

УДК 551.435.13/551.4.02(282.251.1)

АНАЛИЗ ГОРИЗОНТАЛЬНЫХ РУСЛОВЫХ ДЕФОРМАЦИЙ СРЕДНЕЙ ОБИ НА ОСНОВЕ СТАЦИОНАРНЫХ НАБЛЮДЕНИЙ

© 2022 г. С. Е. Коркин^{1,2,*}, В. А. Исыпов^{1,**}

¹Нижевартовский 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 20.02.2021 г.

После доработки 05.03.2022 г.

Принята к публикации 15.07.2022 г.

Мониторинг динамики размыва берегов проводится с 1980 по 1994 г., и с 2001 г. по настоящее время на широтном участке р. Обь (Нижневартовский район Ханты-Мансийского округа — Югры). В результате исследований на ключевом участке “Усть-Вахский” различными методами (картографическим, полевым морфометрическим, фотограмметрическим и дистанционного зондирования) установлено, что среднемноголетний показатель отступления берега за период наблюдения равен 3.9 м/год. Максимальная скорость отступления бровки берега зафиксирована в 2004 г. — 17.5 м/год. Полученные результаты позволяют оценить площади размытых берегов за четыре периода: с 1982 по 1994 г. — 416.2 тыс. м² (годовые темпы размыва 34.7 тыс. м²/год) с 1994 по 2001 г. — 225 тыс. м² (32.1 тыс. м²/год); с 2001 по 2014 г. — 200.8 тыс. м² (15.4 тыс. м²/год); с 2014 по 2021 г. — 134 тыс. м² (19.1 тыс. м²/год). За весь период с 1982 по 2021 г. величина площади размыва достигла 976 тыс. м² (со средней скоростью размыва 26.3 тыс. м²/год). Общий объем наносов, поступивших в реку вследствие разрушения берега, составил порядка 4.9 млн м³. Выявлен наиболее активный период размыва правого берега р. Обь — с 1982 по 1994 г. со средней скоростью размыва 6.9 м/год, что связано с высокими уровнем воды. Получена база данных многолетних наблюдений, на основе которой составлена вероятностная модель краткосрочных и долгосрочных прогнозов горизонтальных русловых деформаций исследуемого участка р. Обь. По двум линиям тренда получен диапазон возможных значений средней скорости размыва; так, на 2022 г. прогнозируемая скорость оценивается от 2.0 до 2.8 м/год и на 2030 г. — от 1.1 до 5.4 м/год. Данные стационарных наблюдений за деформациями речных русел и берегов необходимы для оценки и прогноза воздействия размыва берегов на хозяйственную деятельность и принятия своевременных мер по его предупреждению.

Ключевые слова: русловые процессы, береговая линия, динамика, эрозия боковая, половодье, фотограмметрия

DOI: 10.31857/S043542812204006X

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 (Вершинин и др., 2013). Интенсивность размыва берегов зависит от строения слагающих их отложений, мощности потока, параметров и типа русла, стока наносов (Чалов, 2013). В многолетнем разрезе они неравномерны, определяясь водностью года в целом и половодья, оказывающего наибольшее воздействие на русло, в частности (Кораблева, Чернов, 2008). Развитие различных форм русел и форм руслового рельефа, режим их сезонных и много-

летних изменений, т.е. русловой режим рек (Чалов, 2008), проявляется в виде их смещений в плане, сопровождающихся размывами берегов и одновременной аккумуляцией наносов в других частях русла.

Эрозия речных берегов представляет собой многофакторное явление, оно изучается разными научными дисциплинами и нередко 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 (русовые карьеры, трубопроводные переходы, берегоукрепительные сооружения).

Размыв берегов является сочетанием двух процессов: обрушения грунтовых масс, слагающих береговой откос, в реку и переноса обвалившегося материала потоком. Первый процесс определяется свойствами грунта (чередование слоев, объемный вес, сцепление, угол внутреннего трения) и морфологией откоса (высота, крутизна). 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. Деформация берега проходит ряд стадий. С течением времени берег стабилизируется, профиль берега трансформируется; при сохранении крутой прибрежной части увеличиваются 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 берег (Беркович и др., 2019).

В работе Н.И. Маккавеева (2013) показано, что русловой процесс естественной реки определяется целым рядом взаимосвязанных 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.

Р.С. Чаловым и соавт. (2004) рассмотрена вся совокупность вопросов, связанных с процессом меандрирования. Проанализирован механизм формирования и эволюции речных излучин, их гидролого-морфологические характеристики, разработана морфодинамическая классификация речных русел (Чалов, 2018). Структура морфодинамической классификации, позволяет дополнять ее новыми “ячейками” по мере получения новых данных. Особенности развития русла неодинаковы в разных геолого-геоморфологических условиях, в связи с чем выделяют: широкопойменные, адаптированные и врезанные геоморфологические типы русел (Чалов, 2008). 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; геоморфологический 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 (Чалов и др., 2016). 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 (Чалов и др., 2021).

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. (Земцов, Хромых, 1999). В 1976 г. опубликована статья О.И. Баженовой о развитии излучин и современных геоморфологических процессах на средней Оби, выявленные на основе сопоставления лоцманских карт с 1928 по 1968 г. (Баженова, 1976). В ряде публикаций приводятся сведения о типах рек, величинах размыва берегов, анализируются факторы руслового процесса, даются прогнозы берегопереработки (Земцов, 1976; Хромых, 1979; Каменсков, 1987; Евсеева, Земцов, 1990; Льготин, 1990). В.В. Сурков (1999) определил средние темпы размыва берегов для средней Оби в 3–5 м/год и максимальные в 24 м/год. В статье А.А. Кураковой и Р.С. Чалова (2019) для широтного участка средней Оби даются оценка условий размыва берегов и их количественные характеристики, устанавливается связь размывов берегов с морфодинамическими типами и параметрами форм русла.

Цель данного исследования, основанного на многолетнем ряде стационарных наблюдений на ключевом участке, — установление темпов и особенностей проявления горизонтальных русловых деформаций. Задачи: провести комплексный анализ горизонтальных русловых деформаций; рассмотреть повторяемость сильных размывов и выявить причину изменения темпов размыва на исследуемом участке.

