

МЕТОДОЛОГИЧЕСКИЕ ПОДХОДЫ К ВЫЯВЛЕНИЮ ВЛИЯНИЯ ПРИРОДНЫХ И АНТРОПОГЕННЫХ ИЗМЕНЕНИЙ НА ВОДОСБОРАХ РЕК НА АБИОТИЧЕСКУЮ СОСТАВЛЯЮЩУЮ ЭКОСИСТЕМЫ ОБСКО-ТАЗОВСКОЙ УСТЬЕВОЙ ОБЛАСТИ

М.В.Третьяков¹, канд. геогр. наук, Е.В. Румянцева¹, канд. геогр. наук, Е.Н. Шестакова^{1,2}, А.И. Шикломанов¹, канд. геогр. наук

¹Арктический и антарктический научно-исследовательский институт, Санкт-Петербург, Россия

²Санкт-Петербургский государственный университет, Санкт-Петербург, Россия

METHODOLOGICAL APPROACHES TO THE IDENTIFICATION OF THE INFLUENCE OF NATURAL AND ANTHROPOGENIC CHANGES ON WATERSHEDS OF RIVERS ON THE ABIOTIC COMPONENT OF THE ECOSYSTEM OF THE OB'-TAZ ESTUARINE

M.V. Tretiakov¹, Cand. Sc., E.V. Rumiantseva¹, Cand. Sc., E.N. Shestakova^{1,2}, A.I. Shiklomanov¹, Cand. Sc.

¹Arctic and Antarctic Research Institute, St. Petersburg, Russia

²Saint Petersburg State University, St. Petersburg, Russia

Разработаны методологические подходы для оценки изменения абиотических устьевых процессов Обско-Тазовской устьевой области. Описана концепция математического имитационного моделирования устьевой системы.

Methodological approaches have been developed to assess changes in abiotic estuarial processes in the Ob-Taz estuary. The concept of mathematical simulation of the estuary system is described.

Ускоренное изменение климата в высоких широтах приводит к значительным изменениям в наземной и морской экосистемах. Не менее значительные изменения происходят и в социальных системах прибрежных регионов Российской Арктики в результате глобализации, развития добывающей промышленности, изменения политической системы и самоуправления коренных народов. В то же время возросший уровень хозяйственной деятельности на водосборах рек, впадающих в устьевые области и непосредственно в устьевых областях, приводит к существенным изменениям природных процессов в зоне взаимодействия речных и морских вод. Долгопериодные природные изменения, происходящие на водосборах крупных рек, впадающих в Северный Ледовитый океан, также оказывают влияние на гидрологические процессы в устьевых областях рек. Ввиду долговременных планов по освоению Арктики [1], на территории которой расположена Обско-Тазовская устьевая область (ОТУО), задача оценки её изменений под влиянием природных и антропогенных факторов становится всё более актуальной. Изменения устьевых процессов, формирующих положение фронтальных зон, глубину залегания галоклина, изменения уровня воды, глубину конвекции, ледовые фазы и другие характеристики, влияют на водохозяйственную деятельность в устьевых областях рек. Таким образом, устьевые области, в первую очередь ОТУО, находятся в стадии быстрой трансформации, а изменения, происходящие в природной системе, могут влиять на социально-экономическое развитие региона. Поэтому для изучения современных и ожидаемых в перспективе изменений экосистемы ОТУО необходимо использовать комплексный подход, учитывающий взаимовлияние природных и социально-экономических компонентов. Для количественной оценки современных и возможных изменений абиотических процессов в ОТУО под влиянием природных и антропогенных факторов, предлагается подход, основанный на совместном использовании данных наблюдений и моделирования различных природных и антропогенных процессов.

