

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Федеральное государственное образовательное
учреждение высшего образования
Чувашский государственный университет имени И.Н. Ульянова

Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова

Межвузовский научно-координационный совет
по проблеме эрозионных, русловых и устьевых процессов

**ТРИДЦАТЬ ДЕВЯТАЯ ВСЕРОССИЙСКАЯ
С МЕЖДУНАРОДНЫМ УЧАСТИЕМ
МЕЖВУЗОВСКАЯ НАУЧНАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ
ПО ПРОБЛЕМЕ ЭРОЗИОННЫХ, РУСЛОВЫХ
И УСТЬЕВЫХ ПРОЦЕССОВ**

Доклады и сообщения

Чебоксары, 7-11 октября 2024 г.

Чебоксары 2024

УДК 551.48
ББК Д823.121я431 + Д225.5я431
Т67

Редакционная комиссия:
профессор *Р.С. Чалов*, профессор *С.Р. Чалов*,
доцент *И.В. Никонорова* (сопредседатели),
канд. геогр. наук *Н.М. Михайлова* (учёный секретарь),
д-р геогр. наук *А.В. Чернов*, канд. геогр. наук *Н.Н. Иванова*

*Печатается по решению оргкомитета конференции
(президиума Межвузовского совета)*

Тридцать девятая Всероссийская с международным участием межвузовская научная конференция по проблеме эрозионных, русловых и устьевых процессов: доклады и сообщения (г. Чебоксары, 7-11 октября 2024 г.) / под ред. Р.С. Чалова, С.Р. Чалова и И.В. Никоноровой; Чуваш. гос. ун-т им. И.Н. Ульянова. – Чебоксары, 2024. – 180 с.

ISBN 978-5-7677-3820-5

Содержит результаты исследований ученых вузов России, Белоруссии и Китая, объединяемых Межвузовским научно-координационным советом по проблеме эрозионных, русловых и устьевых процессов при МГУ имени М.В. Ломоносова, представленных в виде докладов на XXXIX Всероссийской с международным участием межвузовской научной конференции (в прошлом – пленарном научно-координационном совещании совета).

Для специалистов в области русловых процессов, гидрологии рек, флювиальной геоморфологии, гидротехники, почвоведения, водных путей и мелиорации, геоэкологии.

УДК 551.48
ББК Д823.121я431 + Д225.5я431
© Чувашский госуниверситет
им. И.Н. Ульянова, 2024
© МНКС при МГУ имени М.В. Ломоносова, 2024
© НИЛ эрозии почв и русловых процессов
им. Н.И. Маккавеева МГУ, 2024

ISBN 978-5-7677-3820-5

ПЛЕНАРНЫЕ ДОКЛАДЫ

**Н.Ф. Петров, И.В. Никонорова, А.Е. Гуменюк,
О.В. Никитина, А.В. Мулендеева**

Чувашский государственный университет имени И.Н. Ульянова

УСТОЙЧИВОСТЬ СКЛОНОВ ДОЛИН РЕК РАЗЛИЧНЫХ ПОРЯДКОВ В ЧУВАШИИ И ЕЕ СВЯЗЬ С РУСЛОВЫМИ И ЭРОЗИОННЫМИ ПРОЦЕССАМИ

Среди факторов инженерно-геологических условий расчлененных территорий, определяющих устойчивость склонов, немаловажная роль принадлежит эрозионным и русловым процессам – предметам исследования университетов, объединяемых Межвузовским научно-координационным советом по эрозионным, русловым и устьевым процессам при МГУ им. М.В. Ломоносова (МНКС). Это обстоятельство стало для ученых Чувашии притягательным фактором для приближения к деятельности Совета, которое началось с участия в работе XXI пленарного совещания в г. Чебоксары на базе ЧувГУ (2006 г.) и знакомства с известными учеными и преподавателями вузов во главе с профессором Р.С. Чаловым. С тех пор ученым Чуваши была предоставлена возможность обмениваться мнениями и публиковать в трудах Межвузовского совета десятки статей о влиянии эрозионных процессов в регионе на устойчивость склонов долин как крупных рек (Волги, Суры), так и мелких (Кукшум, Трусиха, Сугутка и др.) [8 -11, 13]. Расположение Чувашии на стыке двух крупных равнинных водохранилищ – Чебоксарского и Куйбышевского побудило представить целую серию докладов о гидродинамическом состоянии берегов р. Волги, их гидроэкологических проблемах [1, 3, 5, 7]. Часть работ была посвящена прикладным задачам эрозиоведения, безопасности функционирования дорожных сооружений Чувашии и соседних регионов в аспекте влияния на них эрозионных и оползневых процессов [2, 4, 6]. Заседания Межвузовского совета оставляют неизгладимые впечатления как от научных докладов и сообщений специалистов на совещаниях, так и хорошо продуманных тематических полевых экскурсий – возможности в натуре изучить природные процессы. Глубоко врезались в память маршруты по долинам рек Катунь, Оби (Алтай, г. Барнаул, г. Горно-Алтайск), в дельту р. Волги (г. Астрахань), посещение долины р. Оки на родину и в дом-музей Сергея Есенина (г. Рязань, XXXVII пленарное совещание). Не менее ценны и впечатлительны культурные части программ совещаний с активным участием членов Совета и общения с коллегами по обсуждаемым проблемам.

Активное участие кафедры физической географии и геоморфологии Чувашского государственного университета им. И.Н. Ульянова в дея-

тельности Межвузовского совета при МГУ не случайно. Располагаясь в северной части Приволжской возвышенности в пределах абсолютных отметок от 50 до 286 м, с множеством (2354) малых рек общей протяженностью до 8,2 тыс. км, Чувашия известна как «овражная республика» с активными линейными эрозионными процессами временных водотоков. Не меньше распространены и русловые процессы, связанные с постоянными водотоками. Однако они недостаточно изучены.

Значение роли русловых процессов в устойчивости склонов долин рек различных порядков с господствующим эрозионно-денудационным типом рельефа рассмотрено на примере р. Сура. В ходе руслового процесса, на южной окраине г. Алатырь, меандра и побочень смещаются по течению реки со скоростью до 1,0 м/год. Поток «бьет» в берег почти под прямым углом, размывая и подрезая его, вызывая оползневые деформации. Возобновление последовательного движения оползневых блоков снизу вверх вызывает разрыв трубы водосброса из очистного сооружения, мощная струя из трубы разбивает овраг и оползневые процессы. Разрушается лес – происходит разрыв многолетних дубов с последующим их сползанием к реке. Это привело к судебным разбирательствам Алатырского лесничества с водоканалом. Аналогичная ситуация и на южной окраине с. Порецкого, где Сурский склон на значительном протяжении выходит из состояния равновесия. Здесь оползневой косогор долины р. Сура протянулся на 1600 м (в том числе с активными оползнями 860 м, площадью 0,32 км²) от устья р. Елховка вверх по течению между ул. Комсомольская (на краю плато с отметок до 116 м) и руслом (отметки 65–70 м). Длина склона от 200 до 320 м, высота до 60 м, крутизна 10–15°. Площадь участка около 0,45 км². Оползни здесь отмечались и 150 лет тому назад, однако систематических исследований склонов здесь не проводилось, их механизмы оставались дискуссионными. По нашим данным [10, 13], здесь развиваются представители трех групп оползней из четырех (выдавливания, скольжения и течения).

Авторы начали заниматься этими склонами с начала XXI столетия и с 2006 г. – крупномасштабным (м-б 1:2000) картированием склонов по методике [10] с целью разработки проекта противооползневых мероприятий (ПОМ) по защите с. Порецкого от оползневых деформаций, обусловленных преимущественно эрозионной деятельностью р. Суры. Путем структурного картирования склонов по двенадцати опорным геоморфологическим профилям выполнено типологическое районирование массива по условиям устойчивости и составу ПОМ. Установлено, что рассматриваемый склон представлен пятью оползневыми системами (Ос-0 – Ос-4) различного порядка, возраста, размеров и положения в системе. Общий объем оползней 1-го порядка более 5,2 млн м³. Активизация

оползней совпадает с периодами избыточного увлажнения и высокого паводкового уровня р. Суры. Пики их активизации пришлись на 1978–1980, 1991–1993, 1999–2001, 2002–2003 гг. и продолжаются в настоящее время. Если в 2005–2007 гг. активные оползни наблюдались в пределах профиля в створе с церковью и Порецкой районной больницей, то к 2023 г. зона активизации сместилась к северу, стенка срыва оказалась примерно в 10–12 м от жилых домов (ранее была в 30 м). Главный фактор деформаций Порецкого левобережья – размывающая деятельность Суры.

В ходе инженерно-геологического районирования склонового массива выделены инженерно-геологические (ИГ) таксоны четырех уровней: районы, подрайоны, участки, подучастки. Четыре ИГ района представлены приводораздельным плато (А), склонами (Б), руслом Суры (В), поймой и аккумулятивными террасами (Т). Район А представлен одним подрайоном – денудационным водораздельным плато АП. Делить его на участки нет необходимости.

Район Б состоит из трех подрайонов – подрайона давнеоползневых склонов (БIV) с участками БIV-1 и БIV-2, подрайона оползневых склонов (БV) с участками БV-1, БV-2 и БV-3 и подрайона эрозионных (БIII) и денудационных (БII) склонов. Дальнейшее деление подрайонов на участки и подучастки осуществлено по особенностям развития оползней с учетом их строения, механизмов развития и опасности. Участок БIV-1 – это древнеоползневая система ОС-0 без активных оползней. Склон находится в стадии увеличения устойчивости. Участок стабильный в рекреационных целях, и, условно устойчивый – в строительных.