ОБЪЕКТ ИССЛЕДОВАНИЯ

Ключевой участок “Усть-Вахский” расположен в Западной Сибири в Нижневартовском районе (рис. 1 (а)) в начале широтного отрезка средней Оби (рис. 1 (б); 2). Прирусловая кромка его высокой поймы протянулась на пять километров. Абсолютная высота берега 38 м, а относительная высота составляет в среднем 5–8 м. Широкой-

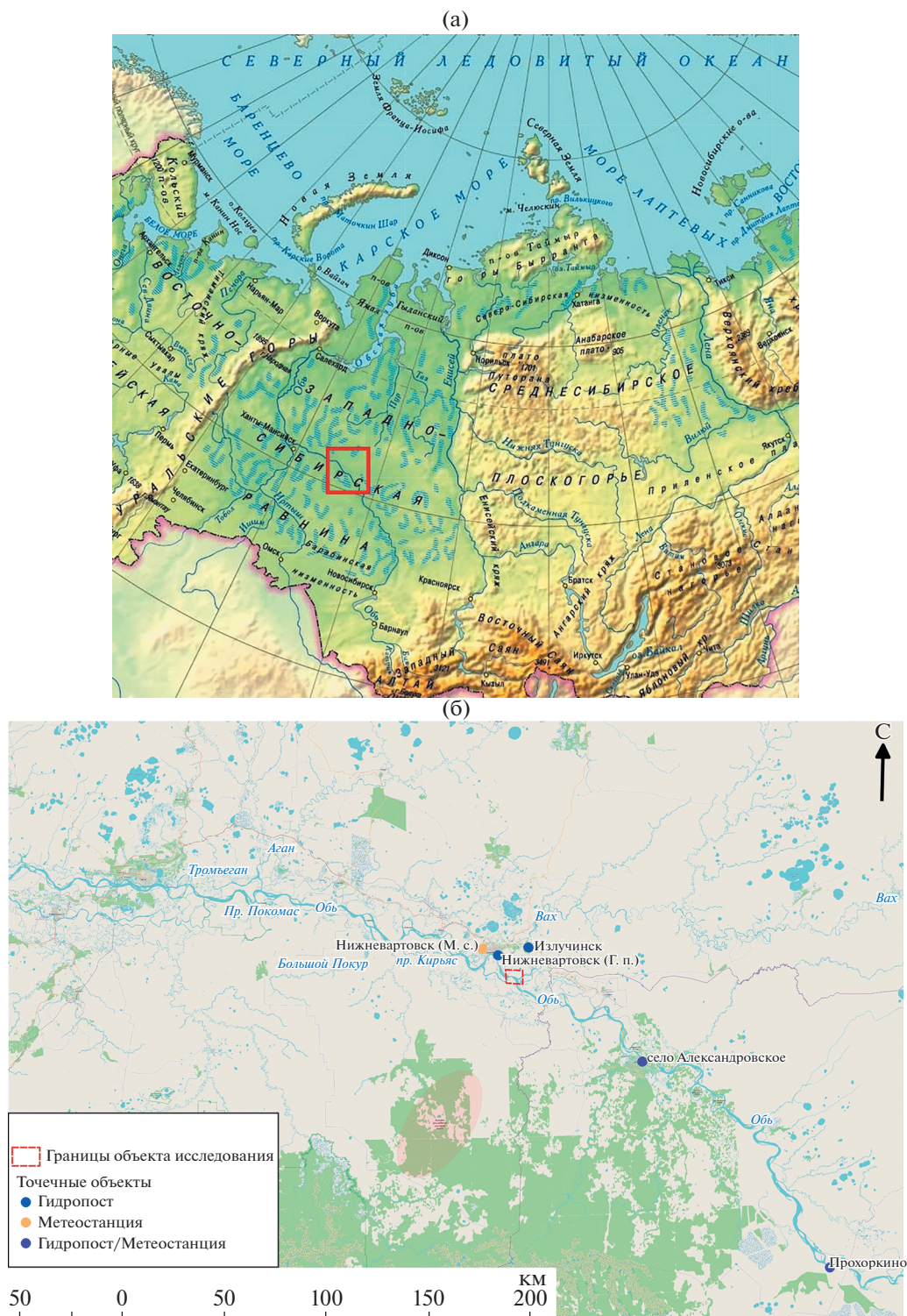


Рис. 1. Расположение объекта исследования.

Fig. 1. Location of the object of research.

менное русло реки здесь представлено пологой сегментной излучиной, со степенью развитости $l/L = 1.3$ (L – шаг, l – длина излучины). Ширина русла варьирует от 1700 м (в месте слияния рек

Обь и Вах) до 600 м (ширина русла в точке перегиба). Активное развитие горизонтальных русловых деформаций р. Оби в пределах района исследования привело к формированию трех основных ти-

