1. С. 64-74.
4. Wu Y., Ju H., Qi P. et al. Increasing flood risk under climate change and social development in the Second Songhua River basin in Northeast China // Journal of Hydrology: Regional Studies. 2023. 48. 101459.
5. Лисина И.А., Василевская Л.Н., Василевский Д.Н. и др. Анализ причин наводнения на реке Партизанская (Приморский край) в сентябре 2022 года // Гидрометеорологические исследования и прогнозы. 2023. № 1 (387). С. 102-119.
6. Астахов А.С., Дарьин А.В., Калугин И.А. и др. История катастрофических наводнений на побережье Амурского залива Японского моря за последние 1800 лет; реконструкция по седиментационным записям // Метеорология и гидрология. 2019. № 1. С. 91-102.
7. Astakhov A.S., Babich V.V., Darin A.V. et al., Westerlies influenced monsoonal climate: reconstructions of summer/winter temperature and precipitation based on Japan Sea shelf Late Holocene sediments geochemistry. Paleoclimatology and Paleoceanography. 2025, subm.
8. Тищенко П.П., Тищенко П.Я., Звалинский В.И. и др. Карбонатная система Амурского залива (Японское море) в условиях гипоксии // Океанология. 2011. Т. 51. № 2. С. 246-257.
9. Аникиев В.В., Косенкова С.Т., Савельева Н.И. и др. Статистическое районирование пространственного распределения микроэлементов в донных осадках залива Петра Великого (Японское море) // Геохимия. 2000. № 6. С. 664-675.
10. Razjigaeva N., Ganzey L., Grebennikova T., & Ponomarev V. “Cold-Dry” and “Cold-Wet” Events in the Late Holocene, Southern Russian Far East // Climate. 2023. 11(4) 91.