Участок БIV-2 охватывает давнеоползневую систему ОС-4. Здесь нет признаков активных деформаций, но, в отличие от участка БIV-1, склон находится в стадии уменьшения устойчивости. Трансформацию давнеоползневого склона (БIV) в оползневой (БV) можно приостановить путем защиты его основания от эрозионной подрезки.

Подрайон оползневых склонов БV занимает центральную часть изучаемого склона длиной около 1200 м и представлен тремя оползневыми системами (ОС-1, ОС-2 и ОС-3) из пяти. Эти оползневые системы с ярусами и подъярусами делят оползневой склон на три ИГ участка БV-1, БV-2 и БV-3. Участок БV-1 (550 м) представлен ОС-1, весьма неоднородным в структурном отношении и состоящим из трех частей – подучастков БV-1.1, БV-1.2 и БV-1.3 соответственно. Подучасток БV-1.1 занимает переходную зону между оползневыми системами ОС-0 и ОС-1. Прирусловая часть без активных оползней, как у ОС-0, но средняя часть – с активными оползнями, приуроченными к зоне сочленения двух нижних оползневых ярусов первого порядка – ОЯ-1.1 и ОЯ-2.1. Подучасток БV-1.2 занимает среднюю часть ОС-1 с активными оползнями по всему склону, особенно

в нижней части. Подучасток БВ-1.3 занимает северную часть ОС-1 с активными оползнями по всему склону вплоть до бровки долины, особенно в его средней и верхней частях (Оп.3 и Оп. 4). Активизация оползней 3-го и 4-го порядков в фронтальной части системы свидетельствует об активной боковой эрозии и медленных движениях оползней 1-го порядка.

Участок БВ-2 (до 300 м) представлен ОС-2 и в структурном отношении состоит из южной (подучасток БВ-2.1) и северной (БВ-2.2) половин. Оползневой ярус 1-й генерации (ОЯ-1.2) является общим для обоих подучастков и проходит по средней части всей системы с юга на север. На подучастке БВ-2.1 лишь нижняя часть склона поражена двумя генерациями оползней 1-го порядка. Это давнеоползневые блоки без признаков явной активизации. Подучасток БВ-2.2 поражен оползнями от русла реки до края плато. Здесь системообразующими являются оползневые ярусы 1-й (ОЯ-1) и 2-й (ОЯ-2.2) генераций. На подучастке в стадии формирования находится приводораздельный 3-й ярус или подъярус (Оп. 6) за счет вовлечения в оползневой процесс края плато.

Участок БВ-3 (до 400 м) представлен ОС-3 с системообразующими оползневыми ярусами ОЯ-1.3 и ОЯ-2.3. По структурным признакам участок разделен на три части – подучастки БВ-3.1, БВ-3.2 и БВ-3.3. Оползневой ярус 1-й генерации ОЯ-1.3 является общим для всей системы, а ярус 2-й генерации ОЯ-2.1 – преимущественно для подучастков БВ-3.1 и БВ-3.2. Подучасток БВ-3.1 характеризуется в южной части ОС-3 с активными оползнями по всему склону (Оп.8 и др.). Здесь сформировался новый головной блок 3-й генерации в пределах жилых домов. Подучасток БВ-3.2 занимает центральную наиболее широкую (от 180 м до 260 м у русла) и активную часть ОС-3, состоящую из активных оползневых ярусов трех генераций, создавших угрозу разрушения домов № 89–111 по ул. Комсомольская. Такая активизация оползней 1-го порядка, и на их фоне – локальных оползней в зонах сочленения ярусов (Оп.10) и в фронтальной части системы (Оп.9), свидетельствуют об активной роли боковой эрозии в общей устойчивости оползневой системы. Подучасток БВ-3.3 характеризуется затуханием активных деформаций и располагается между оползневыми системами ОС-3 и ОС-4.

Таким образом, южный и северный участки массива с давними оползнями снизу защищены пойменными террасами, выположены до профиля равновесия (8-9°) и находятся на стадии стабилизации. Расположенные между ними три оползневых участка (БВ) с тремя оползневыми системами (ОС) характеризуются более напряженными геометрическими параметрами (крутизна 12-15°). Гидролого-геоморфологический анализ левобережья участка свидетельствует о тесной связи активизации оползней с эрозионной деятельностью реки, боковой подрезкой основа-

ния склона, процессами выколаживания склонов. С учетом особенностей развития опасных процессов намечены противооползневые мероприятия:

1. На подучастках подрайона БВ (БВ-1.1, БВ-1.2, БВ-1.3, БВ-2.1, БВ-2.2, БВ-3.1, БВ-3.2, БВ-3.3) – предотвращение подрезки основания склона, пригрузка фронтальных частей оползней грунтовым контрбанкетом, выборочное вертикальное планирование и террасирование, регулирование поверхностного стока.

2. На подучастках БВ-2.2, БВ-3.1, БВ-3.2 – дренаж локальных мочажин и заболачиваний. Удерживающие подпорные на головных блоках верхних ярусов для укрепления края плато с жилыми домами на ул. Комсомольская и контрбанкета в зоне стыка склона с руслом реки. Контрбанкет вдоль подмываемого участка левобережья р. Суры представляет собой систему намытых из речного песка насыпей с укрепленными откосами. Общая протяженность трассы берегоукрепительных работ у русла составит 860 м.

Надежность ПОМ проверена расчетами на трех профилях, являющихся типовыми для оползневых систем ОС-1, ОС-2 и ОС-3. Первый профиль характеризует подучасток БВ-1.3 (ОС-1). Значительная активизация оползней высоких порядков (Оп.4 и др.) здесь связана с продолжающимся смещением прирусловых ярусов 1-й и 2-й генерации оползней. Эффективность ПОМ определялась на двух моделях производственно-технических систем – ПТС-1 и ПТС-2. ПТС-1 – модель локального прируслового оползня 2-го этажа дала коэффициент устойчивости – $K_u = 1,42$ с учетом ПОМ (контрбанкет из намывных песков с $\text{СкПа}/\varphi = 2/26^\circ$). ПТС-2 – модель глубокого оползня 1-й генерации. Обратным расчетом данной модели получены расчетные значения остаточной прочности грунтов зоны смещения ($\text{С кПа}/\varphi = 9/10^\circ$), а прямым расчетом модели М-4.4. определена эффективность ПОМ – $K_u = 1,12$.

Второй типовой профиль на подучастке БВ-2.2 (ОС-2) поражен оползнями от русла реки до края плато. В стадии формирования здесь находится приводораздельный 3-й ярус (Оп.6) за счет вовлечения в оползневой процесс края плато. В рельефе представлены четыре ступени – поверхности оползневых ярусов 1-й генерации (блоки 1а, 1б с отметками 90 и 96 м), 2-й генерации (блок 2а с отметкой 112 м) и 3-й генерации (блок 3а с отметкой 116 м). На модели М-6.2 выполнен прямой расчет с учетом ПОМ и получен $K_u = 1,81$, свидетельствующий об устойчивости ПТС-1. На моделях М-6.3 получены расчетные значения остаточной прочности ($\text{СкПа}/\varphi = 8/8^\circ$), по которым определена эффективность ПОМ уже на другой модели – М-6.4. Полученный $K_u = 1,17$ свидетельствует о достаточной устойчивости проектируемой ПТС-2.

Третий типовой профиль на наиболее активном подучастке БV-3.2 (ОС-3) состоит из оползневых ярусов трех генераций. На модели М-9.1 получены расчетные значения остаточной прочности $С_kPa/\varphi^\circ=5/6^\circ$, необходимые для определения эффективности ПОМ. На модели М-9.2 выполнен прямой расчет K_u при данных $С_kPa/\varphi^\circ=5/6^\circ$ с учетом ПОМ и получен $K_u=1,19$, свидетельствующий о достаточной устойчивости проектируемой ПТС-1. На моделях М-9.3 выполнены прямой и обратный расчеты K_u , получены параметры остаточной прочности ($С_kPa/\varphi^\circ=8/7^\circ$), а по ним - на модели М-9.4 $K_u=1,51$, свидетельствующий о достаточной устойчивости также проектируемой ПТС-2.

В качестве следующего примера рассмотрим правый склон долины р. Трусихи в г. Чебоксары, где геологическими изысканиями для будущего микрорайона (МКР) «Снегири» обнаружено довольно редкое явление – близкое совпадение векторов (направлений и углов падения) у трех компонентов геологической среды массива: 1) дневной поверхности склона, 2) слоистости пород коренной основы, 3) кривой депрессии подземных вод.

В связи с этим обращено внимание на необходимость учета данного явления при принятии проектных решений, например, по освоению подземного пространства массива, при выборе типов фундамента, прогнозе подтопления, оценке устойчивости склонов оврагов и др. Здесь рассмотрены восемь факторов геологических опасностей, выполнена типизация массива по этому признаку и разработаны рекомендации по защите проблемных участков от ОГП.

На правом склоне долины р. Трусиха, юго-западнее территории парка «Лакреевский лес», развиваются склоновые овраги с постоянными водотоками: восточный (молодой) № 1, западный (старый) № 2. Площадь западного оврага, объекта значительных опасностей, 2,65 га. Склон С-З экспозиции с отметками от 134 м (край плато) до 83 м (пойма), пологий (крутизна менее $4,0^\circ$) делювиальный. Овраг № 1 глубиной с эрозионно-осыпными бортами рекомендуется к засыпке, поэтому детали его строения и устойчивости не рассматриваются. Восточный борт оврага-балки (№ 2) является важным объектом оценки устойчивости и обоснования границы застройки массива. Согласно СП 47.13330.2012 прил. А, инженерно-геологические условия площадки относятся к III категории сложности.