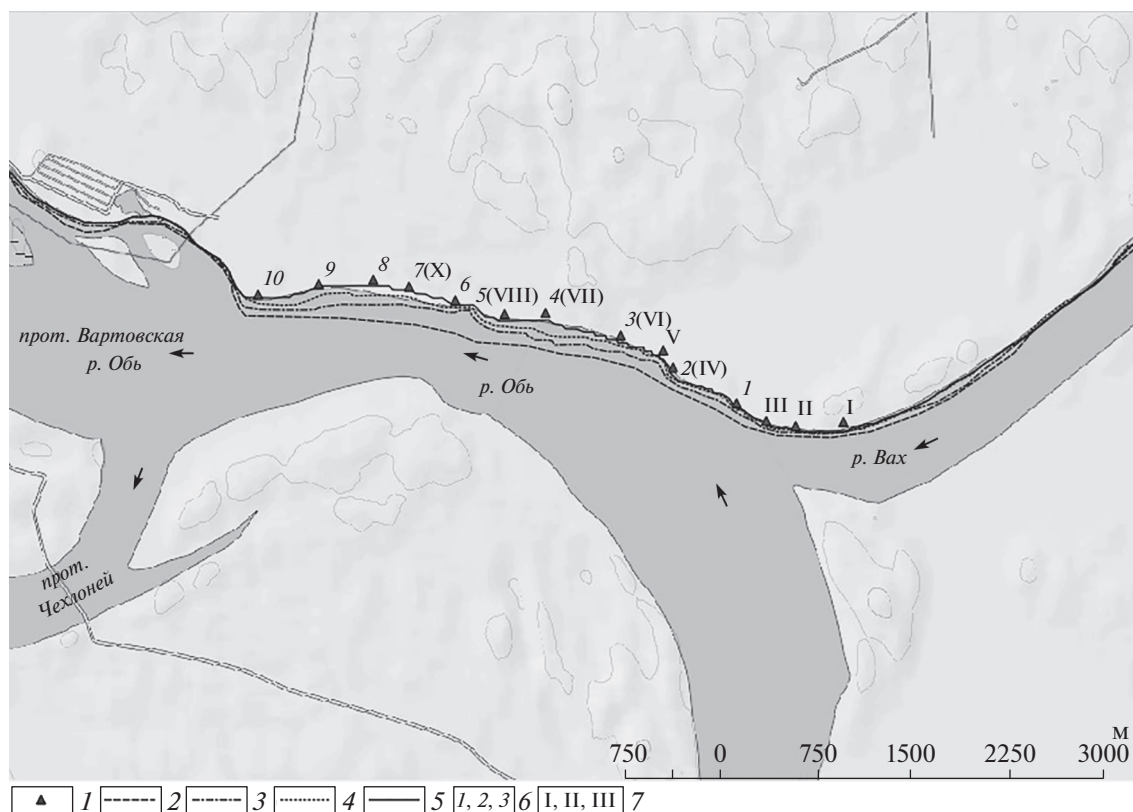


Рис. 2. Размыв вогнутого берега на излучине р. Оби на стационаре “Усть-Вахский”, на картографической основе OpenTopoMap EU, в системе координат WGS 84. 1 – створы; береговая линия: 2 – за 1982 г., 3 – за 1994 г., 4 – за 2001 г., 5 – за 2014 г.; створы: 6 – заложенные НВГУ, 7 – заложенные ТКГРЭ.

Fig. 2. Erosion of the concave bank on the bend of the Ob River at the Ust-Vakhsky stationary, on the cartographic basis OpenTopoMap EU, in the coordinate system WGS 84. 1 – alignments; coastline: 2 – for 1982, 3 – for 1994, 4 – for 2001, 5 – for 2014; alignments: 6 – laid by Nizhnevartovsk State University, 7 – laid by Tyumen Integrated Geological Exploration Expedition.

пов русел: меандрирующего, разветвленного на рукава и смещенного относительно прямолинейных русел. В районе Нижневартовска река образует пойменно-русовое разветвление; правый рукав – протока Вартовская Обь – большой 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 г.), в 2001 г. наблюдения на данном стационаре были возобновлены НВГУ, некоторые створы были восстановлены, а также были установлены новые. На рис. 2 показаны створы ТКГРЭ (римские цифры) и створы НВГУ (арабские цифры).

Литологическая характеристика отложений рассматриваемого участка базируется на материалах, полученных в ходе инженерно-геологических изысканий, проведенных ТКГРЭ (бурение,

изучение обнажений). Верх разреза сложен разнообразными отложениями – от песков до заторфованных грунтов и чистых торфов, относящихся 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 – 20–50%. Связано это с затрудненной фильтрацией атмосферных осадков. Высокая влажность пород определяет их консистенцию как мягко- и текучепластичную, реже тугопластичную. Влажность верхнего предела пластичности в среднем 0.31, иногда до 0.5. Число пластичности от 0.05 до 0.24. При естественной влажности грунты верхней части разреза находятся в слабосвязном состоянии. Основную массу всех слагающих террасу пойму пород составляет залегающий ниже супесчано-песчаный русловой аллювий. По гранулометрическому составу (согласно классификации Н.В. Логвиненко) это алевритовые супеси и пески; иногда встречаются маломощные прослои алевритовых суглинков. Характерная особенность всех пород, слагающих разрез, – присут-

ствие алевритового материала. Нижняя часть склона сложена легко поддающимися размыву супесчаными отложениями, к тому же и обводненными. Все это способствует размыву берега.

На средней Оби от г. Нижневартовска до устья р. Иртыш находится три уречья гидрологических поста (г.п.) — Нижневартовск, Сургут и в Юганской протоке — Нефтеюганск. В работе использованы данные по Нижневартовскому гидростанции. Среднегодовой расход воды равен в г. Колпашево (ниже устья Томи и Чулыма) — 4030 м³/с (объем стока 127.191 км³/год), перед устьем Иртыша — 7350 м³/с (231.973 км³/год). Выход воды на пойму происходит при уровнях 800 см (относительно “0” поста — отметка нуля водомерного поста 29.98 м), меженный уровень 200 см. 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 г.), максимальный расход воды в половодье — 22400 м³/с, минимальный летний — 2350 м³/с. Максимальный расход воды реки Вах — 1890 м³/с, а слой стока за половодье за многолетний период — 151 мм. Критическим уровнем воды, выше которого начинается подтопление территории города Нижневартовска населенного пункта, для р. Вах является отметка в 650 см, меженный уровень 102 см. Основным источником питания рек в период половодья по всей территории служат твердые осадки. Суммарный слой весеннего стока в основном определяется величиной поверхностного притока талых вод. Снеговой сток составляет 70% годового, дождевой ~10%, грунтовый 20% (Отчет..., 2011).

В районе расположения стационара ТКГРЭ вогнутый берег излучины интенсивно размывается, что сопровождается обвальными-осыпными процессами, дефляцией отмелей и образованием оврагов, при одновременном развитии аккумуляции на противоположном левом берегу. Визуальное обследование и анализ космоснимков позволяют 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-канареечниками лугами местами переходят в открытые группировки соровой растительности.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Режимные наблюдения за размывом берегов в районе г. Нижневартовск были организованы Тюменской комплексной геологоразведочной экспедицией (ТКГРЭ) в 1974 г. Наблюдательные

пункты находились непосредственно в пределах 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, где А.А. Земцов (1976) прогнозировал 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. Оби, 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 межи) 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.

Были организованы систематические наблюдения на стационарных постах, представляющих собой полигоны или ключевые участки по изучению (измерению) экзогенных рельефообразующих процессов. В основу работы положены авторские материалы, собранные в ходе полевых исследований 2001 по 2020 г. Использовались картографические материалы и материалы дистанционного зондирования территории (ДЗТ), применен фотограмметрический метод.

Картографический метод, суть которого в корректном совмещении разновременных лотманских карт, позволил вычислить характеристики размыва, показал тенденцию размыва и приблизительные результаты; с его помощью можно определить участки для дальнейшего детального изучения более точными методами. Предельная точность данного метода определяется точностью измерений карт лотманского масштаба 1:25000, составляющей ±2.5 м (ГОСТ Р 51608-2000).

