ВЛИЯНИЕ МЕЖГОДОВОЙ ИЗМЕНЧИВОСТИ РЕЧНОГО СТОКА НА ГЕОХИМИЮ ЭСТУАРНЫХ И ПРИБРЕЖНО-МОРСКИХ ДОННЫХ ОТЛОЖЕНИЙ

Шулькин В.М.¹, Струков А.Ю.²

¹Тихоокеанский институт географии ДВО РАН, Владивосток, Россия, E-mail: shulkin@tig.dvo.ru

²Дальневосточный федеральный университет, Владивосток, Россия

АННОТАЦИЯ: В работе рассмотрены межгодовые вариации гранулометрического состава, концентрации $C_{орг}$ и геохимических форм нахождения Fe, Mn, Zn, Cu, Pb, Cd, Hg в верхнем слое донных отложений эстуария р.Раздольная и прилегающих морских акваторий в периоды с более чем 6 кратной разницей в объеме твердого речного стока. В сочетании с данными по вертикальному распределению геохимических параметров по колонкам современных донных отложений длиной 20-26 см и возрастом 40-50 лет, это позволяет оценить динамику накопления загрязняющих веществ в донных отложениях, а также прогнозировать отклик прибрежно-морских экосистем на возможные изменения стока рек в результате климатических изменений и антропогенной нагрузки.

1. ВВЕДЕНИЕ

Проблема влияния климатических изменений на биогеохимические процессы на водосборах бореальной зоны, а также на количественные и качественные характеристики речного стока и состояние прилегающих морских экосистем привлекает особое внимание последние 20 лет. В результате потепления прогнозируется увеличение среднего стока рек в XXI веке на 15-26% [2], хотя существуют и более консервативные оценки [1]. Для характеристики масштабов возможного влияния этой долгосрочной тенденции на прилегающие морские акватории, можно попробовать использовать оценку влияния межгодовой изменчивости речного стока, которое даже для крупных рек Амура, Лены, Енисея может составлять 100–150%, а для средних и малых рек достигает 200–300% [1]. При этом необходимо учитывать и сезонную изменчивость водного и твердого стока, которая характерна для рек бореальной зоны Евразии, где сток во время зимней межени на 1-2 порядка меньше, чем в период высокой воды. Это затрудняет использование вариаций гидрохимических параметров прибрежных акваторий для оценки влияния многолетних изменений речного стока. Более перспективным может оказаться использование современных донных отложений, при образовании которых со скоростью 1–5 мм/год вероятно происходит нивелирование большей части сезонной изменчивости в поставке терригенного материала с речным стоком.

Можно предположить, что межгодовые вариации твердого стока рек отражаются в изменении характеристик морских донных отложений, образованных за счет его трансформации, и оценка масштаба этих изменений позволит прогнозировать влияние изменения климата на

речной сток и процессы в прибрежных экосистемах.

Целью работы является характеристика вариаций механического и химического состава верхнего слоя донных отложений эстуария р. Раздольная и прилегающей морской акватории в связи с межгодовой изменчивостью речного стока.

2. ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ

Раздольная – типичная река юга Приморского края с площадью водосбора $16.8 \cdot 10^3$ км² и среднемноголетним стоком 2.27 км³ (рис. 1). Климат водосбора муссонный с выпадением 90% осадков с апреля по октябрь, и соответственно, неравномерным гидрографом речного стока и выраженными дождевыми паводками. Кроме сезонной изменчивости, для стока р. Раздольная характерны значительные межгодовые вариации, в частности, с 2014 по 2016 водный сток увеличился в 2.6 раз с 1.90 до 4.89 км³. Увеличение твердого стока реки за этот же период превысило 6 раз: с 60 до 400 тыс. тонн (рис. 1А, В). Донные отложения были отобраны с помощью гравитационной трубки «Kadjak» на одних и тех же 14 станциях 2-10 июля 2015 до прохождения летних паводков и 22-23 июня 2017. Анализировался верхний слой отложений толщиной 1-1.5 см. Кроме того в колонках длиной 20-30 см, отобранных в июле 2015 на станциях R3 и R10, были определены вариации химического состава, и скорость накопления осадков по ²¹⁰Pb. Анализ ²¹⁰Pb проводился в лаборатории геоморфологии и палеогеографии СПбГУ.

Гранулометрический состав определяли во влажных пробах на приборе Fritsch Analysette-22, концентрацию $C_{орг}$ – на Shimadzu TOCvpn, концентрацию металлов (Fe, Mn, Zn, Cu, Pb, Cd,

Ni) – методом атомной абсорбции на Shimadzu 6800 F/G после полного кислотного разложения высушенных и растертых проб смесью минеральных кислот (HF-HClO₄-HCl). Кроме того, в поверхностном слое донных осадков определяли содержание подвижных форм металлов, извлекаемых 0.5 М HCl.