Геологический разрез коренной основы (рисунок) в интервале отметок 130–77 м представлен терригенными пестроцветами верхней перми, переслаивающимися между собой аргиллитизированными глинами и алевролитами, песками, мергелями северодвинского и вятского горизонтов (P3s+v). Слои падают, как и склон, к руслу реки под углом около 2° . Ко-

ренные породы перекрыты четвертичными делювиальными суглинками и лессами мощностью от 2 до 8 м. Гидрогеологические условия формируются одним водоносным комплексом, приуроченным к слоям песков и мергелей. УПВ в массиве (кривая депрессии) имеет согласное со склоном и с направлением слоистости падение и залегает на глубине от 7,5 м вверху склона (отм. 124,6 м) до 12,2 м в нижней части склона (отм. 90,5 м). Низкий УПВ обеспечивается хорошей естественной дренированностью массива, благоприятным поверхностным стоком, дренирующей ролью слоев водонесущих мергелей и песков, падающих к р. Трусихе. Подземные воды пресные, безнапорные. Питание комплекса - за счет инфильтрации атмосферных осадков и намывных вод с вышележащей водосборной площади. Разгрузка осуществляется в долину р. Трусихи и частично в овраги. Важно, чтобы сложившиеся условия естественной дренированности не были нарушены при застройке массива и не созданы условия для его подтопления.

С постоянным водотоком в днище оврага № 2 связана донная эрозия в верхней его части и боковая эрозия за счет меандрирования русла – в нижней аккумулятивной. К местам подрезок основания на правом склоне приурочены давние локальные в основном приостановившиеся оползни – простые (одноблочные скольжения) и сложные (одноярусные). Для предупреждения их активизации рекомендуются профилактические ПОМ, в частности, отведение русла от основания склона и пригрузка приязыковых частей оползней грунтовым контрбанкетом вдоль основания склона.

Опасные геологические процессы и явления представлены: растущим оврагом № 1 глубиной более 10 м на полого наклонном (до 3-4°) плато, тремя локальными давними оползнями на правом склоне оврага № 2, донным врезом в его верховье и локальной подрезкой склона меандрирующим ручьем. Эти опасности должны учитываться при инженерной подготовке территории к строительству. Техногенные процессы незначительны за исключением антропогенно образовавшегося активного оврага № 1 с постоянным водотоком, вытекающим из коллектора со стороны действующих предприятий и образующим водопад высотой до 6,0 м с водобойным колодцем. До начала строительного освоения массива водосборной коллектор следует перестроить, а овраг № 1 засыпать, сохраняя его дренирующую роль.

На склонах долины Трусихи нет неустойчивых участков – они все делювиальные (Б1), хотя и на различном генетическом субстрате (от делювиального до эрозионного). Поэтому расчетные створы составлены здесь только в пределах оврага-балки-2 путем анализа инженерно-геологических условий выделенных таксонов районирования. Несмотря на различия в генетическом состоянии склоны сходны между собой по высоте и крутизне, по гидрогеологическим особенностям, морфометрическим параметрам (см. рисунок). Некоторые различия у таксонов районирования имеются в грунтовых и гидрогеологических условиях из-за различий в положении толщи водоносных мергелей и сопутствующих ей подстилающих песков и покрывающих алевролитов в разрезах.

Расчеты устойчивости правых склонов оврага-балки 2 выполнены методом «прислоненного откоса». В данных условиях на склонах прогнозированы оползни следующих типов: 1) локальные одноярусные двух-трех-блочные оползни скольжения с головными блоками вращения с глубиной захвата коренных пород от 4–5 м до 7-8 м; 2) локальные оплывины в коре выветривания терригенных пород с глубиной захвата до 1,5 – 3,0 м.

Расчеты прогнозных моделей по полученным параметрам прочности дали одинаковый результат – $K_u = 1,27$, указывающий на естественную устойчивость давнеоползневого склона. Однако, необходимость защиты языка давнего оползня от возможных размывов временными водотоками все-таки сохраняется, и необходимость выполнения противоэрозионных мероприятий – отвод русла от языков оползней.

Исследование геологических опасностей и оценка устойчивости свидетельствуют, что склоны оврага-балки № 2 при всех прогнозных моделях деформаций сохраняют общую устойчивость (K_u) около 1,2 и выше не только по лабораторным данным прочности, но и по пиковым параметрам, полученным обратными расчетами. Только приязыковые части имеющихся оползней с признаками оплывин имеют $K_u < 1,05$. Для обеспечения надежного $K_u > 1,25$ здесь рекомендуются локальное водопонижение дренажными прорезями и устройство контрбанкета (можно совместить с насыпью проектируемой автодороги). Следует заметить, что в днище данной балки можно предусмотреть зону отдыха с водоемами и фонтанами.

Таким образом, рассматриваемые территории хорошо показывают нам взаимосвязь русловых и склоновых процессов в долинах малых, средних и крупных рек Чувашии, следовательно, и систему защитных мероприятий на них следует выработать сопряженно.

Литература

1. Виноградова Н.Н., Назаров Н.Н., Никонорова И.В. Современные проблемы крупных водохранилищ Волжско-Камского каскада (эколого-геоморфологический аспект) // Эрозионные и русловые процессы. Вып. 5. М.: МГУ, 2010. С. 147–165.

2. Ильин В.Н., Никонорова И.В. Эрозионный смыв как индикатор антропогенной нагрузки на природные комплексы Чувашской Республики // Двадцать шестое пленар. межвуз. координац. совещ. по пробл. эрозионных, русловых и устьевых процессов: доклады и краткие сообщения. Чебоксары: ЧГУ, 2011. С. 116–118.

3. Назаров Н.Н., Никонорова И.В., Филиппов О.В., Фролова И.В. Крупные аккумулятивные образования береговых зон водохранилищ // Эрозионные и русловые процессы. Вып. 6. М.: МГУ, 2015. С. 199–207.

4. Никитина О.В., Петров Н.Ф., Никонорова И.В. Факторы развития эрозионных процессов на автомобильных дорогах Чувашской Республики // Двадцать третье пленар. межвуз. координац. совещ. по пробл. эрозионных, русловых и устьевых процессов: доклады и краткие сообщения. 2008. С. 169–170.

5. Никонорова И.В., Петров Н.Ф. Общие проблемы оползневания и оползневые процессы на берегах Чебоксарского и Куйбышевского водохранилищ // Эрозионные и русловые процессы. Вып. 7. М.: МГУ, 2020. С. 260–268.

6. Никонорова И.В., Петров Н.Ф. Оползневые риски на побережье Куйбышевского водохранилища в зоне проектирования высокоскоростной магистрали «Москва — Казань — Екатеринбург» // Современные проблемы эрозионных, русловых и устьевых процессов: материалы Всерос. науч. конф. с междунар. участием и XXXI пленар. межвуз. координац. совещ. М.: МГУ, 2016. С. 142–144.

7. Никонорова И.В., Петров Н.Ф., Гуменюк А.Е. Влияние Чебоксарского водохранилища на эрозионно-аккумулятивные процессы побережья Волги (Чебоксарский участок) // Закономерности проявления эрозионных и русловых процессов в различных природных условиях: материалы V Всероссийской науч. конф. с междунар. участием, объединенной с XXXIV пленар. совещ. Межвузовского научно-координационного совета по проблеме эрозионных, русловых и устьевых процессов. М.: МГУ, 2019. С. 316–317.

8. Петров Н.Ф., Никонорова И.В. Рекомендации противооползневых мероприятий на автодороге Саранск – Сурское – Ульяновск в зависимости от характера русловых процессов р. Чеберчинка // Тридцать третье пленар. межвуз. координац. совещ. по проблеме эрозионных, русловых и устьевых процессов: доклады и краткие сообщения. 2018. С. 148–150.

9. Петров Н.Ф., Никонорова И.В. Роль палеогеографического анализа русловых и эрозионно-абразионных процессов и явлений в оценке устойчивости склонов // Тридцать шестое пленар. межвуз координац. совещ. по пробл. эрозионных, русловых и устьевых процессов: доклады и краткие сообщения. Ижевск, 2021. С. 135–137.

10. Петров Н.Ф., Никонорова И.В. Эрозионно-оползневые процессы в пределах Алатырского и Порецкого участков левобережья р. Суры в Чувашии // Двадцать шестое пленар. межвуз. координац. совещ. по проблеме эрозионных, русловых и устьевых процессов. Доклады и краткие сообщения. 2011. С. 182–184.

11. Петров Н.Ф., Никонорова И.В., Вдовенков С.П., Прохоров А.Л. Русловые и склоновые процессы в истории формирования долин малых рек в позднем антропогене как факторы устойчивости их склонов (на примере малых рек Чебоксарского правобережья Волги) // Тридцать седьмое пленар. межвуз, координац. совещание по пробл. эрозионных, русловых и устьевых процессов: доклады и краткие сообщения. Рязань, 2022. С. 141–142.

12. Петров Н.Ф., Никонорова И.В., Никитина О.В. Инженерно-геологические аспекты в проблеме оценки устойчивости оползневых склонов // Эволюция эрозионно-русловых систем, её хозяйственно-экономические и экологические последствия, прогнозные оценки и учёт: доклады и сообщения Всерос. науч.-практ. конф. и XXXII межвуз. координац. совещ. 2017. С. 176–179.

13. Петров Н.Ф., Никонорова И.В., Павлов А.Н. О связи русловых и склоновых процессов на примере Алатырского и Порецкого косогорных долин р. Сура // Двадцать восьмое пленар. межвуз. координац. совещ. по пробл. эрозионных, русловых и устьевых процессов. Доклады и краткие сообщения. 2013. С. 141–143.