Обско-Тазовская устьевая область представляет собой сложный природный комплекс, расположенный при впадении рек Оби, Надыма, Пура и Таза в Карское море, в пределах которого происходят специфические устьевые процессы, обусловленные взаимодействием и смешением речных и морских вод и процессами дельтообразования. В нее входят устьевые участки рек Оби, Надыма, Таза и обширное устьевое взморье – Обская и Тазовская губы. В соответствии с общими положениями гидрографического районирования водных бассейнов [2] низовье р. Обь и её устьевая область расположены в пределах Нижнеобского бассейнового округа. Водноресурсная граница Арктической зоны РФ [3] бассейна р. Обь совпадает с границей местного водосбора

Обско-Тазовской устьевой области и пересекает р.Обь по ее замыкающему створу в г. Салехард, который и является речной границей Обско-Тазовской устьевой области. Под водосборным бассейном Обско-Тазовской устьевой области понимается северная часть водосборного бассейна Оби, расположенная ниже замыкающего створа. При этом в площадь водосбора устьевой области полностью входят бассейны рек Надыма, Пура, Таза и других, впадающих в Обско-Тазовскую губу. Такое толкование понятия водосбора устьевой области Оби объясняется тем, что формирование режима устьевой области Оби происходит в основном под влиянием стока Оби, а сток других рек в губу рассматривается как местный. В соответствии с этим условием в границу водосборного бассейна устьевой области Оби включается обширная территория, которая целиком входит в границы Нижнеобского бассейнового округа и совпадает с границами Ямало-Ненецкого автономного округа. Морской границей Обско-Тазовской устьевой области принимается граница внутренних морских вод РФ, от которой отсчитывается территориальное море согласно [4].

В этой системе целесообразно выделить подсистемы, в пределах которых будут работать определенные методы моделирования. Первая подсистема – это устьевое взморье – Обская и Тазовская губы. Внутри этой сложной устьевой подсистемы с множеством факторов, процессов и обратных связей между ними протекает процесс взаимодействия пресных речных и соленых морских вод. Состояние экосистем пресноводных губ, являющихся частями устьевой области, в основном зависит от стока впадающих рек и претерпевает при этом многолетние колебания в зависимости от водности рек, а также сезонные изменения в соответствии с сезонным распределением речного стока. Другим важнейшим фактором, определяющим состояние этой подсистемы, является процесс интрузии морских вод в губу, который приводит к осолонению некоторой её части. Последствием природных изменений и влияния деятельности человека является изменение этих факторов, главным образом, речного стока, поступающего в губу с водосбора реки и местного водосбора устьевой области.

Вторая подсистема – это устьевой участок реки, та часть устьевой области, где происходит трансформация речного стока от замыкающего створа до Обско-Тазовской губы, т.е. до морского края дельты. Третья подсистема – это местный водосбор устьевой области, с которого осуществляется речной сток с его физико-химическими свойствами.

Гидрологические посты и экспедиционные разрезы, расположенные в устьевых областях, не всегда дают представление о характеристиках гидрологического режима по всей их протяженности. Большие акватории оказываются между пунктами измерений и о гидрологическом режиме в этих районах можно судить только исходя из данных на их границах. Сложность процессов, происходящих в устьевых областях рек, ограниченность натуральных данных, особенно в переходные периоды, не позволяет использовать для этого простые методы интерполяции (например, линейную интерполяцию), вследствие чего требуются специальные методические разработки.

В условиях сокращения наблюдательной сети в Обско-Тазовской устьевой области натуральных данных для их применения в этой методике оказывается недостаточно. Поэтому для объективной интерполяции имеющихся данных и оценки водных ресурсов в этой устьевой области целесообразно использовать метод математического имитационного моделирования с использованием информации наиболее обеспеченных рядами данных пунктов наблюдений. В этом случае можно проследить характерные особенности гидрологических полей на протяжении всего года. Ключевым моментом при этом являются термохалинные условия в губе и прилегающих районах моря, поскольку существующий заток морской воды в губу влияет не только на расход воды на морском створе, но и на положение галоклина, стратификацию, а следовательно, на ледовые условия, динамику вод и водные ресурсы. Изменения сезонного масштаба представляют наибольший интерес, поскольку процессы внутригодовой изменчивости, как правило, полностью определяют особенности структуры вод устьевой области и являются фоном, на котором прослеживается изменчивость структуры вод более мелких временных масштабов. Сезонная изменчивость гидрологических процессов определяются сезонными колебаниями стока реки, сезонными изменениями характеристик ветра над акваторией, сезонным ходом температуры воды и теплообмена с атмосферой.

