

УДК 551.435.13

АНАЛИЗ ГОРИЗОНТАЛЬНЫХ РУСЛОВЫХ ДЕФОРМАЦИИ НА ОСНОВЕ СТАЦИОНАРНЫХ НАБЛЮДЕНИЙ

С.Е. Коркин^{1,2*}, В.А. Исыпов^{1**}

¹Нижневартковский государственный университет, Нижневартовск, Россия

²Институт экологии растений и животных УрО РАН, Екатеринбург, Россия

*e-mail: egf_nv@mail.ru; **e-mail: dodi_94@mail.ru

Поступила в редакцию

Вопрос связанный с выявление основных закономерностей русловых деформаций для крупных рек Северной Евразии в связи с их интенсивным вовлечение в водохозяйственном и водотранспортном использовании, а также инструментально зафиксированном изменении климато-гидрологических факторов, является актуальным. Рассмотрена динамика размыва берега на широтном участке р. Обь по данным стационарных наблюдений в пределах территории Ханты-Мансийского автономного округа – Югры с целью получения фактического материала об изменениях речных русел и пойм, необходимого для оценки и прогноза негативного воздействия вод, и принятия своевременных мер по его предупреждению. Проведен анализ мониторинга на стационаре “Усть-Вахский” с применением различных методов оценки состояния геоморфологической системы: картографического, фототриангуляции и дистанционного зондирования территорий (ДЗТ), полевого морфометрического. По данным исследования, среднемноголетний показатель отступления берега за период наблюдения равен 2.8 м/год. Максимальная скорость отступления бровки берега зафиксирована в 2004 г. – 17.5 м/год на пятом створе. Итоговая площадь размыва береговой линии составил 842 тыс.м² за период 1982 по 2014 гг. по данным применения фототриангуляции и ДЗТ, 134 тыс.м² за период с 2014 по 2021 гг. по данным полевого морфометрического метода. Общий объем поступающих в реку наносов вследствие разрушения берега составил порядка 699 тыс.м³. В результате проведенного исследования получена многолетняя база данных, на основе которой производится составление вероятностной модели краткосрочных и долгосрочных прогнозов горизонтальных русловых деформаций широтного участка р. Обь, где формируются свободные излуины, а пойма расчленена многочисленными протоками.

Ключевые слова: русловые процессы, горизонтальные русловые деформации, береговая линия, динамика, эрозия боковая, половодье.

DOI:

ВВЕДЕНИЕ

Горизонтальные русловые деформации на широтном участке р. Обь — неблагоприятный для освоения приречных территорий процесс. Проблема безопасного хозяйствования в зоне развития боковой эрозии очень актуальна для большинства рек Западной Сибири [1], размывы берегов которые достаточно интенсивны, будучи связанными с мощностью потока, параметрами и типом русла, стоком наносов, строением слагающих их отложений [2]. В многолетнем разрезе они неравномерны, определяясь водностью года в целом и половодья, оказывающего наибольшее воздействие на русло, в частности [3]. Развитие различных форм русел и форм руслового рельефа, режим их сезонных и многолетних изменений, т.е. русловой режим рек [4], проявляется в виде их смещений в плане, сопровождаемых размывами берегов и одновременной аккумуляцией наносов в других частях русла.

Эрозия речных берегов представляет собой многофакторное явление, оно изучается разными научными дисциплинами. Водная эрозия берегов часто определяется как удаление берегового материала под действием руслового потока. Однако, это только часть сложного процесса, в результате которого берег разрушается. Для прогноза горизонтального смещения русла важен учет местной морфологии русла, расхода воды и уклона, а также особенностей литологического строения, крутизны берега, характера растительного покрова. К этому добавляется влияние на указанные факторы сооружений и мероприятий, построенных и проводимых в долине и русле реки (русловые карьеры, трубопроводные переходы, берегоукрепительные сооружения).

Размыв берегов является сочетанием двух процессов: обрушение грунтовых масс, слагающих береговой откос, в реку и перенос обрушившегося материала потоком. Первый процесс определяется свойствами грунта (чередование слоев, объемный вес, сцепление, угол внутреннего трения) и морфологией откоса (высота, угол склона). Второй процесс целиком зависит от транспортирующей способности потока и морфологии речного русла. Ведущую роль играют гидродинамическое воздействие потока, обеспечивающее размыв основания и вынос материала, а также изменение геотехнических характеристик грунта, слагающего берег. Деформации берега проходят ряд стадий, с течением времени берег стабилизируется, профиль берега трансформируется, при сохранении крутой прибрежной

ной части увеличивается более пологая средняя и нижняя части. Размывы берегов оцениваются эмпирически на основе зависимости их скорости от морфологии излучин, расхода воды, уклона. Кроме того, разработаны методы, основанные на сравнении энергии потока и сопротивления материала, слагающего берега [5].

В работе Н.И. Маккавеева [6] отражено, что русловой процесс естественной реки определяется целым рядом переплетающихся факторов, которые непрерывно изменяются как во времени, так и в пространстве, причем в зависимости от конкретных условий, то та, то другая группа факторов может иметь главенствующее значение.

В работе Р.С. Чалова, А.С. Завадского и А.В. Панина [7] рассмотрена вся совокупность вопросов, связанных с процессом меандрирования. Дан анализ механизма формирования и эволюции речных излучин, их гидролого-морфологические характеристики, приведены схемы морфодинамической классификации и морфодинамических типов русел. [8]. Структура морфодинамической классификации разветвлений, позволяет дополнять ее новыми “ячейками” по мере получения новых данных. Особенности развития русла того или иного морфодинамического типа неодинаковы в разных геолого-геоморфологических условиях, в связи с чем выделяют: врезанные; адаптированные и широкопойменные русла [4]. Для учета состояния русловых процессов на конкретных реках разработаны критерии и параметры, оценивающие участки реки по сложности водохозяйственного освоения, предотвращения опасных проявлений русловых процессов, такими критериями являются: устойчивость русла и интенсивность русловых деформаций; морфодинамический тип русла; водность реки, определяющая основные морфодинамические характеристики русла; распространение, морфология и затопляемость поймы; размывы берегов рек; распространенность тех или иных форм излучин, разветвлений и других форм русла [9]. Результаты исследований русловых процессов на широтном участке средней Оби в пределах Ханты-Мансийского автономного округа – Югры показали, что русло крупнейшей реки в свободных условиях развития русловых деформаций меандрирует, формируя преимущественно пологие излучины. Это заключение опровергает существующее представление об абсолютном преобладании на таких реках разветвлений [10].