Ю.И. Бик, М.А. Бучельников, В.Н. Кофеева
Сибирский государственный университет водного транспорта

МЕТОДОЛОГИЧЕСКИЕ ПРИНЦИПЫ СОЗДАНИЯ ИСКУССТВЕННЫХ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ ДЛЯ РЕШЕНИЯ ГИДРОЭКОЛОГИЧЕСКИХ ЗАДАЧ

Западная Сибирь – один из важнейших промышленно-развитых регионов Российской Федерации, гидрологическим «каркасом» которого выступают крупные сибирские реки – Обь и Иртыш с их многочисленными притоками. Сотрудники гидротехнического факультета Сибирского государственного университета водного транспорта в течение многих лет проводят научные изыскания в Обь-Иртышском бассейне по ряду направлений, в частности:

- оценка экологического воздействия на реки при эксплуатации внутренних водных путей;
- проблемы современного состояния малых рек и водоемов в условиях устойчивого развития территорий мегаполисов;
- обоснование объемов дноуглубительных работ на р. Оби;
- оценка безопасности гидротехнических сооружений;
- изменение гидрологических условий в пределах урбанизированных территорий и на сложных участках рек.

В марте 2024 г. в Университете произошло объединение коллективов кафедр строительного производства, конструкций и охраны водных ресурсов и Водных путей и гидротехнических сооружений, что, на наш взгляд, послужит улучшению координации и согласованности в научной работе и подготовке востребованных высококлассных специалистов. Наименование нового структурного подразделения – кафедра Строительного производства, водных путей и гидротехнических сооружений.

Вышеперечисленные научные направления характеризуются значительным объемом информации, сложностью изучаемых процессов, необходимостью получения достоверных прогнозов тех или иных явлений, требуют современных методов обработки данных, математического моделирования, задействования геоинформационных систем. Вследствие этого одним из перспективных направлений научной деятельности кафедры стало изучение возможности создания специализированных искусственных нейронных сетей и получения, в перспективе с их помощью значимых научных результатов [1-5].

Искусственные нейронные сети (ИНС) в наши дни находят все более и более широкое распространение в самых различных отраслях: информационной, инженерной, транспортной, научной, дизайнерской и т.д., постепенно превращаясь в весьма мощное средство для достижения поставленных целей. Вместе с тем большинство ИНС предназначены для широкого потребителя и создавались, прежде всего, для коммерческого использования; конструирование же более узко специализированных сетей встречается с трудностями, вызванными рядом причин. Прежде всего, это сложность поставленных задач и проблемы с верифицированием конечного результата.

В общем виде ИНС предназначены для классификационного анализа (разделения входных данных по каким-либо признакам), прогнозирования (определение вероятного наступления тех или иных событий), распознавания образов (лиц, графических символов, окружающей обстановки). Сложные, многофакторные системы, такие как руслоформирование, взаимодействие водного потока, суши и атмосферы, иногда весьма не просто поддаются описанию и прогнозированию. Первым этапом их изучения стало общее понимание механизмов их действия, качественные оценки происходящего, вторым – появление основополагающих расчетов и математического моделирования. Однако далеко не все математические модели стоит признать успешными и применимыми на практике.

Использование ИНС может стать следующим, третьим этапом получения новых знаний в области гидрологии, гидроэкологии, влиянии человека на водные экосистемы. Например, ИНС позволяет реализовать как известные математические алгоритмы (математические модели), так и ввести новые, включая эмпирическое описание изучаемых природных процессов. В частности, с помощью ИНС достаточно просто реализуется изоморфные модели (идентичные уравнения, описывающие несходные физические процессы и позволяющие изучать одни системы, на основании других), а также, возможно, схемотехническое имитационное моделирование загрязнений речного бассейна.

Ранее нами была показана возможность создания простых ИНС типа перцептрон для оценки воздействия дноуглубительных работ на участки реки. На наш взгляд, ИНС вполне может быть применена для составления прогнозов переработки берегов и моделирования процессов руслоперформирования в целом.

В качестве примера приведем алгоритм работы ИНС для распознавания русловых форм (в частности, перекаатов различных типов). Для этого была создана ИНС вида однослойный перцептрон (т.е. ИНС с одним скрытым слоем и одним R-нейроном) (рис. 1), отвечающий следующим условиям:

13-000000110000000000000000000000
 14-000000110000001111110000000000
 15-00000110000111100001111110000
 16-00000011111100000000000001111
 17-000000000000000000000000000000

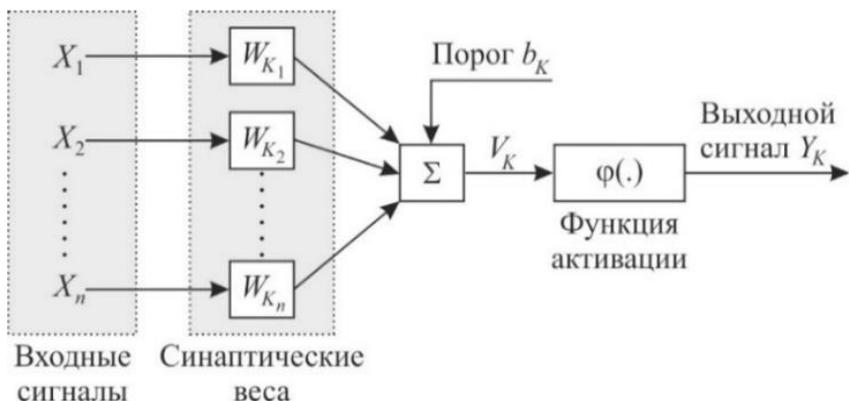


Рис. 2. Схема ИНС для распознавания видов перекаатов

На основании этого алгоритма создаем ИНС, распознающую перекат-россыпь во всех его вариантах. Обучающей выборкой будут перекааты всех видов, процесс обучения заключается в модификации весов: сильнее изменяем вес той связи, которая сильнее повлияла на результат. Программа написана языком программирования Python.

Алгоритм обучения, реализуемый в программе, будет следующим:

1. На вход ИНС подаются образы перекаатов в строковом формате.
2. Если вид перекаата распознан или отвергнут верно, то перейти к шагу 1.
3. Если ИНС ошиблась и распознала неверный образ перекаата как перекат-россыпь, то вычесть из всех связей, связанных с возбуждившимися S-элементами единицу.
4. Если ИНС ошиблась и отвергла образ перекаата, то добавить единицу ко всем связям, связанным с возбуждившимися S-элементами.

Обучающей выборкой будут образы всех перекаатов, тестовой выборкой разнообразные варианты вида одного перекаата в строковом формате. При определении весов задаем начальное значение равным 0, взвешенная сумма пороговой активации равна половине общего значения.

Создается функция для расчета взвешенной суммы и сравнения ее с

порогом. Результатом работы выражения $\text{return net} \geq \text{bias}$ этой функции может быть True (Правда/Да), что означает 1 или False (Ложь/Нет), что означает 0.

Далее определяются две вспомогательные функции. Первая функция вызывается, когда сеть определяет как пережат-россыпь иной пережат (выход равен 1 при демонстрации не пережата-россыпи) и уменьшает на единицу все веса, связанные с возбужденными входами.

Вторая функция вызывается, если сеть не смогла распознать пережат-россыпь (выход равен 0 при демонстрации пережата-россыпи) и увеличивает на единицу все веса, связанные с возбужденными входами.

Из предлагаемого примера видно, что наиболее сложным этапом станет обучение ИНС, т.е. настройка на получение верного результата. Основными способами обучения ИНС выступают «обучение с учителем» и «самостоятельное обучение».

При «обучении с учителем» ИНС тренируют на очень больших выборках обучающих примеров («демонстрируют» известные изображения и проверяют ответ). Обучающие примеры поступают в ИНС в определенной последовательности. Если ИНС генерирует неправильное решение, то весовые коэффициенты связей корректируются и процесс запускается вновь до получения приемлемого соотношения верных/неверных ответов.

Для «образов», составляющих выборку для обучения, желательно выполнить корреляционный и регрессионный анализ.

«Обучение с учителем» подходит для создания таких ИНС, в которых известен требуемый результат (для классификации изображений, распознавания звуков или голоса, прогнозирования, функции аппроксимации), а, следовательно, его применение для специализированных сетей далеко не всегда возможно.

«Обучение без учителя» предполагает наличие лишь входных данных. Корректировка весовых коэффициентов происходит так, чтобы сеть могла из схожих по некоему принципу данных, прийти к результату, выявляющему иные закономерности и взаимосвязи между этими данными. В процессе обучения происходит выделение параметров, характерных для моделей обучающего материала, и дальнейшее объединение этих моделей в группировки по схожим признакам. К «обучению без учителя» можно отнести следующие методы: обучение генетическим алгоритмом (Genetic Algorithm), обучением методом упругого распространения (Resilient propagation, обучение методом обратного распространения (или «обратной ошибки» Backpropagation).

Таким образом, на основании полученного опыта, можно сформулировать следующие методологические принципы создания ИНС для решения гидроэкологических задач:

1. Задача должна быть алгоритмизирована, т.е. сведена к ряду простых действий.

2. Пространственная задача может быть разделена на единичные «кластеры».

3. Алгоритмизация задачи должна соответствовать типу нейронной сети.

4. ИНС должна иметь возможность к «обучению без учителя».

5. Уровень сложности ее архитектуры обусловлен основными задачами, стоящими перед ИНС и количеством учитываемых факторов воздействия.

6. Обратные связи в ИНС должны соответствовать реальным процессам (природным и техногенным), происходящим на участке реки.

7. Сети более высокого иерархического порядка могут складываться из сетей низших порядков и при этом усложняться. Очевидно, что разработка архитектуры ИНС должна начинаться от простого к сложному.