Методы фотограмметрии и дистанционного зондирования территорий (ДЗТ) позволяют провести изучение исследуемой территории с помощью разновременных космических снимков, а также получить информацию с картографическими данными без непосредственного выезда на изучаемый объект. Были использованы космические снимки за 1982, 1994, 2001 и 2014 г., предоставленные лабораторией информационно-кос-

мических технологий Югорского научно-исследовательского института информационных технологий (г. Ханты-Мансийск). Параметры снимков: размеры 2742×2788 , разрешение 96 dpi, тип сжатия LZV, глубина цвета 24, формат рисунка TIFF. Средствами ГИС-пакета по космоснимкам проведена оцифровка береговой линии (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>).

Применен комплексный подход. Русло, показанное на лоцманских картах переносилось в ГИС-среду и совмещалось с руслом, дешифрованным по космическим снимкам; по этим данным так же выявлялись места с тенденцией к эрозии.

Проведены промеры скоростей отступления по закрепленным на местности реперам с применением геодезического оборудования: нивелира, треноги, рейки, рулетки и портативной GPS (Коркин, Исыпов, 2020). 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 г. 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 приемника 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 приемник устанавливается на треногу, 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 (<30 км): в плане $8 \text{ мм} \pm 1 \text{ ppm}$ / по высоте $15 \text{ мм} \pm 1 \text{ ppm}$; статика $3 \text{ мм} \pm 0.5 \text{ ppm}$ / $5 \text{ мм} \pm 0.5 \text{ ppm}$. Точность позиционирования зависит от множества факторов, в том числе от количества спутников, геометрии созвездия, времени наблюдений, точности эфемерид, состояния ионосферы. Указанные значения приведены для нормальных и благоприятных условий.

Съемка производилась в двух режимах:

1) кинематическая съемка в режиме Stop & Go, во время которой мобильный приемник (ровер) перемещается последовательно с остановками на каждой снимаемой точке береговой линии. Антенная вешка должна сохранять вертикальность на каждом пункте съемки в течение заданного

времени (10 мин на первой точке, 1 мин на всех остальных);

2) 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.

Данные обрабатывались 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) (Шелд-мл. и др., 2000). 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 — 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 (Беркович и др., 2019).

РЕЗУЛЬТАТЫ НАБЛЮДЕНИЙ

В пределах стационара “Усть-Вахский” (рис. 2) 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 — 5.3 м/год.

Скорости смещения бровки берега р. Обь с 1982 по 2021 г. показаны на рис. 3 (Коркин, 2008). Среднемноголетнее значение отступления берега за наблюдаемый период равно 3.9 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 ...” (2004). В работе А.А. Кураковой (2020) представлены сведения, подтверждающие наши данные, 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 проис-

Таблица 1. Показатели отступления берега по данным ТКГРЭ на стационаре “Усть-Вахский”**Table 1.** Indicators of coastal retreat according to Tyumen Integrated Geological Exploration Expedition at the Ust-Vakhsky stationary

Номер створа	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” (1982–2014 — по материалам дешифрирования космоснимков, 2014–2021 — по данным полевых измерений)**Table 2.** Area characteristics of the erosion of the coastal zone within the Ust-Vakhsky stationary (1982–2014 — based on the materials of decoding space images, 2014–2021 — according to field measurements)

Период, годы	Суммарная площадь размыва, м ²	Годовые темпы размыва, м ² /год	Средняя скорость размыва, м/год
1982–1994	416 200	34 700	6.9
1994–2001	225 000	32 100	6.4
2001–2014	200 800	15 400	3.1
2014–2021	134 000	19 100	3.8

ходит 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 (Чалов, 2017).

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).

При анализе космических снимков за 1982, 1994, 2001 и 2014 г. получена суммарная площадь размыва прибрежной зоны в результате развития излучины русла за три периода с 1982 по 2014 г. — 842 тыс. м² (табл. 2), причем в 1982–1994 гг. (12 лет) активность деформации правого берега р. Обь

была выше, годовые темпы размыва составили 34.7 тыс. м²/год со средней скоростью размыва 6.9 м/год. Сильные размывы замечены в годы с высоким уровнем воды. На данном участке предполагаются сенокосы, в связи с чем можно говорить о потерях кормовых угодий.

Применение геодезической съемки с использованием спутникового позиционирования GNSS позволило вычислить размеры площадей размыва за каждый год, а также объем размываемого грунта, поступающего в русло реки (табл. 3). В таблице так же присутствует информация о количестве точек, примененных для описания береговой линии, об общей протяженности пути и высотах бровки, полученных по данным полевых исследований и об ошибке погрешности. Ошибка при расчете площади и объема размыва не учитывается, ибо ошибку, вносимую человеческим фактором определить невозможно, а прибор имеет сантиметровую точность, что дает незначительные погрешности.