Большой опыт накоплен по изучению и прогнозированию русловых деформаций рек в Томской области сотрудниками кафедр географии и гидрологии ТГУ А.А.Земцовым, Д.А. Бураковым, исследования были начаты в конце 1950-х гг. и позднее продолжены Ю.И. Каменсковым, В.А. Льготиним, Н.С. Евсеевой, В.С. Хромых и др. [11]. В 1975 году О.И. Баженова представила доклад о развитии излучин и современных геоморфологических процессах на Средней Оби путем сопоставления лоцманских карт с 1928 по 1968 годы

[12]. В работах значительного ряда исследований приводятся сведения о типах рек, величинах размыва берегов, анализируются факторы руслового процесса, содержатся прогнозы берегопереработки [13-17]. В работе В.В. Суркова [18] приведены данные темпов размыва берегов для средней Оби в 3-5 м/год и максимальные 24 м/год. В статье А.А. Кураковой и Р.С. Чалова [19] для широтного участка средней Оби дается оценка условий размыва берегов и их количественные характеристики, устанавливается связь размывов берегов с морфодинамическими типами русла и параметрами его форм.

Целью исследования является выявление особенностей горизонтальных русловых деформаций на основе многолетнего ряда стационарных наблюдений.

Задачи: провести комплексный анализ горизонтальных русловых деформаций на основе многолетнего ряда и использования различных методов; рассмотреть повторяемость сильных размывов и выявить причину изменения темпов размыва на исследуемом стационарном участке.

ОБЪЕКТ ИССЛЕДОВАНИЯ И ЕГО ОБОСНОВАНИЕ

Ключевой участок “Усть-Вахский” имеет пятикилометровую протяженность прирусловой кромки высокой поймы, расположен в начале широтного участка средней Оби (рис. 1-2), в морфодинамическом отношении русло здесь широкопойменное, представлено сегментной излучиной, пологой со степенью развитости $l/L=1.3$ (L – шаг, l – длина излучины). Русло р. Оби в пределах района исследования формируется в условиях активного развития горизонтальных русловых деформаций, что приводит к формированию трех его основных типов: меандрированию, разветвлению на рукава и смещению относительно прямолинейных русел. В районе г. Нижневартовска река образует пойменно-русловое разветвление; правый рукав – протока Вартовская Обь – больший по водности – представлен сегментной излучиной, на вогнутом берегу которой расположен город; левый рукав – протока Чехлоней образует несколько сегментных излучин. Это – типичные для средней Оби формы русла.

На стационаре Тюменской комплексной геологоразведочной экспедицией (ТКГРЭ) было заложено 10 створов (наблюдения проходили с 1980 по 1994 гг.), в 2001 году наблюдения на данном стационаре были возобновлены НВГУ, некоторые створы были восстановлены, а также были установлены новые на рисунке 2 представлены створы ТКГРЭ римскими цифрами, створы НВГУ арабскими цифрами.

Литологическое описание рассматриваемого участка, базируется на инженерно-геологическим изысканиях, проведенных ТКГРЭ (в ходе бурения и частично из обнаже-

ний). Верх разреза сложен разнообразными литологическими отложениями, начиная с песков и заканчивая заторфованными грунтами и чистыми торфами. Они относятся преимущественно к пойменной и старичной фациям. Для них характерен более глинистый состав. Это в основном легкий алевритистый суглинок и неразложившийся торф. Естественная влажность этих отложений значительная и составляет 20-50%. Связано это с затрудненной фильтрацией атмосферных осадков. Высокая влажность пород определяет их консистенцию как мягко- и текучепластичная, реже тугопластичная. Влажность верхнего предела пластичности составляет в среднем 0.31, иногда до 0.5. Число пластичности изменяется от 0.05 до 0.24. При естественной влажности грунты верхней части разреза находятся в слабосвязном состоянии. Залегающие ниже горные породы составляют основную массу всех слагающих террасу пород и представлены супесчно-песчаными отложениями аллювиального происхождения (фракция руслового аллювия). По гранулометрическому составу (по классификации Н.В. Логвиненко) эти породы являются алевритовыми супесями и песками, иногда встречаются маломощные прослои алевритовых суглинков. Характерной особенностью всех пород, слагающих разрез, является присутствие алевритового материала. Нижняя часть склона сложена легко поддающимися размыву супесчаными отложениями, к тому же и обводненными. Все это способствует размыву берега. Весной подтаявший и подмытый паводковыми водами снежник, обрушается в русло целиком или отдельными крупными блоками. В результате этого со склона сдираются полностью накопления и образовавшаяся на них растительность. Более того, переувлажненные породы коренного склона тоже вовлекаются в оползневой процесс.

На средней Оби от г. Нижневартовска до устья р. Иртыша находится три гидрологических поста - Нижневартовск, Сургут и в Юганской протоке – Нефтеюганск. Все посты – уровенные. Среднегодовой расход воды равен в г. Колпашево (ниже устьев Томи и Чулыма) – 4030 м³/с (объем стока 127.191 км³/год), перед устьем р. Иртыша – 7350 м³/с (231.973 км³/год). В работе использованы данные по Нижневартовскому гидропосту (г.п.) данный пост уровенный. Выход воды на пойму происходит при уровнях 800 см (относительно “0” поста – отметка нуля водомерного поста 29.98 м), критический уровень, при котором происходит подтопление садово-огороднических участков и инфраструктурных объектов, созданных для добычи нефти и газа – 980 см. Среднегодовой расход воды реки Обь 5110 м³/с (по г.п. Прохоркино выше по течению в пределах Томской области измерения с 1960 по 1997 гг.), максимальный расход воды в половодье – 22400 м³/с, минимальный летний – 2350 м³/с. Максимальный расход воды реки Вах и слой стока за половодье за многолетний период 1890 м³/сек, 151 мм. Критическим уровнем воды, выше ко-

торого начинается подтопление населенного пункта, для р.Вах является отметка в 650 см. Основным источником питания рек в период половодья по всей территории являются твердые осадки. Суммарный слой весеннего стока в основном определяется величиной поверхностного притока талых вод. Снеговой сток составляет 70% годового, дождевой – примерно 10%, грунтовый – 20% [20].