8. Рост и усложнение могут быть обусловлены увеличением числа критериев, используемых в качестве входных сигналов, увеличением числа скрытых слоев, появлением обратных связей.

Реализация программных решений, основанных на вышеназванных принципах, позволит, по нашему мнению, прийти к созданию современного искусственного интеллекта, способного помочь в достижении значимых научных результатов.

Литература

1. Бик Ю.И., Бучельников М.А., Бобыльская В.А. Применение искусственных нейронных сетей для оценки воздействия дноуглубительных работ на речные экосистемы // материалы II Междунар. научно-пром. форума Транспорт. Горизонты развития: 7–10 июня 2022. Т. 2. Н. Новгород, 2022. С. 1–4.

2. Бучельников М.А., Седых В.А., Кофеева В.Н. К вопросу о применении искусственных нейронных сетей для повышения эффективности проектирования дноуглубительных работ // Закономерности проявления эрозийных и русловых процессов в различных природных условиях: V Всерос. науч. конф. с междунар. участием. М.: МГУ, 2019. С.127-130.

3. Бучельников М.А., Седых В.А., Кофеева В.Н. О использовании искусственных нейронных сетей для гидроэкологической оценки дноуглубительных работ // материалы Нац. науч.-практ. конф. Водный

транспорт – перспективы повышения конкурентноспособности: Новосибирск: СГУВТ, 2019 . С. 53–56.

4. Бучельников М.А., Тушина А.С., Сидорова М.Ю. и др. Использование искусственных нейронных сетей для распознавания русловых форм // Интерэкспо Гео-Сибирь. Т. 4. 2022. С. 148–151.

5. Bik Y, Buchelnikov M., Kofeeva V, Bereza I. An integral method for assessing the impact of dredging on the ecological state of river water resources // IOP Conference Series Earth and Environmental Science 867(1). October 2021.

Г.Б. Голубцов, Р.С. Чалов

*Московский государственный университет
имени М.В. Ломоносова*

УСЛОВИЯ ФОРМИРОВАНИЯ РЕЧНЫХ ОСТРОВОВ И ИХ ТИПИЗАЦИЯ¹

Образование и развитие островов на реках – основа разветвления их русел на рукава и протоки, обуславливающие рассредоточение стока воды и наносов, изменение гидравлических характеристик потока и, в конечном счете, формирование наиболее морфологически сложного и разнообразного в отношении русловых переформирований типа русла. В последние десятилетия разветвленным руслам, особенно на больших и крупнейших реках, уделяется все большее внимание, разработаны и обоснованы их классификация [11], особенности и условия формирования, принципиальные схемы переформирований каждого типа, выявлены закономерности распределения расходов воды по рукавам и протокам в разные фазы водного режима, обоснованы методы управления русловыми процессами при освоении водных и других речных ресурсов (в основном для водных путей) [2, 4, 6, 10, 11,12, 14]. Однако собственно острова, будучи важнейшим элементом разветвлений, во многом определяющие их формирование и режим, морфологию, морфометрические характеристики и условия формирования остаются слабо изученными. Наиболее распространенный процесс образования островов и, как следствие, формирования разветвлений заключается в закреплении осередков растительностью, и последующее развитие молодых островов происходит благодаря размывам оголовков, росту и зарастанию кос в ухвостьях, причленению к берегам с обеих сторон, а нередко также к оголовку прирусло-

¹ Выполнено при финансовой поддержке РФН (проект № 23–17–00065).

вых отмелей. Со временем острова объединяются, при заполнении наносами проток между ними, сохраняющимися в рельефе островов в виде ложбин [3, 9, 15, 16].

Формирующиеся в активной зоне русла на основе осередков острова, обуславливают не просто усложнение его морфологии, а развитие в потоке новой гидравлической структуры, присущей разветвлению русла, вызванной рассредоточением стока во все фазы водного режима, создавая условия подпора перед ними выше по течению и извилистость потока, огибающего остров с соответствующем ей полем скоростей течения. При этом минимум гидравлических сопротивлений движению потока [19, 20] оказывают острова с соотношением морфометрических параметров длины и ширины $L_0/B_0 \approx 3-4$, что определяет преобладание таких островов в активной зоне русла (рис. 1). Нарушение этого соотношения приводит к удлинению островов ($L_0/B_0 > 3-4$, возрастает сопротивление по длине), или их расширению, приобретению формы, близкой к овальной или сегментной ($L_0/B_0 < 3-4$, возрастает сопротивление формы). При этом на больших реках с широкопойменным руслом (верхняя Обь, средняя и нижняя Лена) наблюдается зависимость формы островов от морфодинамического типа русла и его устойчивости [16]. Изменение формы и размеров островов, а также направление их смещения в активной зоне и русла любого морфодинамического типа (особенно в неустойчивом и слабоустойчивом русле) является морфологическим признаком направленности вертикальных деформаций: аккумуляции наносов или врезания реки. В случае отрицательного баланса наносов на участке реки, при котором транспортирующая способность потока меньше стока наносов – $W_{тр} < W_{R+G}$ (R и G – взвешенные и влекомые наносы, соответственно), то при возникновении подпора перед оголовком острова в зоне его распространения происходит аккумуляция наносов. Поэтому регрессивное смещение островов рассматривается как морфологический признак направленной аккумуляции наносов на реке [5]. В противном случае (положительный баланс наносов – $W_{тр} > W_{R+G}$) влияние подпора нейтрализуется циркуляционными течениями и скоростным полем потока, возникающими у оголовка острова, обуславливающими перенос поступающих сюда руслообразующих наносов в сторону от оголовка острова к берегам, активизирует его размыв и смещение острова вниз по течению. Соответственно, трансгрессивное смещение островов в активной части русла посередине реки – морфологический признак направленного врезания реки.

Иными словами, для активных зон русла в зависимости от баланса наносов на участке реки, соотношения стока наносов с транспортирующей способностью потока и направленностью вертикальных деформаций характерно трансгрессивное смещение островов (размыв с оголовка)

накопление наносов в ухвостье и формирование у них каплевидной формы (врезание реки и $W_{\text{тр}} > W_{\text{R+G}}$) или их регрессивное смещение (накопление наносов перед оголовком) и образование веретенообразной формы (направленная аккумуляция и соотношения $W_{\text{тр}} < W_{\text{R+G}}$) В периферических зонах русел рек, где преобладает местная аккумуляция наносов, эти закономерности не соблюдаются.



Рис. 1. Разветвленное русло р. Лены – Якутский «разбой». 1 – пойма; 2 – прирусловые отмели, осередки, 3 – положение стрежневой зоны потока в основных рукавах; 4 – зоны размыва; 5 – направление аккумуляции наносов

Многообразие размеров и форм островов, как основных элементов русловых (островных) и пойменно-русловых разветвлений обуславливает подход к их типизации с разных точек зрения в зависимости от морфологии и формы в плане, размеров, условий формирования во врезанном или широкопойменном русле, генезиса, эволюции, положения в русле, соотношение с создаваемыми ими рукавами и протоками, обуславливающими рассредоточение стока, песчаного или галечно-валунного состава руслообразующих наносов, гидравлической структуры потока в узлах разветвления (у оголовков островов), слияния рукавов (в ухвостьях островов) и в пределах рукавов, направленности и интенсивности вертикальных русловых деформаций, устойчивости или неустойчивости русел,

морфодинамического типа русла, в котором они возникают, если сами не создают разветвленных на рукава русел.

Первая категория островов определяется их генезисом, который может быть аккумулятивным или эрозионным. В первом случае формирование островов связано с грядовым движением руслообразующих наносов, в процессе которого повышенные части гряд-макроформ руслового рельефа обсыхают в межень, образуя осередки. При определенных условиях водного режима они закрепляются растительностью и превращаются в острова, которые вызывают рассредоточение стока во все фазы водного режима и формирование присущей разветвлениям гидравлической структуры потока, определяющей дальнейшее их развитие [7, 12]. Таковы большинство островов в широкопойменных реках с песчаным составом руслообразующих наносов (Обь, Лена). Формирование островов, имеющих эрозионное происхождение связано с образованием прованных излучин, размывами пойменных перешейков между основным руслом и пойменными протоками, основными рукавами раздвоенного русла, расчленением по этой же причине уже существующих удлинённых островов и островных массивов или спрямлением крутых излучин в их привершинных частях.

Вторая категория островов определяется их эволюцией с момента трансформации осередка при его зарастании в элементарный остров и превращения последнего последовательно в малый, средний и большой острова вплоть до островных массивов [3]. Данные этапы (стадии) эволюции характерны для островов во всех морфодинамических типах разветвлений и не только зависят от их морфологии и морфометрических характеристик, но и находятся в тесной связи с такими важными параметрами самого русла, как степень его устойчивости, разветвленности (количество островов на единицу длины русла), а также отражают основные тенденции русловых переформирований. При таком подходе к классификации каждый последующий тип характеризуется увеличением линейных размеров острова, изменением его формы в плане, а также соответственно тому или иному структурному уровню разветвлений – островному, пойменно-островному и пойменному, соответствующих русловым, пойменно-русловым разветвлениям и раздвоенным руслам [17]. Такие естественные трансформации островов сопровождаются изменением параметров рукавов, их гидравлических характеристик, развитием излучин рукавов, разветвлений 2-го и 3-го порядка в основных рукавах и, как следствие, перераспределением в них расходов воды и изменениями роли в русловом режиме реки. При большой водности и ширине русла в одном узле разветвлений могут быть представлены все типы островов (от элементарного до островного массива), образуя сложную его конфигурацию

и разделяясь многочисленными протоками различной водности (от долей % до 50% стока воды в реке).