Рис. 1. Схема района работ. R_i– станции отбора донных отложений. Сезонное изменение накопленного водного стока (A) и твердого стока (B) р. Раздольная в 2014–2016 гг.

3. РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

В речной части эстуария р. Раздольная (R1–R7) доминируют алевропелитовые отложения, сменяющиеся вблизи устья песчанистыми илами и песками на устьевом баре (R8). В морской части эстуария (R9–R16), расположенной в северной части Амурского залива, также доминируют алевропелиты (рис.2). Особенностью речной части эстуария является значительная межгодовая динамика русловых процессов: в 2017 после двух лет повышенной водности глубина фарватера нижнего течения реки увеличилась с 5–6 до 9.8 м, хотя положение мелководья с песчаными осадками вблизи устья сохрани-

лось. В морской части профиль дна практически не изменился (рис. 2).

Рис. 2. Изменение глубины (h) эстуария р. Раздольная по профилю опробования и содержание пелитовых фракций в донных отложениях в 2015 и 2017 гг.

Межгодовые вариации крупности донных отложений речной части эстуария, где наблюдаются изменения глубин, значительны (до $\pm 15\text{--}20\%$ фракции < 0.01 мм), но не закономерны. Донные осадки морской части эстуария, напротив, демонстрируют систематически повышенное в среднем на 10% содержание пелитовых частиц в отложениях 2017 г. по сравнению с осадками, отобранными в 2015, т.е. до периода повышенного речного стока (рис. 2).

Очевидно, что это 10% увеличение заиленности донных отложений кутовой части Амурского залива отражает наблюдавшееся в 2015–2017 гг. 6–7-кратное возрастание твёрдого стока реки по сравнению с 2014 г. и среднееголетними показателями. Влияние этих межгодовых вариаций на гранулометрический состав донных отложений ограничивается северной частью Амурского залива, поскольку уже на станции R16 в центре залива разница в содержании пелита в пробах, отобранных в 2015 и 2017 гг., становится незначимой (рис. 2).

Разница в концентрации металлов в поверхностном слое отложений отобранных в разные годы определяется с одной стороны изменчивостью содержания пелитовых фракций, а с другой – фактом техногенного загрязнения донных отложений центральной части Амурского залива Zn, Pb, Cu, Cd со стороны г. Владивостока. Поэтому при повышенном твердом стоке р.Раздольная выносимый флювиогенный материал является «разбавителем» и наблюдается снижение концентрации Cu и Pb в алевропели-

тах северной части Амурского залива. По средней доле подвижных форм, извлекаемых 1M HCl, металлы образуют ряд Ni (0.07) – Fe, Zn (0.14-0.18) – Mn, Cu (0.29-0.3) – Pb (0.53) – Cd (0.72). Концентрация $C_{орг}$ в донных отложениях на разрезе река море также контролируется гранулометрическим составом вследствие повышенного содержания органического вещества в пелитовых фракциях, а также примесью техногенного материала в отложениях, находящихся под влиянием загрязнения со стороны г. Владивостока.

Постоянная концентрация ^{210}Pb в верхнем 5 см слое донных отложений в речной части эстуария р. Раздольная (R3) отобранных летом 2015, указывает на преобладание латерального транспорта осадочного материала в пределах верхнего слоя отложений. В тоже время, нижележащий 7–9 см слой демонстрирует устойчивое осадконакопление со скоростью 1.55 ± 0.12 мм/год за последние 45 ± 5 лет.

В донных отложениях северной части конуса выноса твердого стока р. Раздольная (ст. R10) скорость осадконакопления по ^{210}Pb летом 2015 удалось оценить только для верхнего 4 см слоя: 1.2 ± 0.7 мм/год за последние 21 ± 6 лет. Нижележащие слои донных отложений имеют близкую концентрацию ^{210}Pb , вследствие активной биотурбации, что подтверждается её следами в структуре отложений. В центре Амурского залива в районе ст. R16 скорость осадконакопления по ^{210}Pb и ^{137}Cs составляет 3.6-4.2 мм/год [3].