Особенность данного стационара заключается в интенсивном размыве вогнутого берега излучины с сопутствующим проявлением обвально-осыпных процессов, дефляции отелей и оврагообразования при одновременном развитии аккумулятивных процессов на противоположном левом берегу. Визуальное обследование и анализ космоснимков позволяет отнести данный участок к наиболее сильно подверженному размыву. Тип местности здесь – центрально-пойменный лугово-соровый; основные поверхности проточно-соровой притеррасной и центральной поймы с осоково-канареечниковыми лугами местами переходят в открытые группировки соровой растительности.

ИСХОДНЫЕ МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ НАБЛЮДЕНИЙ

Режимные наблюдения за размывом берегов в районе г. Нижневартовска были организованы Тюменской комплексной геологоразведочной экспедицией (ТКГРЭ) в 1974 г.. Наблюдательные пункты находились непосредственно в пределах города Нижневартовска. Отступление береговой бровки в зоне городской застройки на локальных участках достигала в 1977 г. 17 м, в 1978 г. – 20 м. Наиболее интенсивно размывался берег в центральной привершинной части излучины. А.А. Земцов [14] прогнозировал здесь отступление берега на 200 м за 20 лет. Однако в связи с активной хозяйственной деятельностью (здесь была построена набережная) в 1979 г. наблюдения были прекращены.

В 1980 г. наблюдения ТКГРЭ были перенесены на правый берег р. Обь вниз по течению от устья р. Вах до разветвления русла на Вартовскую Обь и протоку Чехлоней, здесь было заложено 10 створов на протяжении 5 км пойменного берега относительной высотой (над уровнем межени) 6-8 м. Пойма сложена русловым, пойменным и старичным аллювием, перекрытым в верхней части разреза отложениями от песка до торфа или заторфованными суглинками озерно-болотного генезиса. В 1994 г. наблюдения были прекращены.

Наблюдения восстановлены Нижневартовским педагогическим институтом (в настоящее время – Нижневартовский государственный университет-НВГУ). В 2001 г. закреплены на правом берегу р. Обь, начиная от устья р. Ваха, 5 створов, осенью 2002 г. еще 5 ниже по течению. Они размещались, как и створы ТКГРЭ, на наиболее интенсивно размываемых участках берега.

В основу исследования, поставлена организация систематических наблюдений на стационарных постах, которые представляют собой полигоны или ключевые участки по изучению (измерению) экзогенных рельефообразующих процессов на конкретной территории. В основу работу положены авторские материалы, собранные в ходе полевых исследований 2001 по 2020 гг. В качестве основных методов использовались: картографический, метод фотограмметрии и дистанционного зондирования территории (ДЗТ).

Картографический метод суть которого в совмещении разновременных лоцманских карт, что позволяет вычислить характеристику размыва, по корректно совмещенным лощиям. Метод показывает тенденцию к размыву и приблизительные результаты, с его помощью можно определить участки для их дальнейшего детального изучения более точными методами. Точность данного метода определяется предельной точностью картографического материала для карт лощий масштаба 1:25 000 точность измерений ± 2.5 метров (ГОСТ Р 51608-2000).

Метод фотограмметрии и дистанционного зондирования территорий (ДЗТ) позволяет провести изучение исследуемой территории без непосредственного выезда на изучаемый объект, с возможностью исследования разновременных космических снимков, а также сопоставления информации с картографическими данными. В рамках данного метода были использованы космические снимки за 1982, 1994, 2001 и 2014 гг., предоставленные лабораторией информационно-космических технологий Югорского научно-исследовательского института информационных технологий (г. Ханты-Мансийск). Параметры снимков: размеры 2742x2788, разрешение 96 dpi, тип сжатия LZV, глубина цвета 24, формат рисунка TIFF. Метод заключается в оцифровке береговой линии по космоснимкам средствами ГИС-пакета (в исследовании применялись программы Qgis бесплатен - <https://www.qgis.org/ru/site/> и MapInfo Professional лицензия для учебных заведений - <http://mapinfo.ru/product/mapinfo-professional>).

Комплексный подход - русло, полученное по лоцманским картам переносится в ГИС среду и совмещается с руслом, дешифрованным по космическим снимкам, по этим данным так же проводится выявление мест с тенденцией к эрозии.

Полевой метод заключается в проведении морфометрических измерений включающий в себя промеры скоростей отступления по закрепленным на местности реперам с применением геодезического оборудования: нивелира, треноги, рейки, рулетки и портативной GPS [21]. Точность нивелира характеризуется значением средней квадратической погрешности измерений на 1 км двойного хода. Нивелир Leica NA2 погрешность ± 0.7 мм/км дв. хода (паспорт прибора).

Gps оборудование используется в исследовании с 2014 года для определения координат и высоты характерных точек береговой линии, анализа уклонов и экспозиции склонов – это служит в дальнейшем основой для построения карт, расчета площадей и объемов размыва. Основное оборудование для выполнения съемки два приёмника GNSS модели Leica GS10, две антенны AS10 и контроллер, с помощью которого задаются настройки и производится управление. Дополнительное оборудование - триггер с уровнем, с помощью которого приёмник устанавливается на триногу, трехметровая рулетка для измерения высоты базы, вешка и рейка. Оборудование Leica Viva GS10 Технические характеристики точности измерений для кинематики в реальном времени (Соответствие стандарту ISO17123-8) Одиночная базовая линия (< 30км): В плане 8мм + 1ppm / По высоте 15мм + 1ppm; Статика 3 мм + 0.5 ppm / 5 мм + 0.5 ppm. Точность позиционирования зависит от множества факторов, в том числе количества спутников, геометрии созвездия, времени наблюдений, точности эфемерид, состояния ионосферы, многолучевости. Указанные значения приведены для нормальных и благоприятных условий.