Для объективной интерполяции гидрологических полей внутри Обско-Тазовской губы может быть использована модель сезонных гидрологических процессов, учитывающая наличие

циркуляции, связанной с плотностной неоднородностью, наличие существенных долгопериодных (стоковых) колебаний уровня, которые по амплитуде сопоставимы с глубинами, а так же процессы образования и таяния льда, толщина которого опять же сопоставима с глубинами [5].

Пространственно подсистема Обско-Тазовской губы выделяется береговым контуром, свободной поверхностью и дном, а также границами со стороны реки и моря. Речная граница проходит по морским краям дельт рек, впадающих в Обско-Тазовскую губу. Морская же граница определяется по внешнему краю зоны смешения речных и морских вод в поверхностном слое, где соленость смешанных вод составляет 90-95% средней солености воды сопредельной части моря при повышенном речном стоке [6] и выходит за пределы Обско-Тазовской устьевой области. Задание граничных условий со стороны реки обеспечивают сведения о расходе и температуре воды на речной границе расчетной области. Натурные данные о расходах воды задаются по данным Государственного водного кадастра на замыкающих створах рек, которые расположены выше этой границы. На этом расстоянии речной сток претерпевает определенную трансформацию. Для пересчета речного стока от замыкающего створа к речной границе расчетной области привлекается модель трансформации стока, основанная на методе Г.П. Калинина и П.И. Милюкова [7]. Граничные условия со стороны моря по температуре и солености воды обеспечивают схемы вертикального распределения температуры и солености на морской границе расчетной области, построенные для летнего (июнь-сентябрь) и зимнего (октябрь-май) периодов на разрезе о. Диксон – о. Белый по данным экспедиций А-63 г/с «Шторм» с 1968 по 1980 год.

Для задания граничных условий со стороны атмосферы используется информация (температура и влажность воздуха, атмосферное давление, осадки, облачность в баллах нижняя и общая, скорость ветра) ближайших береговых метеорологических станций в суточном разрешении. По данным этих береговых метеостанций значения элементов методом весовой интерполяции пересчитываются в узлы сетки. Значения температуры и влажности воздуха корректируются с учетом того, что искомые точки находятся не на берегу, а на открытом водном пространстве [8].

Приток речных вод и тепловой сток оказывают существенное влияние на все абиотические процессы в ОТУО, поэтому важно оценить их современное состояние, динамику многолетних изменений и установить основные факторы, влияющие на эти изменения. Наибольший приток речных вод в ОТУО осуществляется по рекам Обь, Надым, Пур и Таз, по которым имеются многолетние ряды наблюдений за стоком и температурой воды, которые будут использованы для оценки притока с изученной части водосбора ОТУО.

К настоящему моменту установлено, что тренды для годового стока нижнего течения Оби за весь период наблюдений являются не значимыми, но за современный климатический период по замыкающему створу отмечена значимая тенденция увеличения стока. Динамика стока холодного периода Оби имеет тенденцию увеличения стока за многолетний период, которая является статистически значимой. Для больших рек (Пур, Таз, Надым) определено преимущественное несовпадение фаз водности. Кроме того для всех рек в многоводную фазу увеличивается амплитуда колебаний стока. Другими словами, многоводная фаза, которая, не несёт угрозы объемам водопотребления в регионе, скрывает за собой риск увеличения аномальности процесса. Перспективным направлением является изучение повторяемости значений экстремального стока для различных климатических периодов [9, 10].

Для исключения влияния антропогенной деятельности в бассейне реки Обь необходимо рассчитать восстановленный до естественного состояния стока реки (без влияния водохранилищ). Это можно выполнить с использованием метода трансформации стока Калинина-Милюкова. Используя эти данные, можно провести моделирование устьевых процессов с восстановленным стоком. Сравнение результатов моделирования с современным стоком и восстановленным стоком, а также состоянием системы в 80-х годах, позволит выявить влияние природных воздействий и антропогенной деятельности в бассейне реки на абиотическую составляющую экосистемы Обско-Тазовской устьевой области.

Для количественной оценки влияния изменения климата и локальных антропогенных воздействий на речной и тепловой приток в ОТУО необходимо совместное моделирование атмосферных и наземных процессов через их интегрирование с глобальной и региональной

атмосферной циркуляцией и динамикой морского льда. Для этого предлагается использовать региональную климатическую модель WRF (Weather Research and Forecasting) [11] разрешением 25x25км, адаптированную для территории Сибири, граничные условия для которой задаются либо одним из имеющихся климатических ре-анализов (NCEP, MERRA, ERA-Interim) для современных условий или МОЦАО для расчетов на перспективу. Результаты расчетов на климатической модели будут использованы в качестве входных климатических данных для гидрологических моделей.