Третья категория связана с формированием островов в активной или периферической зонах русла или их смещением в пределы последних в процессе многолетних (вплоть до вековых) переформирований русла. В активной зоне русла происходит образование островов и их последовательная трансформация, но, попадая в ходе русловых переформирований, смещения русла в периферическую зону, где преобладают аккумулятивные процессы (независимо от направленности вертикальных русловых деформаций), увеличиваются в размерах, превращаются в островные массивы, протоки между которыми маловодны, со временем отмирают, а острова объединяются. Размеры вновь возникающих в межостровных протоках островов соответствуют их водности, невелики по размерам и часто их существование сравнительно недолговечно, они быстро прилегают к уже существующим островам, увеличивая их размеры. Острова активной зоны русла создают одиночные, сопряженные и параллельно-рукавные разветвления, островные массивы – пойменно-русловые разветвления. Острова периферических зон русла очень разнообразны по размерам и форме, преобладают большие острова и островные массивы иногда очень сложной конфигурации. Они образуют также односторонние, двусторонние и чередующиеся односторонние разветвления, суммарная водность рукавов которых составляет от 5 до 20%, причем у наиболее крупных из них – не более 8–10%. Разновидность периферических зон – их приуроченность к отмирающей части русла, образующейся, например, при направленном смещении реки в сторону одного из ее берегов.

Одной из основных характеристик островов является форма в плане или соотношение их длины L_o и ширины B_o . Нормальные аккумулятивные и скульптурно-аккумулятивные острова формируются при зарастании осередков или отмелей возле коренных выступов посередине реки (огрудков) и имеют *каплевидную*, либо *веретенообразную* форму с $L_o/B_o > 3-4$, соответствующую минимуму гидравлических сопротивлений, оказывающих островом на поток [19, 20]. Дальнейшее изменение формы происходит уже в зависимости от местных условий деформаций, расположения островов относительно стрежня (стрежней) потока, дополнительного поступления наносов в русло и т.д. При нарушении оптимального соотношения L_o/B_o остров получает удлинненную форму, если $L_o/B_o > 3-4$, при $L_o/B_o < 3-4$ – овальную, когда оба рукава равнозначны по водности и образуют пологие излучины, шпорой которых служит остров, или сегментную при неодинаковом распределении расходов воды между рукавами, сохранении одним, с большей водностью, квазипрямолинейной или сла-

боизогнутой формы, и образованием другим, относительно маловодным, развитой или крутой излучины. При развитии удлинённого острова, когда $L_0/B_0 \gg 3-4$, его конфигурация может усложняться из-за меандрирования или вторичного разветвления рукавов в соответствии с их водностью и ролью в распределении стока наносов. Таким образом происходит трансформация острова в островной массив, приобретающий изометричную, иногда очень сложную форму в плане. Тем не менее установлено, что диапазон значений показателя формы неодинаков для островов не только в разных морфодинамических типах, но и по длине реки, в зависимости от геоморфологического типа русла. Так, для параллельно-рукавных разветвлений среднего Иртыша, развивающихся в адаптированном русле, этот показатель может превышать 12–13, в то время как для широкопойменного русла верхней Оби или средней Лены аналогичные по морфологии параллельно-рукавные разветвления характеризуются островами с коэффициентом не превышающим 5–7.

Четвертая категория островов связана с их возрастом. Выделяются молодые, недавно возникшие острова, поросшие кустарниковой растительностью и еще не имеющие развитой пойменной фации аллювия и почвенного покрова, возраст которых обычно не превышает 5–25 лет. Старые острова, возраст которых оценивается в несколько десятков или даже сотен лет, обычно характеризуются хорошо развитой древесной растительностью, с выраженным кустарниковым подлеском. Самые древние острова – высокие, редко затопляемые, часто луговые или поросшие лесом, иногда даже хвойным, существуют уже столетия, определяя устойчивое существование разветвлений. Обычно это большие острова, островные и пойменно-островные массивы. В отличие от них молодые острова регулярно затопляются и, подвергаясь воздействию потока практически постоянно, нередко либо размываются, либо причленяются к старым и древним островам или к береговой пойме.

Все рассмотренные категории островов неразрывно связаны между собой, и, характеризуя любой остров, дается (или подразумевается) их оценка по всем классификационным критериям – они являются аккумулятивными, эрозионными или скульптурными; элементарными, малыми, средними или большими (по этим показателям сразу учитываются их размеры, стадия развития и степень морфологической сложности – это «конгломерат» из нескольких объединившихся островов или единый остров, разросшийся за счет причленения к нему отмелей и кос); молодыми, недавно возникшими, старыми или наиболее древними, определяющими облик русла на протяжении десятилетий и даже веков; расположенными в активной или периферической зонах русла, определяющих их дальнейшее развитие. На развитие островов помимо указанных оказывают воз-

действие и другие факторы, позволяющие выполнить их типизацию по дополнительным признакам. Так, например, размывы островов, их объединение зависит от *устойчивости русла* и, следовательно, в зависимости от нее на реках с разветвленным руслом преобладают малые или большие острова [1]; чем устойчивее русло, тем больше старых и древних островов, больше их размеры и сложнее структура. Важным условием формирования и дальнейшего развития островов является *степень разветвленности русла* – количество островов n_0 на единицу длины русла x и, соответственно, рассредоточенность потока по рукавам и протокам. Определенную специфику в формирование и развитие островов вносит песчаный или галечно-валунный состав руслообразующих наносов. Русловая фация аллювия в строении островов в зависимости от него представлена песками или галькой и валунами. На песчаных реках по мере развития острова и его периодического затопления в многоводную фазу режима формируется мощная пойменная фация, представленная супесями и суглинками, на которой развиваются пойменные почвы, вплоть до близких к зональным (на древних островах при редком их затоплении). На галечно-валунных реках песчаные и мелкодисперсные наносы кольматируют русловые отложения, пойменная фация оказывается редуцированной или маломощной. С другой стороны, сложенные песками острова легко размываются потоком, и скорости отступления их берегов колеблются в широких пределах в зависимости от многих причин (максимальные обычно наблюдаются у оголовков) – от первых метров до десятков метров в год, обуславливая слабую или очень сильную изменчивость формы и конфигурации островов. Галечно-валунные острова устойчивы к размыву и, возникнув, они практически навсегда обуславливают разветвление русла, мало и неизменяющее свою конфигурацию. Кроме того, специфика этих руслообразующих наносов заключается в невозможности их переноса донными циркуляционными течениями. Поэтому галечно-валунные острова обычно не размываются с оголовка, возле которого всегда имеется отмель, образовавшаяся в зоне подпора при набегании потока на остров – здесь происходит только остановка транзитных наносов, перемещаемых потоком.

Таким образом, речные острова классифицируются по ряду признаков, связанных как с их морфометрическими и морфологическими параметрами, но и с характеристиками русла, литологией слагающего их аллювия, развитостью пойменной фации и почв, возрастом, переформированиями русла, количеством и сложностью разветвлений.

Литература

1. Беркович К.М., Чалов Р.С. О развитии русел рек, разветвленных на рукава (на примере среднего и верхнего течения р. Оби) // Вест. Моск. ун-та. Сер. 5. География. 1973. № 4. С. 55–60.
2. Водные пути бассейна Лены. М.: МИКИС, 1995. 600 с.
3. Голубцов Г.Б. Формирование, морфология и динамика островов широкопойменных русел больших рек (на примере Оби и Лены): автореф. дис. ... канд. геогр. наук. М.: ИГ РАН, 2023. 29 с.
4. Гришанин К.В. Теория руслового процесса. М.: Транспорт, 1972. 216 с.
5. Маккавеев Н.И. Регрессивные переформирования речных островов // Метеорология и гидрология. 1948. № 4. С. 44–50.
6. Маккавеев Н.И. Русло реки и эрозия в ее бассейне. М.: Изд-во АН СССР, 1955. 347 с.
7. Маккавеев Н.И. Сток и русловые процессы. М.: Изд-во МГУ, 1971. 116 с.
8. Маккавеев Н.И., Чалов Р.С. О развитии рельефа поверхности речных террас и признаки глубинной эрозии на примере верхней Оби // Изв. АН СССР. Сер. географ. 1964. № 4. С. 120–125.
9. Попов И.В. Деформации речных русел и гидротехническое строительство. Л.: Гидрометеиздат, 1965. 328 с.
10. Русловые процессы и водные пути на реках бассейна Северной Двины. М.: Журнал «РТ», 2012. 412 с.
11. Русловые процессы и водные пути на реках Обского бассейна. Новосибирск: РИПЭЛ плюс, 2001. 300 с.
12. Чалов Р.С. Географические исследования русловых процессов. М.: Изд-во МГУ, 1979. 232 с.
13. Чалов Р.С. Общее и географическое русловедение. М.: Изд-во МГУ, 1997. 112 с.
14. Чалов Р.С. Русловедение: теория, география, практика. Т.2. Морфодинамика речных русел. М.: КРАССАНД, 2011. 960 с.
15. 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. 608 с.
16. Чалов Р.С., Голубцов Г.Б., Куракова А.А. Разветвления речных русел, их морфологические проявления и типизация // Изв. Русского географического общества, 2023. № 155. С. 145–162.
17. Чалов Р.С., Чалов С.Р. Морфология скального русла реки Ангары на участках Богучанского и Мотыгинского водохранилищ // География и природные ресурсы, 2009. № 1. С. 103–110.

18. Чернов А.В. География и геоэкологическое состояние речных русел и пойм рек северной Евразии. М.: Крона, 2009. 684 с.

19. Baker V.R. Stream-channel response to floods with examples from central Texas // Geol. Soc. Am. Bull. Vol. 88. 1977. №8. P. 1057–1071.

20. Komar P.D. Shape of streamlined island on Earth and Mars: Experiments and analyses of the minimum-drag form // Geology. 1983. № 11. P. 651–654.