Съемка производилась в двух режимах: Кинематическая съемка Stop & Go, во время неё мобильный приёмник (ровер) перемещается последовательно, становясь на каждой снимаемой точке береговой линии, антенная вешка должна сохранять вертикальность на каждом пункте съемки в течении заданного времени (10 минут на первой точке, 1 минута на всех остальных). Съемка в режиме статики производится непосредственно на контрольно-корректирующей станции. (базовый приемник в наших исследованиях устанавливался на пункт государственной геодезической сети), время записи – весь период съемки.

Обработка данных производилась в программе Leica Geo Office, затем с экспортированными данными работа производилась в MapInfo (построение береговых линий и расчет площадей размыва прибрежной зоны).

Существуют два подхода к анализу и прогнозу размыва берегов — эмпирический и физический (механический) [22]. Эмпирический подход, который связывает скорость смещения русла с комбинацией факторов: шириной русла, длиной и шагом меандр, радиусом кривизны, углом разворота, а также с руслоформирующим (в разных вариантах) расходом воды и уклоном. Физический подход предусматривает разработку математической модели распределения скоростей течения в поперечном сечении. В прямом русле с симметричным поперечным сечением наибольшая скорость наблюдается в центре русла. В изогнутом русле, которое имеет асимметричную форму, возникают вторичные течения и струи с наибольшей скоростью смещаются к внешнему берегу [5].

РЕЗУЛЬТАТЫ НАБЛЮДЕНИЙ

В пределах стационара “Усть-Вахский” (Рис.1) максимальная скорость отступления бровки берега по результатам измерений ТКГРЭ в 1988 г. составила 25 м/год, показатели отступления берега по каждому створу представлены в табл. 1. Среднемноголетнее значение за 11 лет наблюдений составило 5.3 м/год.

Скорость смещения бровки берега р. Обь с 2002 по 2020 гг. (по нашим наблюдениям) показано на рис. 3 [23]. Среднемноголетнее значение отступления берега за наблюдаемый период равно 2.8 м/год. Максимальная скорость отступления бровки берега зафиксирована в 2004 г. – 17.5 м/год на пятом створе, что соответствует данным, приведенным на карте “Морфология и динамика русел Оби и Иртыша” в “Атласе ...” [24]. В работе А.А. Кураковой [25] представлены сведения, подтверждающие наши данные тем, что средняя скорость размыва берегов по длине средней и нижней Оби (от устья р. Ваха до границы ХМАО-Югры и ЯНАО) колеблется в пределах от 1.4 до 5.5 и 6.4 м/год соответственно. При этом отсутствует тренд на увеличение или уменьшение скорости размыва вниз по течению. Это связано с тем, что при уменьшении соотношения глубины реки к ее ширине, происходит расширение стержневой зоны потока и разделение его на несколько динамических осей, поэтому только часть расхода воды может оказывать влияние на русло реки. Аналогичная ситуация прослеживается для всех крупнейших рек России [26].

Сравнение данных за два периода наблюдений 1983–1993 гг. (ТКГРЭ) и 2000–2021 гг. (НВГУ) показывает, что в первый период активность берегового размыва была выше. Во втором периоде наблюдений выделяются 2012 г. с низкими показателями скорости размыва берегов и 2015 г. с наиболее высокими показателями отступления берега, что связано с низким и высокими уровнями воды в р. Обь (2012 – 667 см, 2015 – 1060 см).

Анализ космических снимков за 1982, 1994, 2001 и 2014 гг. позволяет получить суммарную площадь размыва прибрежной зоны за три периода (табл. 2). Суммарная площадь размыва прибрежной зоны в результате развития излучины русла с 1982 по 2014 гг. составила 842 тыс.м², причем в 1982–1994 гг. активность деформации правого берега р. Обь была выше, и площадь размыва составила в этот временной отрезок (12 лет) 416.2 тыс.м². На данном участке располагаются сенокосы, в связи с чем можно говорить о потерях кормовых угодий.

Применение геодезической съемки с использованием спутникового позиционирования GNSS позволило получить площади размыва за каждый год, а также объем размываемого грунта поступающего в русло реки (табл. 3), в таблице так же присутствует информация

про количество точек описывающих береговую линию, общую протяженность пути и высоту бровки, полученную по данным полевых исследований, ошибку погрешности. Ошибка при расчете площади и объема размыва не учитывается, ибо ошибку, вносимую человеческим фактором определить невозможно, а прибор имеет сантиметровую точность, что даёт незначительные погрешности.

ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

По данным официального сайта местного самоуправления города Нижневартовска построен график уровня воды в реке Обь (рис. 4). Сравнивая кривую данного графика с графиком среднегодового показателя отступления берега с 2002 по 2021 гг. (рис. 3) и результатами площадного отступления берега с 2014 по 2021 гг. на стационаре “Усть-Вахском” (таблица 3) составленными по данным полевых исследований можно проследить прямую зависимость размыва берега от уровня воды в реке. В отношении площади размыва рассчитан коэффициент корреляции $r=0.82$, что интерпретируется, как сильная положительная корреляция и диапазон корреляций по линейному размыву, площади и объему 0.79-0.86. В работе Р.С. Чалова и др. [27] приводятся результаты изменения водности р. Обь, согласно которым наряду с короткими группировками в 3–7 лет встречаются циклы лет повышенной и пониженной водности в 9, 14 и 26 лет. На средней Оби выделяются 5 периодов повышенной водности и 5 периодов пониженной водности, что отражается на эрозионной активности. Для анализа климатических факторов была проведена выборка данных с 01.01.2002 по 31.12.2021 гг. на сайте gp5.ru по Метеостанции Нижневартовск / им. В. И. Муравленко (аэропорт), Россия, WMO ID=23471 (номер во Всемирной метеорологической организации). Зависимость горизонтальных русловых деформаций от колебаний среднегодовой температуры не была выявлена. Рассчитанный коэффициент корреляции в отношении площади размыва $r=0.3$, что говорит о умеренной положительной корреляции.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате сравнения данных наблюдений полученных в ходе исследований, площади потерянной земли за три периода составили: с 1982 по 1994 гг. – 416.2 тыс. м²; с 1994 по 2001 гг. – 225 тыс. м²; с 2001 по 2014 гг. – 200.8 тыс. м². Наиболее активный период размыва правого берега р. Оби с 1982 по 1994 гг.. Итоговая площадь размыва береговой линии составила 840 тыс.м² за период 1982 по 2014 гг. по данным применения фотограмметрии и ДЗТ, 134 тыс.м² за период с 2014 по 2021 гг. по данным полевого морфометри-