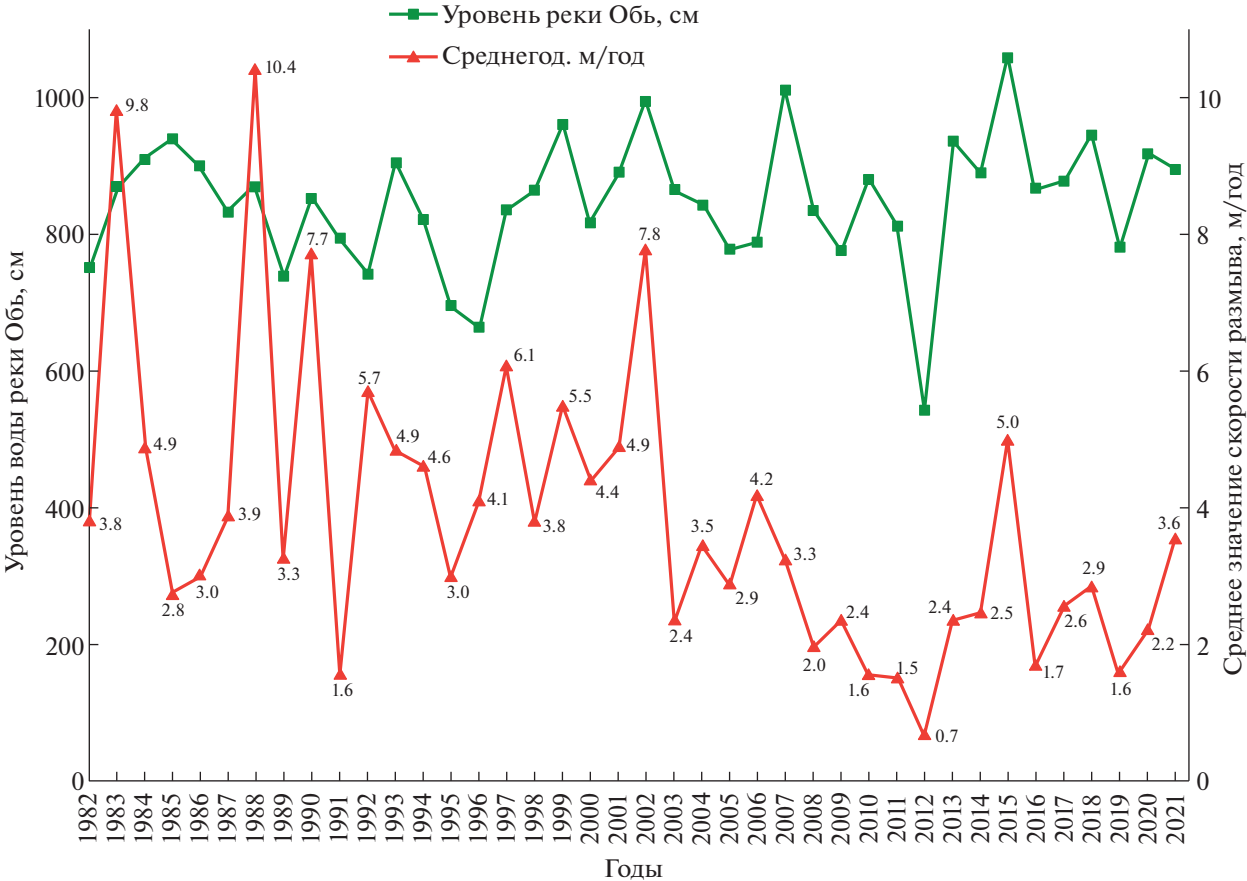


Рис. 3. График сравнения максимального уровня воды в реке Обь (см) и среднегодовых значений скорости размыва (м/год) за период с 1982 по 2021 г.
Fig. 3. Graph of comparison of the maximum water level in the Ob River (cm) and the average annual values of the erosion rate (m/year) for the period from 1982 to 2021.

В результате проведенного исследования получена база данных многолетних наблюдений, на основе которой составлена вероятностная модель краткосрочных и долгосрочных прогнозов горизонтальных русловых деформаций широтного участка р. Обь, где формируются свободные излу-

Таблица 3. Результаты измерений с применением спутникового оборудования
Table 3. Measurement results using satellite equipment

Год съемки	Количество точек	Протяженность береговой линии, м	Средняя высота бровки, от уреза воды, м	Средняя скорость отступления берега, м	Размыв, тыс. м ²	Объем, тыс. м ³
2013	93	1954 (1/2 исследуе- мого участка)	5.2 ± 0.1	2.4 ± 0.1	—	—
2014	457		5.2 ± 0.1	2.5 ± 0.1	10.9	56.4
2015	178		4.9 ± 0.1	5.00 ± 0.1	29.5	144.4
2016	261		4.8 ± 0.1	1.7 ± 0.1	11.4	54.7
2017	262		5.3 ± 0.1	2.6 ± 0.1	15.4	81.6
2018	174		5.5 ± 0.1	2.9 ± 0.1	17.8	98.1
2019	170		5.4 ± 0.1	1.6 ± 0.1	14.3	77.8
2020	235		5.0 ± 0.1	2.2 ± 0.1	18.9	94.9
2021	190		5.7 ± 0.1	3.6 ± 0.1	16.1	91.4
Всего					134.3	699.3



Рис. 4. Прогноз средней скорости размыва до 2030 г.

Fig. 4. Forecast of the average erosion rate until 2030.

чины, а пойма расчленена многочисленными протоками. По средней скорости размыва (м/год) были построены различные линии тренда, из которых были выбраны две с максимальным коэффициентом достоверности аппроксимации (рис. 4). Согласно линейному тренду скорость размыва будет уменьшаться от 2.0 м/год в 2022 г. до 1.1 м/год к 2030 г. Полиномная линия тренда показывает обратную ситуацию: в 2022 г. будет спад до 2.8 м/год, а к 2030 г. значение увеличится до 5.4 м/год. По двум рядам даем прогноз: на 2022 г. скорость размыва от 2.0 до 2.8 м/год и на 2030 г. скорость размыва от 1.1 до 5.4 м/год.

ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

По данным официального сайта местного самоуправления Нижневартовска получены данные максимальных значений половодья в р. Обь. По значениям уровня воды и среднегодового показателя отступления берега с 1982 по 2021 г. построен объединенный график (рис. 3). Сравнивая кривые данного графика с графиком между собой, можно проследить прямую зависимость размыва берега от уровня воды в реке. Коэффициент корреляции между скоростями размыва и максимальными уровнями воды $r = 0.8$ указывает на сильную положительную связь. Рассчитывая корреляцию и выявляя тесную связь, мы подчерки-

ваем типичность исследуемого участка и подчеркиваем очевидность этой зависимости. В работе Р.С. Чалова и др. (Русловые процессы..., 2001) приводятся данные о многолетних изменениях водности р. Оби, согласно которым наряду с короткими группировками в 3–7 лет наблюдаются группы 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 активности эрозии берегов.