С.Е. Коркин

*Нижевартовский государственный университет,
Институт экологии растений и животных УрО РАН*

ЭРОЗИОННЫЕ И РУСЛОВЫЕ ПРОЦЕССЫ СРЕДНЕГО ПРИБОЬЯ (ПО СТАЦИОНАРНЫМ НАБЛЮДЕНИЯМ)

Целью исследования является выявление динамики эрозионных и русловых процессов в пределах Среднего Приобья (территория Ханты-Мансийского автономного округа – Югры) по данным ежегодных повторных наблюдений на стационарных участках.

В работе использованы следующие методы: 1) полевой с применением систем спутникового позиционирования и промерами скоростей отступления берегов по закрепленным на местности реперам; 2) дешифрирование космических снимков, который заключается в оцифровке береговой линии по космическим снимкам средствами ГИС-пакета MapInfo Professional (лицензия для учебных заведений); были использованы космоснимки, предоставленные Лабораторией информационно-космических технологий Югорского научно-исследовательского института информационных технологий (г. Ханты-Мансийск); 3) с 2019 г. используется создание цифровых моделей рельефа, благодаря обработки аэрофотоматериалов, получаемых с беспилотных летательных аппаратов.

Режимные наблюдения за размывом берегов в районе г. Нижневартовска были организованы в 1974 г. Тюменской комплексной геолого-разведочной экспедицией (ТКГРЭ). Наблюдательные посты размещались непосредственно в пределах города. Отступление береговой бровки в зону городской застройки на локальных участках достигала к 1977 г. до 17 м, к 1978 г. – 20 м. Наиболее интенсивно размывалась полоса в центральной привершинной части излучины. В связи с интенсивной хозяйственной деятельностью в 1979 г. наблюдения были прекращены, и в последствии здесь была построена набережная.

В 1980 г. наблюдения ТКГРЭ были перенесены на правый берег р. Оби вниз по течению от устья р. Ваха 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 были восстановлены студентами и сотрудниками Нижневартковского государственного педагогического института (теперь – Нижневартковский государственный университет); место их проведения получило название «Усть-Вахский стационар». В 2001 г. были заложены на правом берегу Оби, начиная от устья р. Вах, 5 створов, осенью 2002 г. еще 5 ниже по течению. Размещение наблюдательных створов подчинялось принципу «месторасположения» створов ТКГРЭ, т.е. на наиболее активных участках берегового склона р. Оби.

Особенность данного стационара – интенсивное проявление размыва берегового склона с сопутствующим проявлением обвальнo-осыпных явлений, торфообразования, дефляции отмелей и оврагообразования, а также развитие 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.

В пределах стационара «Усть-Вахский» максимальная скорость отступления бровки берега была зафиксирована ТКГРЭ в 1988 г. и составила 25 м/год. Динамика отступления бровки поймы имеет колебательный характер, который коррелируется изменениями водности реки. Это подтверждают наши наблюдения с 2002 по 2023 гг.

По годам среднегодовой показатель отступления берега по данным (ТКГРЭ) составил: в 1983 – 9,8 м/год; 1984 – 4,9 м/год; 1985 – 2,76 м/год; 1986 – 3,01 м/год; 1987 – 3,9 м/год; 1988 – 10,42 м/год; 1989 – 3,26 м/год; 1990 – 7,72 м/год; 1991 – 1,54 м/год; 1992 – 5,7 м/год; 1993 – 4,84 м/год. Среднепогодный показатель за 11 лет – 5,26 м/год.

Скорость смещения бровки берега реки Обь с учетом среднегодовых показателей с 2002 по 2018 гг. составила: в 2002 г. – 7,8 м/год; 2003 – 2,35 м/год; 2004 – 3,46 м/год; 2005 – 2,89 м/год; 2006 – 4,19 м/год; 2007 – 3,25 м/год; 2008 – 1,93 м/год; 2009 – 2,36 м/год; 2010 – 1,57 м/год; 2011 – 1,51 м/год; 2012 – 0,68 м/год; 2013 – 2,36 м/год; 2014 – 2,45 м/год; 2015 – 5,0

м/год, 2016 – 1,69 м/год, 2017 – 2,57 м/год; 2018 – 2,58 м/год, в 2019 – 1,59 м/год, в 2020 – 2,21 м/год, в 2021 – 3,40 м/год, в 2022 г. – 1,69 м/год, в 2023 – 1,07 м/год. Среднемноголетний показатель отступления берега, по наблюдательным створам, за 22 года равен 2,7 м/год. Максимальная скорость отступления бровки берега зафиксирована в 2004 г. и составила 17,5 м/год на пятом створе. Сравнивая два периода наблюдений, активность берегового размыва с 1983 по 1993 г была выше. Рассматривая полученные данные, выделяются 2012 г. с низкими показателями скорости размыва берегов и 2015 г. с высокими показателями размыва, что связано с климато-гидрологическими факторами.

Применение геодезической съемки с использованием спутникового позиционирования GNSS на стационаре «Усть-Вахский» позволило получить площади размыва за каждый год: в 2015 г. – 29472 м²; 2016 г. – 11403 м²; в 2017 г. – 15400 м²; в 2018 г. – 17841 м²; в 2019 г. – 14300 м²; в 2020 г. – 18940 м²; в 2021 г. – 16090 м²; в 2021 г. – 16090 м²; в 2022 г. – 8295 м²; в 2023 г. – 5684 м².

Объемы размытого грунта: за 2015 г. при средней высоте берега над меженным уровнем 4,9 м – 144412,8 м³, за 2016 г. при средней высоте берега 4,8 м – 54734,4 м³, за 2017 г. при средней высоте берега 5,3 м – 81620,0 м³, за 2018 г. при средней высоте берега в 5,5 м – 98125,5 м³, за 2019 г. при средней высоте берега в 5,44 м – 77792,0 м³, за 2020 г. при средней высоте берега в 5,01 м – 94889,4 м³, за 2021 г. при средней высоте берега в 5,68 м – 94889,4 м³, за 2022 г. при средней высоте берега в 6,06 м – 50267,7 м³, за 2023 г. при средней высоте берега в 5,23 м – 29727,3 м³. Суммарное значение за 9 лет составило 722960,3 м³.

В результате сравнения данных наблюдений полученных в ходе исследований, площади потерянной земли за три периода составили: с 1982 по 1994 г. – 416 200 м²; с 1994 по 2001 г. – 225 000 м²; с 2001 по 2014 г. – 200 800 м². Суммарные площадные потери в результате береговых деформаций с 1982 по 2014 гг. – 842 000 м². Наибольшая активность размыва правого берега р. Оби – с 1982 по 1994 гг. (первый период). Кроме того, по полученным данным можно говорить о высокой активности отступления берега во время высокой водности реки, что было подтверждено по данным, полученным за 2015 г.

Средняя скорость смещения бровки берега реки Обь в 2023 г. на стационаре «Усть-Вахский» составила 1,07 м/год. Среднемноголетний показатель отступления берега, по наблюдательным створам, за 22 года равен 2,7 м/год. Выявлена динамика размыва с 2015 г., когда средняя скорость была 5 м/год; один год – низкий размыв, два года в пределах средних значений и выше; два года подряд – с низкий размыв.

Выявление береговых деформаций в пределах нижнего течения долины р. Ваха проводится с 2003 г. по следующим 6 ключевым участкам: 1 – Усть-Колекъеганский, 2 – 180-190 км, 3 – Рыбный участок Кирилкина, 4 – 140-155 км, 5 – Устье Сороминской, 6 – Большетарховский, насчитывающих в общем 30 створов, на которых промеряются ежегодно глубины с помощью эхолота и выявляется характер отмелей. Кроме этого, обследуются береговые зоны по створам для получения морфометрических показателей. Нижнее течение р. Ваха характеризуется свободными излуцинами: имеются крутые сегменты, широко распространены омега-видные при консолидированной пойме. В устье Ваха и долине Оби формируются широкопойменные типы русел, излуцины свободные, сегментные имеют острова в привершинной части, пойма расчленена многочисленными протоками. Методическая часть представленной работы базируется на трудах Р.С. Чалова, А.С. Завадского, А.В. Панина [1,2].

Ключевой участок «Усть-Колекъеганский» имеет протяжённость 35 километров, начинается с излуцины в районе 225 км и заканчивается на 190 км.

Получены следующие результаты отступления берега вследствие размыва: *на первом створе* (II надпойменная терраса) за восемнадцать лет отступление зафиксировано два раз в 2007 г. со значением 3,1 м/год и в 2021 г. – 2,84 м/год; *на втором створе* (пойма) отступление бровки было в 2006, 2007, 2009, 2011, 2013, 2016, 2019 гг. до 0,1, 0,3, 0,7, 0,6, 0,9, 0,24, 0,49 м/год соответственно; *на третьем створе* (пойма) отступление бровки произошло в 2007, 2012, 2013, 2014, 2018, 2019, 2020 и 2021 гг. до 0,3, 0,15, 0,05, 0,23, 2,0, 3,59, 0,2, 0,8 м/год; *на четвертом створе* (пойма) изменения были один раз в 2006 году до 0,3 м/год; *на пятом створе* (II надпойменная терраса) размыв был в 2004 и 2008 гг. до 0,1 м/год; *на шестом створе* (II надпойменная терраса) отступление бровки в 2004 г. до 0,2 м/год, в 2007 г. до 0,8 м/год, в 2012 г. до 2,4 м/год, в 2013 г. до 0,1 м/год, в 2019 г. до 0,29 м/год, в 2020 г. до 0,23 м/год, в 2021 г. до 3,0 м/год; *на седьмом створе* (III надпойменная терраса) горизонтальные деформации в 2004 и 2005 гг. зафиксированы до 0,4, 0,35 м/год, в 2007, 2015, 2018 гг. – до 0,8, 0,7, 1,0 м/год; *на восьмом створе* (пойма) размыв происходил в 2005, 2008, 2013 гг. до 0,3, 0,4, 0,4 м/год; *на девятом створе* (д. Усть-Колекъеган – II надпойменная терраса) отступление наблюдалось до 0,2, 0,8, 0,1, 0,05, 0,35 м/год в 2004, 2005, 2007, 2014 и 2018 гг.; *на десятом створе* (пойма) отступление бровки наблюдалось в 2004 г. до 1,05 м/год, в 2005 г. до 0,15 м/год; *на одиннадцатом створе* (пойма) размыв фиксировался до 0,1 м/год в 2004 г. и до 1,1 м/год в 2008 г.; *на двенадцатом створе* (II надпойменная терраса) горизонтальные деформации до 0,7, 0,4, 0,4, 0,6, 0,3, 0,1 м/год – в 2004, 2006, 2008, 2010, 2011, 2014 гг.,

до 1,0, 2,6, 1,2 и 5,0 м/год в 2005, 2007, 2016 и 2021 гг.; на *тринадцатом створе* (II надпойменная терраса) деформации составили до 0,8 м/год только в 2005 г.