ческого метода. Общий объем поступающих в реку наносов вследствие разрушения берега составил порядка 699 тыс.м³. Кроме того, по полученным данным можно говорить о высокой активности отступания берега во время высокой водности реки, что было подтверждено по данным полученным за 2015 г.. В результате проведенного исследования создана многолетняя база данных, на основе которой производится составление вероятностной модели краткосрочных и долгосрочных прогнозов горизонтальных русловых деформаций широтного участка р. Обь, где формируются свободные излуины, а пойма расчленена многочисленными протоками.

БЛАГОДАРНОСТИ

Выражаем благодарность за научную консультацию профессору, кафедры гидрологии суши, главному научному сотруднику с возложением обязанностей зав. лабораторией эрозии почв и русловых процессов им. Н.И. Маккавеева Роману Сергеевичу Чалову. Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда и Правительства ХМАО-Югры № 22-17-20011, <https://rscf.ru/project/22-17-20011/>, а также при поддержке РФФИ по научному проекту № 19-29-05259.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Вершинин Д.А., Земцов В.А., Инишев Н.Г.* Современные исследования в области динамики потоков, стока наносов и русловых деформаций на сибирских реках (работы кафедры гидрологии Томского государственного университета) // Маккавеевские чтения – 2012. М.: Географ. ф-т МГУ. 2013. С. 60-69.
2. *Чалов Р.С.* Эрозионно-русловые системы, их структура, саморегулирование и функционирование // Геоморфология. 2013. № 4. С. 16-26
3. *Кораблева О.В., Чернов А.В.* Опыт мониторинга русловых деформаций на широкопойменных реках (на примере реки Керженец) // География и природные ресурсы. 2008, № 2. С. 158–165.
4. *Чалов Р.С.* Русловедение: теория, география, практика. Т. 1: Русловые процессы: факторы, механизмы, формы проявления и условия формирования речных русел. М.:Изд-во ЛКИ, 2008. 610 с.
5. *Беркович К.М., Злотина Л.В., Турыкин Л.А.* Размыв речных берегов: факторы, механизм, деятельность человека. Геоморфология. 2019;(2):3-17. <https://doi.org/10.31857/S0435-4281201923-17>

- 371 6. *Маккавеев Н.И.* Русловой режим рек и трассирование прорезей М.: Географический
372 факультет МГУ. 2013. 179 с.
- 373 7. *Чалов Р.С., Завадский А.С., Панин А.В.* Речные излучины. М.: Изд-во МГУ, 2004. 371 с.
- 374 8. *Чалов Р.С.* Русловедение: теория, география, практика. Т. 2. Морфодинамика речных
375 русел. М.: КРАСАНД, 2018. 960 с.
- 376 9. *Чалов Р.С., Рулёва С.Н., Михайлова Н.М.* Параметризация русловых процессов как ос-
377 нова оценки их опасных проявлений и учета при использовании водных ресурсов // Со-
378 временные проблемы эрозионных, русловых и устьевых процессов: материалы Всерос-
379 сийской научной конференции с международным участием и XXXI пленарного межву-
380 зовского координационного совещания (Архангельск, 26–30 сентября 2016 года). Изда-
381 тельский центр АЗ+. 2016. с. 175-176
- 382 10. *Чалов Р. С., Камышев А. А., Завадский А. С., Куракова А. А.* Морфодинамика и гидро-
383 лого-морфологическая характеристика русла средней Оби на широтном участке // *Гео-*
384 *графия и природные ресурсы.* – 2021. – Т. 42. – № 2(166). – С. 92-102. – DOI
385 10.15372/GIPR20210210.
- 386 11. *Земцов А.А. Хромых В.С.* Проблемы географии Западной Сибири // Вопросы географии
387 Сибири. 1999. Вып. 23. С. 5-10.
- 388 12. *Баженова О.И.* Развитие излучин и современные геоморфологические процессы на
389 средней Оби // Докл. ин-та географии Сибири и Дальнего Востока. 1976. Вып. 50. С.
390 64–71.
- 391 13. *Евсеева Н.С., Земцов А.А.* Рельефообразование в лесоболотной зоне Западно-Сибирской
392 равнины. Томск: Изд-во Том. ун-та, 1990. 242 с.
- 393 14. *Земцов А.А.* Геоморфология Западно-Сибирской равнины (северная и центральная час-
394 ти). Томск: Изд-во ТГУ, 1976. 344 с.
- 395 15. *Каменсков Ю.И.* Русловые и пойменные процессы. Томск: Изд-во ТГУ, 1987. 171 с.
- 396 16. *Льготин В.А.* Закономерности развития экзогенных геологических процессов как осно-
397 ва рационального использования геологической среды (на примере территории Средне-
398 го Приобья). Автореф. дис. ... канд. геол.-мин.наук. Томск, ТГУ. 1990. 21 с.
- 399 17. *Хромых В.С.* Природное районирование поймы Средней Оби // Вопросы географии Си-
400 бири. 1979. Вып. 12. С. 69-86
- 401 18. *Сурков В.В.* Динамика пойменных ландшафтов верхней и средней Оби. М.: Издание
402 Геогр. ф-та Моск.ун-та. 1999. 255 с.
- 403 19. *Куракова А. А., Чалов Р. С.* Размывы берегов на широтном участке средней Оби и их
404 связь с морфологией русла // Географический вестник. - 2019. № 3(50). С. 34-47.