Для анализа связей установленной динамики береговой эрозии с климатическими факторами (средняя температура воздуха, количество выпавших осадков, высота снежного покрова) была проведена выборка данных с 01.01.2002 по 31.12.2021 г. на сайте www.rp5.ru по метеостанции Нижневартовск/им. В.И. Муравленко (аэропорт), Россия, WMO ID = 23471 (номер во Всемирной метеорологической организации), а также метеостанции вверх по течению реки в с. Александровском (Томская область, Россия), WMO ID = 23955. Ввиду того что основное питание р. Обь преимущественно снежное (Атлас..., 2004), были выбраны именно эти климатические факторы. Зависимость горизонтальных русловых деформаций от колебаний среднегодовой температуры, осадков, снега не была выявлена. Рассчитанные коэффи-

циенты корреляции между среднегодовыми скоростями размыва и климатическими показателями принимают значения в диапазоне от -0.3 до $+0.3$, что указывает на слабую статистическую связь.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Оценены скорости размыва берегов на Усть-Вахском стационаре на средней Оби — за период с 1982 по 2014 г. по данным применения ДЗЗ, а за период с 2014 по 2021 г. — по данным полевых измерений. Полученные результаты позволяют оценить площади размывных участков поймы за четыре периода: с 1982 по 1994 г. — 416.2 тыс. м²; с 1994 по 2001 г. — 225 тыс. м²; с 2001 по 2014 г. — 200.8 тыс. м², с 2014 по 2021 г. — 134 тыс. м². Итоговая площадь размыва берегов составила 976 тыс. м² за наблюдаемый период с 1982 по 2021 г. Выявлен наиболее активный период размыва правого берега р. Обь — с 1982 по 1994 г. со средней скоростью размыва 6.9 м/год, что связано с высоким уровнем воды. Наиболее интенсивное разрушение берегов и переноса материала происходит в период половодья растянутого на 2–4 мес. Общий объем наносов, поступивших в реку вследствие разрушения берега, составил порядка 4.9 млн м³. Среднегодовая скорость (м/год) по исследуемому берегу зависит от высоких значений уровней воды. Характер эрозионной активности рек подвержен значительным изменениям как в течение года (вызвано изменением уровня воды в реке), так и в течение более длительного периода времени (обусловлено изменением конфигурации русла, состава размываемых пород, положения базиса эрозии или самой территории вследствие современных тектонических движений). В результате проведенного исследования получена база данных многолетних наблюдений, на основе которой составлена вероятностная модель краткосрочных и долгосрочных прогнозов горизонтальных русловых деформаций широтного участка р. Обь, где формируются свободные излуины, а пойма расчленена многочисленными протоками. По двум линиям тренда была получена область возможных значений средней скорости размыва, так на 2022 г. прогнозируемая скорость от 2.0 до 2.8 м/год и на 2030 г. скорость размыва от 1.1 до 5.4 м/год (рис. 4).

БЛАГОДАРНОСТИ

Выражаем благодарность за научную консультацию профессору кафедры гидрологии суши, заведующему лабораторией эрозии почв и русловых процессов им. Н.И. Маккавеева Р.С. Чалову. Исследование скоростей отступления берега реки Обь выполнено за счет средств гранта Российского научного фонда и Правительства ХМАО-Югры № 22-17-20011, а изучение гео-

лого-геоморфологических особенностей поймы реки Обь производилось при поддержке РФФИ № 19-29-05259.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Атлас Ханты-Мансийского автономного округа-Югры. Т. 2: Природа и экология. Ханты-Мансийск. М.: ООО НПФ Талка-ТДВ, 2004. 152 с.
- Баженова О.И. Развитие излучин и современные геоморфологические процессы на средней Оби // Докл. ин-та географии Сибири и Дальнего Востока. 1976. Вып. 50. С. 64–71.
- Беркович К.М., Злотина Л.В., Турыкин Л.А. Размыв речных берегов: факторы, механизм, деятельность человека // Геоморфология. 2019. № 2. С. 3–17. <https://doi.org/10.31857/S0435-4281201923-17>
- 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.: Геогр. ф-т МГУ, 2013. С. 60–69.
- Евсеева Н.С., Земцов А.А. Рельефообразование в лесоболотной зоне Западно-Сибирской равнины. Томск: Изд-во Томск. ун-та, 1990. 242 с.
- Земцов А.А. Геоморфология Западно-Сибирской равнины (северная и центральная части). Томск: Изд-во ТГУ, 1976. 344 с.
- Земцов А.А., Хромых В.С. Проблемы географии Западной Сибири // Вопросы географии Сибири. 1999. Вып. 23. С. 5–10.
- Каменсков Ю.И. Русловые и пойменные процессы. Томск: Изд-во ТГУ, 1987. 171 с.
- 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.
- Коркин С.Е. Природные опасности долинных ландшафтов Среднего Приобья. Нижневартовск: Изд-во Нижневарт. гуманит. ун-та, 2008. 226 с.
- Коркин С.Е., Исытов В.А. Динамика эрозионных процессов Среднего Приобья // Цифровая география / Мат-лы Всерос. науч.-практ. конф. 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 / науч. ред. С.В. Пьянков, С.А. Бузмаков, Н.А. Калинин, Н.Н. Назаров, С.В. Копытов. Пермь: Пермский гос. нац. исслед. ун-т, 2020. С. 94–97.
- Куракова А.А., Чалов Р.С. Размывы берегов на широтном участке средней Оби и их связь с морфологией русла // Географический вестник. 2019. № 3 (50). С. 34–47.
- Куракова А.А. Опасные проявления русловых процессов на средней и нижней Оби // Четвертые виноградовские чтения “Гидрология от познания к мировоззрению” / Сб. докл. междунар. науч. конф. памяти выдающегося русского ученого Юрия Борисовича Виноградова. СПб: ООО Изд-во ВВМ, 2020. С. 487–491.

- Льготин В.А. Закономерности развития экзогенных геологических процессов как основа рационального использования геологической среды (на примере территории Среднего Приобья). Автореф. дис. ... канд. геол.-мин. наук. Томск: ТГУ, 1990. 21 с.
- Маккавеев Н.И. Русловой режим рек и трассирование прорезей. М.: Геогр. ф-т МГУ, 2013. 179 с.
- 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.adhmao.ru/upload/iblock/a30/otchetch.pdf>
- Русловые процессы и водные пути на реках Обского бассейна / Р.С. Чалов, Е.М. Плескевич, В.А. Баула. Новосибирск: РИПЭЛ-плюс, 2001. 300 с.
- Сурков В.В. Динамика пойменных ландшафтов верхней и средней Оби. М.: Геогр. ф-т МГУ, 1999. 255 с.
- Хромых В.С. Природное районирование поймы Средней Оби // Вопросы географии Сибири. 1979. Вып. 12. С. 69–86.
- Чалов Р.С., Камышев А.А., Завадский А.С., Куракова А.А. Морфодинамика и гидролого-морфологическая характеристика русла средней Оби на широтном участке // География и природные ресурсы. 2021. Т. 42. № 2 (166). С. 92–102. <https://doi.org/10.15372/GIPR20210210>
- 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.
- Чалов Р.С. Русловедение: теория, география, практика. Т. 2. Морфодинамика речных русел. М.: КРАСАНД, 2018. 960 с.
- Чалов Р.С. Русловые процессы (русловедение). М.: ИНФРА-М, 2017. 569 с.
- Чалов Р.С. Эрозионно-русловые системы, их структура, саморегулирование и функционирование // Геоморфология. 2013. № 4. С. 16–26. <https://doi.org/10.15356/0435-4281-2013-4-16-26>
- Чалов Р.С., Завадский А.С., Панин А.В. Речные излучины. М.: Изд-во МГУ, 2004. 371 с.
- Чалов Р.С., Рулёва С.Н., Михайлова Н.М. Параметризация русловых процессов как основа оценки их опасных проявлений и учета при использовании водных ресурсов // Современные проблемы эрозионных, русловых и устьевых процессов / Мат-лы Всерос. науч. конф. с междунар. участием и XXXI пленарного межвуз. координац. совещ. (Архангельск, 26–30 сентября 2016 г.). Архангельск: ИЦ АЗ+, 2016. С. 175–176.
- Шелд-мл. Ф., Саймон А., Штеффен Л. Воздействие водохранилища на миграцию русла реки вниз по течению // Охрана окружающей среды. 2000. 27 (1). С. 54–66. <https://doi.org/10.1017/S0376892900000072>