Для моделирования пресноводного и теплового притока в ОТУО предложено использование модели водного баланса и русловой трансформации стока [12]. Для более надежного моделирования процессов, связанных с мерзлотой и сезонным промерзанием почвы предлагается использовать модель, разработанную в лаборатории мерзлотоведения геофизического института Университета Аляски (GIPL), которая позволит более надежно оценивать вклад этих криосферных процессов в речной и тепловой сток на водосборе ОТУО.

Предлагаемый методологический подход с использованием данных наблюдений и мультимодельных экспериментов может быть в дальнейшем использован для изучения других устьевых областей и может быть расширен путем включения биотических процессов.

Литература

1. Стратегия развития Арктической зоны Российской Федерации и обеспечения национальной безопасности на период до 2020 года. [Электронный ресурс]. URL: <http://government.ru/info/18360/> (дата обращения: 05.09.2018).
2. О гидрографическом и водохозяйственном районировании территории Российской Федерации и утверждении границ бассейновых округов. Постановление Правительства РФ от 30 ноября 2006 г. № 728. [Электронный ресурс]. URL: <http://voda.mnr.gov.ru/regulatory/detail.php?ID=2767> (дата обращения: 10.09.2018).
3. Иванов В.В., Третьяков М.В. Проблемы восстановления и развития системы гидрометеорологических наблюдений в устьевых областях рек Арктической зоны как основы государственного мониторинга этих объектов // Общество. Среда. Развитие. 2015. Вып. 4. С. 151–160.
4. О внутренних морских водах, территориальном море и прилегающей зоне Российской Федерации. Федеральный закон РФ от 31 июля 1998 года №155-ФЗ (в ред. от 05.02.2018). [Электронный ресурс]. URL: <http://base.garant.ru/12112602/> (дата обращения: 10.09.2018).
5. Третьяков М.В. К моделированию гидрологических процессов в эстуариях с ледовым покровом // Проблемы Арктики и Антарктики. 2008. № 2 (79). С. 67–74.
6. Иванов В.В., Русанов В.П., Гордин О.И., Осипова И.В. Межгодовая изменчивость распространения речных вод в Карском море // Тр. ААНИИ. 1984. Т. 368. С. 74–81.
7. Калинин Г.П., Милоков П.И. Приближенный расчёт неустановившегося движения водных масс // Тр. ЦИП. 1958. Вып. 66. 72 с.
8. Самохин А.А., Соловьева Н.Н., Догановский А.М. Практикум по гидрологии. Л.: Гидрометеоиздат, 1980. 296 с.
9. Шестакова Е.Н. Тенденции изменчивости стока низовьев Оби и рек Обско-Тазовской устьевой области в условиях изменения климата // Научный вестник Ямало-Ненецкого Автономного округа. 2015. № 3 (88). С. 108–115.
10. Румянцева Е.В., Шестакова Е.Н., Муждаба О.В. Динамика водных ресурсов рек Арктической зоны Западной Сибири // Научный вестник Ямало-Ненецкого Автономного округа. 2017. №33 (96). С. 53–61.
11. Michalakes J., Dudhia J., Gill D., Henderson T., Klemp J., Skamarock W., Wang W. The Weather Research and Forecast Model: Software Architecture and Performance. Proceedings of the Eleventh ECMWF Workshop on the Use of High Performance Computing in Meteorology. Eds. Walter Zwiefelhofer and George Mozdzyński. World Scientific. 2005. pp. 156–168.
12. Visser D., Fekete B. M., Vörösmarty C. J., Schumann A. H. Reconstructing 20th century global hydrography: A contribution to the Global Terrestrial Network Hydrology (GTN-H). Hydrology and Earth System Sciences. 2010.14. pp. 1–24. doi:10.5194/hess14-1-2010.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 18-05-60192.

The study was carried out with the financial support of the Russian Foundation for Basic Research in the framework of the research project No. 18-05-60192.