20. Отчет “Обследование водозащитных сооружений в населенных пунктах Ханты-Мансийского автономного округа – Югры с целью комплексной оценки состояния защиты населенных пунктов автономного округа в рамках реализации программы - Обеспечение экологической безопасности Ханты-Мансийского автономного округа – Югры в 2011 – 2013 годах”, Ханты-Мансийск, 2011. – 275 с. URL: <https://prirodnadzor.admhmao.ru/upload/iblock/a30/otchet.pdf>
21. Коркин С.Е., Исыпов В.А. Динамика эрозионных процессов Среднего Приобья // Цифровая география: материалы Всерос. науч.-практ. конференции с междунар. участием (г. Пермь, 16–18 сентября 2020 г.): в 2 т. Т. 1 : Цифровые и геоинформационные технологии в изучении природных процессов, экологии, природопользовании и гидрометеорологии / научные редакторы С. В. Пьянков, С. А. Бузмаков, Н. А. Калинин, Н. Н. Назаров, С. В. Копытов; Пермский государственный национальный исследовательский университет. Пермь, 2020. С. 94-97.
22. Шелд-МЛ. Ф., Саймон А. и Штеффен Л. Воздействие водохранилища на миграцию русла реки вниз по течению // Охрана окружающей среды. 2000. 27(1). С. 54-66. doi:10.1017/S0376892900000072
23. Коркин С.Е. Природные опасности долинных ландшафтов Среднего Приобья. Нижневартовск: Изд-во Нижневарт. гуманит. ун-та, 2008. 226 с.
24. Атлас Ханты-Мансийского автономного округа-Югры. Т. 2. Природа. Экология. – Ханты-Мансийск–М. – Новосибирск:, 2005. С. 75
25. Куракова А.А. Опасные проявления русловых процессов на средней и нижней Оби // ЧЕТВЕРТЫЕ ВИНОГРАДОВСКИЕ ЧТЕНИЯ. ГИДРОЛОГИЯ ОТ ПОЗНАНИЯ К МИРОВОЗЗРЕНИЮ сборник докладов международной научной конференции памяти выдающегося русского ученого Юрия Борисовича Виноградова.. СПб: ООО “Издательство ВВМ”, 2020. С. 487-491.
26. Чалов Р.С. Русловые процессы (русловедение). М.: ИНФРА-М, 2017. 569 с.
27. Чалов Р.С., Плескевич Е.М., Баула В.А., Пронин В.И., Беркович К.М., Рулёва С.Н., Виноградова Н.Н., Сурков В.В., и др. Русловые процессы и водные пути Обского бассейна. Новосибирск: РИПЭЛ плюс, 2001. 300 с.

ANALYSIS OF HORIZONTAL CHANNEL DEFORMATIONS BASED ON STATIONARY OBSERVATIONS

S.E.Korkin^{1,2*}, V.A.Isupov^{1**}

¹Nizhnevartovsk State University, Nizhnevartovsk, Russia

²*Institute of Plant and Animal Ecology (IPAE), Yekaterinburg, Russia*

**E-mail: egf_nv@mail.ru; ** E-mail: dodi_94@mail.ru*

The issue related to the identification of the main patterns of channel deformations for large rivers of Northern Eurasia due to their intensive involvement in water management and water transport use, as well as instrumentally fixed changes in climatic and hydrological factors is relevant. The dynamics of bank erosion in the latitudinal section of the Ob River is considered according to stationary observations within the territory of the Khanty-Mansiysk Autonomous Okrug - Yugra in order to obtain factual material about changes in river channels and floodplains, necessary for assessing and forecasting the negative impact of waters, and taking timely measures. An analysis of monitoring at the Ust-Vakhsky station was carried out using various methods for assessing the state of the geomorphological system: cartographic, photogrammetry and remote sensing of territories (RST), field morphometric. According to the research data, the average long-term coastal retreat rate for the observation period is 2.8 m / year. The maximum rate of retreat of the coastal edge was recorded in 2004 - 17.5 m / year at the fifth section. The total area of coastline erosion was 842 thousand m² for the period 1982 to 2014 according to the use of photogrammetry and remote sensing of territories, 134 thousand m² for the period from 2014 to 2021 according to the field morphometric method. The total volume of sediment entering the river, due to the destruction of the coast, was about 699 thousand m³. As a result of the study, a long-term database was obtained, on the basis of which a probabilistic model of short-term and long-term forecasts of horizontal channel deformations of the latitudinal section of the Ob River is formed, where free bends are formed, and the floodplain is dissected by numerous ducts.

Keywords: channel processes, horizontal channel deformations, coastline, dynamics, lateral erosion, flood

ACKNOWLEDGMENTS

We express our gratitude for the scientific advice to Professor, Department of Terrestrial Hydrology, chief researcher with the assignment of the duties of Head. Laboratory of Soil Erosion and Channel Processes. N.I. Makkaveev Roman Sergeevich Chalov. Работа выполнена при поддержке гранта РНФ и Правительства Ханты-Мансийского автономного округа-Югры № 22-17-20011, <https://rscf.ru/project/22-17-20011/>, а также при поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 19-29-05259.