Информация о скорости осадконакопления является критичной для корректной интерпретации изменения химического состава отложений по колонкам. В частности, очевидно, что увеличение Fe и Zn, и уменьшение Hg в верхних 5 см осадков на ст. R3 при наблюдаемом постоянстве возраста обусловлено прежде всего динамической дифференциацией пелитовых и алевритовых фракций в пределах подвижного верхнего слоя (слой 1, рис. 3) и не связано с изменением состава речного стока. В тоже время снижение количества илистого материала в нижележащих 7-9 см слое (2), вероятно отражает постепенное увеличение его роли в твердом стоке р. Раздольная за последние 40-50 лет. Нижележащий слой (3) не содержит избыточного ^{210}Pb , и не связан с современным эстуарным седиментогенезом, а представлен русловыми

или пойменными отложениями с возрастом более 150 лет. $C_{орг}$ в отличие от металлов демонстрирует почти монотонное снижение в пределах слоев (1) и (2) (рис. 3), что отражает масштаб и динамику деструкции органического вещества (ОВ) в ходе восстановительного диагенеза в современных донных отложениях. Несмотря на то, что в поверхностных донных осадках $C_{орг}$ демонстрирует зависимость от содержания пелита, в распределении по колонкам очевидна ведущая роль деструкции ОВ. Вариации P в донных отложениях контролируются Fe, с которым фосфор тесно связан при восстановительно-окислительном диагенезе, а также деструкцией ОВ и потерями связанного с ним фосфора.

Рис. 3. Распределение содержания химических элементов и пелитовых частиц по датированной колонке донных отложений в речной части эстуария р. Раздольная (ст. R3). 1 – бурый обводненный ил, 2 – серо-черный пластичный ил, 3 – серый плотный ил

Mn в отличие от других параметров, содержится в толще отложений эстуария р. Раздольная на равномерно низком уровне 350-520 мкг/г (рис. 3), что как минимум в 2 раза меньше, чем в исходном осадочном материале паводковой взвеси, и отражает динамичное поведение Mn при седиментогенезе.

Снижение концентрации $C_{орг}$, P, Mn в верхнем 4 см слое отложений мористой части эстуария (ст. R10) также указывает на их потери в твердых фазах при диагенезе за последние 21 ± 6 лет. Однако и в остальной части этой колонки, где, судя по равномерному распределению ^{210}Pb , происходила активная биотурбация, также наблюдается значительная изменчивость химического состава, обусловленная вариациями минерального и гранулометрического состава (рис. 4).

Рис. 4. Распределение содержания химических элементов и пелитовых частиц по датированной колонке донных отложений в мористой части эстуария р. Раздольная (ст. R10). 1 – черно-серый пластичный ил, 2 – черный ил с бурыми пятнами следов илоедов, 3 – черный однородный ил.

4. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Увеличение речного стока сопровождается усилением русловых процессов во внутренних

частях эстуария и возрастанием заиления во внешних. Наблюдается нивелирование влияния межгодовых вариаций стока на состав донных отложений: 6-7 кратное возрастание твердого стока ведет лишь к 10-15% увеличению доли пелитовых фракций в отложениях внешнего эстуария. Только привлечение данных по распределению ^{210}Pb позволяет выявить и оценить процессы, ведущие к изменению геохимических показателей в колонках отложений.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Чон В.Ч., Мохов И.И., Гидрологический режим бассейнов крупнейших рек Северной Евразии в XX–XXI в. // Водные ресурсы, 2012. – Т. 39, № 1. – С. 312.
2. Nohara D., Kitoh A., Hosaka M., Oki T. Impact of river discharge projected by multimodel ensemble // J. of Hydrometeorology, 2006 – V. 7. – P. 1076-1089.
3. Астахов А.С., Калугин И.А., Аксентов К.И., Дарьин А.В. Геохимические индикаторы палеотайфунов в шельфовых отложениях // Геохимия, 2015. – №4. – С. 387-392.

INFLUENCE OF INTER-ANNUAL VARIABILITY OF RIVER RUNOFF ON THE GEOCHEMISTRY OF ESTUARINE AND COASTAL BOTTOM SEDIMENTS

Shulkin V.M.¹, Strukov A.Yu.²

¹Pacific Geographical Institute FEBRAS

²Far Eastern Federal University

ABSTRACT: Paper presents inter-annual variability of grain size, Corg, concentration and geochemical forms of Fe, Mn, Zn, Cu, Pb, Cd, Hg in the upper layer of bottom sediments in the periods with rather different river water and suspended solids runoff at the example of Razdolnaya R. estuary and adjoining coastal sea areas. It allows along with distribution of the same parameters in the 20-26 cm sediment cores dated for last 40-50 year to assess dynamic of contaminants accumulation in the bottom sediments, and to discover possible consequences of the climate change and anthropogenic load increase.