ANALYSIS OF HORIZONTAL CHANNEL DEFORMATIONS BASED ON STATIONARY OBSERVATIONS

S. E. Korkin^{a,b,#} and V. A. Isypov^{a,##}

^aNizhnevartovsk State University, Nizhnevartovsk, Russia

^bInstitute of Plant and Animal Ecology (IPAE), Yekaterinburg, Russia

[#]E-mail: egf_nv@mail.ru

^{##}E-mail: dodi_94@mail.ru

The dynamics of bank erosion was estimated based on the stationary observations within the Khanty-Mansiysk Autonomous Region — Yugra, in the latitudinal section of the Ob River. The results include data on the deformations of river channels and floodplains, necessary for assessing and forecasting the negative impact of bank erosion on economic activity and taking timely measures to prevent it. Monitoring was carried out at the Ust-Vakhsky station using various methods including morphometric field mapping, cartography, photogrammetry and remote sensing. According to the study, the average long-term rate of bank retreat over the observation period is 3.9 m/year. The maximum rate of 17.5 m/year of the bank edge retreat was recorded in 2004. The results helped to estimate the amount of land eroded during four periods of erosional activity: from 1982 to 1994 — 416.2 thousand m² (annual erosion rate was 34.7 thousand m²/year); from 1994 to 2001 — 225 thousand m² (32.1 thousand m²/year); from 2001 to 2014 — 200.8 thousand m² (15.4 thousand m²/year); from 2014 to 2021 — 134 thousand m² (19.1 thousand m²/year). The total eroded area accounts for 976 thousand m² for the observed period from 1982 to 2021 (with an average erosion rate of 26.3 thousand m²/year). The total volume of sediments that entered the river as a result of bank erosion was about 4.9 million m³. The most active period of erosion on the right bank of the Ob River was from 1982 to 1994 with an average erosion rate of 6.9 m/year, which is associated with high water levels. Result of the study were compiled into a database and were used in a probabilistic model of short-term and long-term forecasts of horizontal channel deformations of the latitudinal section of the Ob River, where free bends are formed, and the floodplain is dissected by numerous channels. According to two trend lines, the predicted rate of bank erosion for 2022 range from 2.0 to 2.8 m/year and for 2030 from 1.1 to 5.4 m/year.

Keywords: channel processes, river bank, dynamics, lateral erosion, high water, photogrammetry

ACKNOWLEDGMENTS

We express our gratitude for the scientific consultation to the professor of the Department of Land Hydrology, Head of the Laboratory of Soil Erosion and Channel Processes named after N.I. Makkaveeva R.S. Chalov. The study of the retreat rates of the bank of the Ob River was carried out at the expense of the Russian Science Foundation and the Government of Khanty-Mansi Autonomous Okrug-Yugra No. 22-17-20011, and the study of the geological and geomorphological features of the floodplain of the Ob River was carried out with the support of the Russian Foundation for Basic Research under the scientific project No. 19-29-05259.