REFERENCES

1. Vershiinin D.A., Zemcov V.A., Inishev N.G. *Sovremennye issledovaniya v oblasti dinamiki potokov, stoka nanosov i ruslovyh deformacij na sibirskih rekah* (raboty kafedry gidrologii Tomskogo gosudarstvennogo universiteta). Makkaveevskie chtenija. 2012: Sbornik materialov. Redakcionnaja komissija: R.S. Chalov, K.M. Berkovich, G.A. Larionov. M.: Geograficheskij fakul'tet MGU. 2013. P. 60-69. (in Russ.)
2. Chalov R.S. *Jerozionno-ruslovyje sistemy, ih struktura, samoregulirovanie i funkcionirovanie*. Geomorfologija. 2013. No. 4. P. 16-26 (in Russ.)
3. Korableva O.V., Chernov A.V. *Opyt monitoringa ruslovyh deformacij na shirokopoljnyh rekah (na primere reki Kerzhenec)*. Geografija i prirodnye resursy. 2008, No. 2. P. 158–165. (in Russ.)
4. Chalov R.S. *Ruslovedeniye: teorija, geografija, praktika. Tom 1: Ruslovyje processy: faktory, mekhanizmy, formy proyavleniya i usloviya formirovaniya rechnih rusel* (Riverbed science: theory, geography, practice. Vol. 1: Riverbed processes, mechanism, forms of manifestations and conditions of formations of riverbeds). Moscow: LKI (Publ.), 2008. 608 p.
5. Berkovich K.M., Zlotina L.V., Turykin L.A. *Razmyv rechnyh beregov: faktory, mekhanizm, deyatel'nost' cheloveka*. Geomorfologiya. 2019;(2):3-17. <https://doi.org/10.31857/S0435-4281201923-17> (in Russ.)
6. Makkaveev N.I. *Ruslovoj rezhim rek i trassirovanie prorezej* (River bedding and slot tracing) M.: Geograficheskij fakul'tet MGU. 2013. 179 p.
7. Chalov R.S., Zavadskij A.S., Panin A.V. *Rechnye izluchiny* (River bends). Nauch.red. R.S. Chalov. M.: Izd-vo MGU, 2004. 371 p.
8. Chalov R.S. *Ruslovedenie. Teoriya, geografiya, praktika. Tom 2: Morfodinamika rechnyh rusel* (Riverbed science. Theory, geography, practice. Volume 2: Morphodynamics of river channels). M.: KRASAND, 2011, 960 p.
9. Chalov R.S., Rulyova S.N., Mihajlova N.M. *Parametrizaciya ruslovyh processov kak osnova ocenki ih opasnyh proyavlenij i ucheta pri ispol'zovanii vodnyh resursov* (Parametrization of channel processes as a basis for assessing their hazardous manifestations and accounting for the use of water resources) // *Sovremennye problemy erozionnyh, ruslovyh i ust'evykh processov: materialy Vserossijskoj nauchnoj konferencii s mezhdunarodnym uchastiem i XXXI plenarnogo mezhvuzovskogo koordinacionnogo soveshchaniya* (Arhangel'sk, 26–30 sentyabrya 2016 goda). Izdatel'skij centr A3+. 2016. s. 175-176 (in Russ.)
10. Chalov R. S., Kamyshev A. A., Zavadskij A. S., Kurakova A. A. *Morfodinamika i gidrologomorfologicheskaya harakteristika rusla srednej Obi na shirotnom uchastke* (Morphodynamics

- and hydrologic-morphological characteristics of the middle Ob riverbed at the latitudinal stretch) // *Geografiya i prirodnye resursy*. – 2021. – T. 42. – № 2(166). – S. 92-102. – DOI 10.15372/GIPR20210210. (in Russ.)
11. Zemcov A.A. Hromyh V.S. *Problemy geografii Zapadnoj Sibiri. Voprosy geografii Sibiri*. 1999. Vyp. 23. P. 5-10 (in Russ.)
12. Bazhenova O. I. *Razvitie izluchin i sovremennye geomorfologicheskie processy na srednej Obi*. Dokl. In-ta geografii Sibiri i Dal'nego Vostoka. 1976. Vyp. 50. P. 64–71 (in Russ.)
13. Evseeva N.S., Zemcov A.A. *Rel'efoobrazovanie v lesobolotnoj zone Zapadno-Sibirskoj ravniny* (Relief formation in the forest-swamp zone of the West Siberian Plain). Tomsk: Izd-vo Tom. un-ta, 1990. 242 p.
14. Zemcov A.A. *Geomorfologija Zapadno-Sibirskoj ravniny (Severnaja i central'naja chasti)* (Geomorphology of the West Siberian Plain (Northern and Central parts)). Tomsk: TGU, 1976. 344 p.
15. Kamenskov Ju.I. *Ruslovyje i pojmennye processy* (Channel and floodplain processes). Tomsk: Izd-vo TGU, 1987. 171 p.
16. L'gotin V.A. *Zakonomernosti razvitija jezkogennyh geologicheskikh processov kak osnova racional'nogo ispol'zovaniya geologicheskoy sredy (na primere territorii Srednego Priob'ja)* (Patterns of development of exogenous geological processes as the basis for the rational use of the geological environment (for example, the territory of the Middle Ob region)): PhD thesis. Tomsk, 1990. 21 p.
17. Hromyh V.S. *Prirodnoe rajonirovanie pojmy Srednej Obi*. Voprosy geografii Sibiri. 1979. Vyp. 12. P. 69-86 (in Russ.)
18. Surkov V.V. *Dinamika pojmennyh landshaftov verhnjej i srednej Obi* (Dynamics of floodplain landscapes of the upper and middle Ob) M.: Izdanie Geogr. f-ta Mosk.un-ta. 1999. 255 s.
19. Kurakova A. A., Cpalov R. S. *Razmyvy beregov na shirotnom uchastke srednej Obi i ih svyaz' s morfologiej rusla* // *Geograficheskij vestnik*. - 2019. № 3(50). S. 34-47. (in Russ.)
20. Otchet “Obsledovanie vodozashchitnyh sooruzhenij v naselennyh punktah Hanty-Mansijskogo avtonomnogo okruga – YUgry s cel'yu kompleksnoj ocenki sostoyaniya zashchity naselennyh punktov avtonomnogo okruga v ramkah realizacii programmy - Obespechenie ekologicheskoy bezopasnosti Hanty-Mansijskogo avtonomnogo okruga – YUgry v 2011 – 2013 godah”, Hanty-Mansijsk, 2011. – 275 c. URL: <https://prirodnadzor.admhmao.ru/upload/iblock/a30/otchet.pdf>
21. Shields jr, f., Simon, a., & Steffen, l. (2000). *Reservoir effects on downstream river channel migration*. *Environmental Conservation*, 27(1), 54-66. doi:10.1017/S0376892900000072

22. Korkin S.E., Isypov V.A. *Dinamika erozionnyh processov Srednego Priob'ya* // Cifrovaya geografiya: materialy Vseros. nauch.-prakt. konferencii s mezhdunar. uchastiem (g. Perm', 16–18 sentyabrya 2020 g.): v 2 t. T. 1 : Cifrovye i geoinformacionnye tekhnologii v izuchenii prirodnih processov, ekologii, prirodopol'zovanii i gidrometeorologii / nauchnye redaktory S. V. P'yankov, S. A. Buzmakov, N. A. Kalinin, N. N. Nazarov, S. V. Kopytov; Permskij gosudarstvennyj nacional'nyj issledovatel'skij universitet. Perm', 2020. S. 94-97. (in Russ.)
23. Korkin S.E. *Prirodnye opasnosti dolinnyh landshaftov Srednego Priob'ja* (Natural hazards of valley landscapes of the Middle Ob): Monografiya. Nizhnevartovsk: Izd-vo Nizhnevart. gumanit. un-ta, 2008. 226 p.
24. *Atlas Hanty-Mansijskogo avtonomnogo okruga-Jugry. Tom 2. Priroda i ekologiya* (Atlas of the Khanty-Mansiysk Autonomous Okrug-Ugra. Volume 2. Nature ecology). Hanty-Mansiysk-Moskva-Novosibirsk: 2005. 75 p.
25. Kurakova A.A. *Opasnye proyavleniya ruslovyh processov na srednej i nizhnej Obi* // chetvertye vinogradovskie chteniya. Gidrologiya ot poznaniya k mirovozzreniyu sbornik dokladov mezhdunarodnoj nauchnoj konferencii pamyati vydayushchegosya russkogo uchenogo YU-riya Borisovicha Vinogradova.. SPb: OOO “Izdatel'stvo VVM”, 2020. S. 487-491. (in Russ.)
26. Chalov R.S. *Ruslovye processy (ruslovedenie)* (Riverbed science). M.: INFRA-M, 2017. 569 s.
27. Chalov R.S., Pleskevich E.M., Baula V.A., Pronin V.I., Berkovich K.M., Ruleva S.N., Vinogradova N.N., Surkov V.V., i dr. *Ruslovye processy i vodnye puti Obskogo bassejna (Riverbed evolution and waterways of the Ob basin)*. Novosibirsk: RIPEL plyus, 2001. 300 s.

Таблица 1. Показатели отступления берега по данным ТКГРЭ на стационаре “Усть-Вахском”

Год наблюдения	1983	1984	1985	1986	1987	1988	1989	1990	1991	1992	1993
I	1.60	0.80	1.20	0.85	0.02	0.60	0.24	0.06	1.20	-	0.64
II	3.30	1.60	1.70	1.63	0.21	0.40	0.38	0.33	0.07	0.00	0.40
III	0.80	0.40	0.60	1.50	2.55	-	1.80	-		-	0.50
IV	4.00	2.00	1.50	1.70	1.29	2.72	3.46	-	2.45	-	7.10
V	2.40	1.20	0.90	0.66	1.17		5.00	-	0.85	0.04	1.00
VI	1.40	0.70	-	6.62	4.44	5.80	6.90	11.20	-		24.77
VII	13.40	6.70	4.90	8.08	8.48	18.98	3.14	-	-	8.40	2.00
VIII	42.80	21.40	-	-	5.98	9.10	1.99	12.00	0.35	3.94	2.66
IX	18.70	9.30	8.50	-	12.85	20.38	5.30	15.00	3.00	-	4.89

X	-	-	-	-	2.05	25.40	4.36	7.74	2.95	16.15	4.57
Среднегодовое значение, м/год	9.8	4.9	2.8	3.0	3.9	10.4	3.3	7.7	1.5	5.7	4.8

Таблица 2. Площадные характеристики размыва прибрежной зоны в пределах стационара “Усть-Вахский” (по материалам дешифрирования космоснимков)

Период, годы	Суммарная площадь размыва, м ²
1982-1994	416 200
1994-2001	225 000
2001-2014	200 800

Таблица 3. Результаты измерений с применением спутникового оборудования

Год съемки	Количество точек	Протяженность пути, м	Средняя высота бровки, от уреза воды, м	Ср. скорость отступления берега, м	Размыв, м ²	Объем, м ³
2013	93	1954 (1/2 пути)	5.2±0.1	2.36±0.1	-	-
2014	457	4089	5.2±0.1	2.45±0.1	10848	56409.6
2015	178	4031	4.9±0.1	5.00±0.1	29472	144412.8
2016	261	4144	4.8±0.1	1.69±0.1	11403	54734.4
2017	262	4169	5.3±0.1	2.57±0.1	15400	81620
2018	174	4199	5.5±0.1	2.85±0.1	17841	98125.5
2019	170	4212	5.44±0.1	1.59±0.1	14300	77792
2020	235	4216	5.01±0.1	2.21±0.1	18940	94889.4
2021	190	4256	5.68±0.1	3.55±0.1	16090	91391.2
Всего					134294	699374.9

Подрис. подписи

Рис. 1. Расположение объекта исследования.

Рис. 2. Размыв вогнутого берега на излучине р. Обь на стационаре “Усть-Вахском”, на картографической основе OpenTopoMap EU, в системе координат WGS 84

581 1 – створы; 2 – береговая линия за 1982 г.; 3 – береговая линия за 1994 г.; 4 – береговая
582 линия за 2001 г.; 5 – береговая линия за 2014 г.; 6 – створы заложенные НВГУ; 7 – створы
583 заложенные ТКГРЭ

584

585 **Рис. 3.** Среднегодовой показатель отступления берега на стационаре “Усть-Вахском” с
586 2002 по 2021 гг.

587

588 **Рис. 4.** График уровня воды в реке Обь за период с 2005 по 2021 гг.

589