REFERENCES

- Atlas Khanty-Mansiiskogo avtonomnogo okruga — Yugra. Tom 2. Priroda i ekologiya* (Atlas of the Khanty-Mansiysk Autonomous Okrug — Yugra. Vol. 2. Nature and ecology). M.: OOO NPF Talka-TDV (Publ.), 2004. 152 p.
- Bazhenova O.I. The development of bends and modern geomorphological processes on the middle Ob. *Dokl. In-ta geografii Sibiri i Dal'nego Vostoka*. 1976. Iss. 50. P. 64–71. (in Russ.)
- Berkovich K.M., Zlotina L.V., and Turykin L.A. Erosion of river banks: factors, mechanism, human activity. *Geomorfologiya*. 2019. No. 2. P. 3–17. (in Russ.). <https://doi.org/10.31857/S0435-4281201923-17>
- Chalov R.S., Kamyshev A.A., Zavadskiy A.S., and Kurakova A.A. Morphodynamics and hydrologic-morphological characteristics of the middle Ob riverbed at the latitudinal stretch. *Geografiya i prirodnye resursy*. 2021. Vol. 42. No. 2 (166). P. 92–102. (in Russ.). <https://doi.org/10.15372/GIPR20210210>
- Chalov R.S. Erosion-channel systems, their structure, self-regulation and functioning). *Geomorfologiya*. 2013. No. 4. P. 16–26. (in Russ.)
- Chalov R.S. *Ruslovedenie. Teoriya, geografiya, praktika. Tom 2: Morfodinamika rechnykh rusel* (Riverbed science. Theory, geography, practice. Vol. 2: Morphodynamics of river channels). M.: KRASAND (Publ.), 2011. 960 p. (in Russ.)
- Chalov R.S. *Ruslovedenie: teoriya, geografiya, praktika. Tom 1: Ruslovye protsessy: faktory, mekhanizmy, formy proyavleniya i usloviya formirovaniya rechnykh rusel* (Riverbed science: theory, geography, practice. Vol. 1: Riverbed processes, mechanism, forms of manifestations and conditions of formations of riverbeds). M.: LKI (Publ.), 2008. 608 p. (in Russ.)
- Chalov R.S. *Ruslovye protsessy (ruslovedenie)* (Channel processes (channel science)). M.: INFRA-M (Publ.), 2017. 569 p. (in Russ.)
- Chalov R.S., Pleskevich E.M., and Baula V.A. (Eds.). *Ruslovye protsessy i vodnye puti na rekakh Obskogo basseina* (Riverbed evolution and waterways of the Ob basin). Novosibirsk: RIPEL-plyus (Publ.), 2001. 300 p. (in Russ.)
- Chalov R.S., Rulyova S.N., and Mihajlova N.M. Parametrization of channel processes as a basis for assessing their hazardous manifestations and accounting for the use of water resources. *Sovremennye problemy erozionnykh, ruslovykh i ust'evykh protsessov: materialy Vserossiiskoi nauchnoi konferentsii s mezhdunarodnym uchastiem i XXXI plenarnogo mezhdunarodnogo koordinatsionnogo soveshchaniya* (Arkhangelsk, 26–30 sentyabrya 2016 goda). Arkhangel'sk: Izdatel'skii centr A3+ (Publ.), 2016. P. 175–176. (in Russ.)
- Chalov R.S., Zavadskiy A.S., and Panin A.V. *Rechnye izluchiny* (River bends). M.: Izd-vo MGU (Publ.), 2004. 371 p. (in Russ.)
- Evseeva N.S. and Zemcov A.A. *Rel'efoobrazovanie v lesobolotnoi zone Zapadno-Sibirskoi ravniny* (Relief formation in the forest-swamp zone of the West Siberian Plain). Tomsk: Izd-vo Tom. un-ta (Publ.), 1990. 242 p. (in Russ.)
- Hromykh V.S. Natural zoning of the floodplain of the Middle Ob. *Voprosy geografii Sibiri*. 1979. Iss. 12. P. 69–86. (in Russ.)
- Kamenskov Yu.I. *Ruslovye i poimennye protsessy* (Channel and floodplain processes). Tomsk: Izd-vo TGU (Publ.), 1987. 171 p. (in Russ.)
- Korableva O.V. and Chernov A.V. Experience in monitoring channel deformations on wide-floodplain rivers (on the example of the Kerzhenets River). *Geografiya i prirodnye resursy*. 2008. No. 2. P. 158–165. (in Russ.)
- Korkin S.E. *Prirodnye opasnosti dolinnykh landshaftov Srednego Priob'ya* (Natural hazards of valley landscapes of the Middle Ob). Nizhnevartovsk: Izd-vo Nizhnevart. gumanit. un-ta (Publ.), 2008. 226 p. (in Russ.)
- Korkin S.E. and Isypov V.A. *Dynamics of erosion processes in the Middle Ob region. Cifrovaya geografiya: materialy Vseros. nauch.-prakt. konferentsii s mezhdunar. uchastiem* (g. Perm', 16–18 sentyabrya 2020 g.): v 2 t. T. 1: *Cifrovye i geoinformatsionnye tekhnologii v izuchenii prirodnnykh protsessov, ekologii, prirodopol'zovaniya i gidrometeorologii*. S.V. Pyankov, S.A. Buzmakov, N.A. Kalinin, N.N. Nazarov, and S.V. Kopytov (Eds). Perm': Permskii gos. nac. issled. universitet (Publ.), 2020. P. 94–97. (in Russ.)
- Kurakova A.A. and Chalov R.S. Erosion of the banks in the latitudinal section of the middle Ob and their relationship with the morphology of the channel. *Geograficheskii vestnik*. 2019. No. 3 (50). P. 34–47. (in Russ.)
- Kurakova A.A. Dangerous manifestations of channel processes on the middle and lower Ob. *Chetvertye vinogradovskie chteniya. Gidrologiya ot poznaniya k mirovozzreniyu. Sbornik dokladov mezhdunarodnoi nauchnoi konferentsii pamyati vydayushchegosya russkogo uchenogo Yuriya Borisovicha Vinogradova*. SPb: OOO "Izdatel'stvo VVM" (Publ.), 2020. P. 487–491. (in Russ.)
- L'gotin V.A. *Zakonomernosti razvitiya ekzogennykh geologicheskikh protsessov kak osnova ratsional'nogo ispol'zovaniya geologicheskoi sredy (na primere territorii Srednego Priob'ya)* (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.
- Makkaveev N.I. *Ruslovoi rezhim rek i trassirovanie prorozei* (River bedding and slot tracing) M.: Geograficheskii fakul'tet MGU (Publ.). 2013. 179 p. (in Russ.)
- Otchet "Obsledovanie vodozashchitnykh sooruzhenii v naselennykh punktakh Hanty-Mansiiskogo avtonom-

- nogo okruga — Yugra — s cel'yu kompleksnoi otsenki sostoyaniya zashchity naselennykh punktov avtonomnogo okruga v ramkakh realizatsii programmy — Obe-spechenie ekologicheskoi bezopasnosti Hanty-Mansiiskogo avtonomnogo okruga — Yugra v 2011—2013 godah". Hanty-Mansijsk. 2011. 275 c. URL: <https://prirodnadzor.admhmao.ru/upload/iblock/a30/otchet.pdf>
- Shields-jr. F., Simon A., and Steffen L. Reservoir effects on downstream river channel migration. *Okhrana okruzhayushchei sredy*. 2000. 27 (1). P. 54—66. <https://doi.org/10.1017/S0376892900000072>
- Surkov V.V. *Dinamika poimennykh landshaftov verkhnei i srednei Obi* (Dynamics of floodplain landscapes of the upper and middle Ob). M.: Geogr. f-t MGU (Publ.), 1999. 255 p.
- Vershinin D.A., Zemcov V.A., and Inishev N.G. From the time of-current research in the field of flow dynamics, sediment runoff and channel deformations in the Siberian rivers (works of the Department of Hydrology of the Tomsk state university). *Makkaveevskie chteniya — 2012*. M.: Geograficheskii fakul'tet MGU (Publ.), 2013. P. 60—69. (in Russ.)
- Zemcov A.A. *Geomorfologiya Zapadno-Sibirskoi ravniny (Severnaya i tsentral'naya chasti)* (Geomorphology of the West Siberian Plain (Northern and Central parts)). Tomsk: TGU (Publ.), 1976. 344 p.
- Zemcov A.A. and Hromykh V.S. Problems of geography of Western Siberia. *Voprosy geografii Sibiri*. 1999. Iss. 23. P. 5—10. (in Russ.)