Участок номер два установлен 2004 г. и представлен тремя створами: первый и второй приурочены к пойме, третий – к I надпойменной террасе. Горизонтальные деформации имеют следующие показатели: на *первом створе* за 15 лет отступление берега до 0,4, 0,5, 0,6, 0,6, 0,2, 0,45 м/год происходило в 2005, 2008, 2011, 2012, 2013, 2018 гг., до 4,28, 2,72, 2,23, 5,02, 1,13 м/год в 2014, 2015, 2016, 2017, 2021 гг.; на *втором участке* деформации были зафиксированы до 0,3 и 0,1 м/год в 2006 и 2011 гг., до 1,0 м/год в 2005 и 2008 гг.; на *третьем створе* бровка отступала до 0,1, 0,3, 0,3, 0,1, 0,1, 0,1, 0,02, 0,2 м/год в 2005, 2006, 2008, 2012, 2013, 2014, 2017, 2021 гг.

Участок 3 оборудован с 2004 г. и представлен одним створом, размещенным на Кирилкиной протоке. Размыв на данном участке был зафиксирован только до 0,4 м/год в 2006 г.

Четвертый участок установлен в 2004 г. и привлекает своей интересной конфигурацией. Все створы соответствуют пойме. На первом створе за семь лет отступление было до 0,5 и 1,7 м/год в 2008 и 2013 гг., в 2019 г. отступление составило 7,05 м. На втором створе размыв зафиксирован в 2015, 2016, 2018 и 2019 гг. в 1,8, 0,14, 0,46 и 1,1 м/год. На третьем створе бровка отступает до 0,7, 0,5, 0,6, 0,2, 0,57, 0,57, 0,5 м/год в 2005, 2006, 2010, 2011, 2014, 2016 и 2017 гг., до 1,2, 2,2, 2,63, 2,67, 1,67 м/год в 2009, 2013, 2015, 2018, 2019 гг. и до 4,1 м/год в 2007 г. Четвертый створ характеризуется размывами до 0,1, 0,4, 0,5, 0,1, 0,07 м/год в 2006, 2007, 2008, 2009, 2019 гг., до 0,9, 1,2, 1,25, 0,85 м/год в 2011, 2013, 2016, 2017 гг. до 2,2 м/год в 2005 г. На пятый створе скорости размыва изменяются до 0,1, 0,02 м/год в 2009 и 2017 гг. до 1,6, 1,54 м/год в 2007 и 2015 гг.

Ключевой участок «Усть-Сороминский» приурочен к излучине, которая в своем развитии находится в завершающей стадии меандрирования. Створы данного участка относятся к пойме. Первый створ преобразуется до 0,1 м/год в 2005 году, до 1,2, 3,2, 1,54, 1,96, 0,7, 0,7, 0,43, 0,4, 0,4, 6,4 м/год в 2007, 2012, 2013, 2014, 2015, 2016, 2017, 2019, 2020 и 2021 гг. Второй створ изменяется до 0,2, 0,4, 0,25 м/год в 2006, 2013, 2018 гг., до 0,8 м/год в 2008 году, до 1,7, 1,85 м/год в 2011, 2015 гг., до 2,2 м/год в 2005 году и почти с таким же был показатель 2016 г. (2,15 м/год). В 2019, 2020 и 2021 гг., соответственно, скорости размыва равнялись 1,3, 1,7, 0,8 м/год. На третьем створе они изменялись от 0,03, 0,16, 0,14, 0,32 м/год в 2011, 2016, 2020, 2021 гг. до 1,89, 1,6, 1,74 м/год в 2008, 2013, 2017 гг. и до 3,08, 3,0 в 2012 и 2015 гг.

На «Большетарховском» ключевом участке в 2004 г. заложено четыре створа, из которых три непосредственно в пределах береговой части д. Большетархово, четвертый в районе Гришкиной протоки. На первом створе отступление бровки произошло только до 0,1 м в 2005 г. На втором створе изменения до 0,1 м происходило в 2011 г. и до 1,5 м в 2008 г. Третий створ преобразовывался до 0,2 м в 2006 г., до 0,6 м в 2009 г., до 1,2 м в 2008 г. и до 1,6 м в 2005 г. В 2010 г. верхнюю часть склона закрепили.

В 2007 г. у поселка Большетархово начаты работы по берегоукреплению. Но из-за не правильных действий при строительстве возведенная вдоль береговой зоны защитная дамба в виде террасы из руслового аллювия р. Вах была разрушена боковой эрозией в 2008 году и данный процесс продолжался по 2011 год.

При рассмотрении русловых деформаций вызывает интерес развитие ситуации в районе Гришкиной протоки, где перешеек между руслом Ваха и протокой в 2005 г. составлял 10,3 м, в 2008 г. – только 5,2 м. Спрявление русла предполагалось к 2010 г., но прорыв был зафиксирован нами в 2011 г. В 2009 и 2010 г. по полевым данным размыв был на нулевом уровне.

Морфометрические показатели ключевого участка в районе Гришкиной протоки по годам следующие: 11.08.2005 – перешеек составлял 10,3 м; 02.09.2006 – 8,3 м (2,0 м в год – отступление бровки); 15.10.2007 – 7,5 м (0,8 м в год – отступление бровки); 27.09.2008 – 5,2 м (2,3 м в год – отступление бровки); 30.08.2009 – 5,2 м; 11.09.2010 – 5,2 м; 18.09.2011 года зафиксирован размыв перешейка.

В ходе полевых работ 2011 года были выявлены следующие морфометрические характеристики новообразованной протоки: ширина – 54 м, глубина в центре – 5,4 м, высота левого берега от уреза воды – 4,5 м, правого берега 4,4 м.

Выполнение картографических работ проводилось в специализированных ГИС-программах (AutoCAD, ArcGIS, MapInfo, Qgis). Исследование боковой эрозии берега производилось с помощью беспилотного летательного аппарата, с закреплёнными на местности опорными пунктами.

Общий размыв левого берега за одиннадцать лет составил 100,2 м, а ситуация по годам представлена в таблице. Правый берег имеет меньший показатель размыва, за период наблюдения.

Объем размываемого грунта в 2011 г. составили 2342 м³; в 2012 г. – правого берега 332 м³, левого берега 643 м³ и общий за год – около 975 м³; в 2013 г. – правого берега 38 м³, левого – 2463 м³ и общий объем за год – 2501 м³; в 2014 г. – правого берега 170 м³, левого – 520 м³, общий объем за год 690 м³; в 2015 г. – правого берега 265 м³, левого – 1974 м³, общий объем за год 2239 м³; в 2016 г. – правого берега 26 м³, левого –

124 м³, общий объем за год – 150 м³; в 2017 г. – правого берега 7 м³, левого – 190 м³, общий за год 197 м³; в 2018 г. – правого берега 3 м³, левого – 236 м³, общий за год 239 м³; в 2019 г. – правый берег не размывался, левый берег – 250 м³; в 2020 г. – правого берега 0,1 м³, левого – 326 м³ и общий за год 326,1 м³; в 2021 г. – правого берега 79 м³, левого – 182 м³, общий за год 261 м³; в 2022 г. – правый берег не размывался, левого берега – 933 м³; в 2023 г. – правый берег не размывался, левого берега – 243 м³.

Результаты измерений в районе Гришкиной протоки с 2012 по 2023 гг.

Год измерений	Отступление бровки левого берега (м)	Отступление бровки правого берега (м)
2012	9,50	3,80
2013	22,0	1,20
2014	4,60	4,00
2015	15,5	6,50
2016	4,80	2,24
2017	5,74	1,11
2018	4,86	0,45
2019	5,35	0,00
2020	7,85	0,07
2021	6,73	7,89
2022	13,27	0,00
2023	1,70	0,00
Размыв (м)	101,9	27,26

С момента возникновения прорана, в воды Ваха поступило 11346,1 м³ грунта (расчёт по результатам промеров рулеткой). Используя разновременные снимки (функция исторических снимков из программы Google Earth; были взяты доступные космические снимки за 2012 и 2022 гг.), получены данные размыва прорана по разнице площадей полигонов. С учетом всей территории прорана значения получились следующие: площадь 3743 м², объем 20586 м³. Ширина активного русла в сентябре 2022 г. составила 125 м при глубине 5,0 м на расстоянии 35 м от левого уреза воды. Объем подводного размыва составил 10642,5 м³, с учетом длины русла в промоине 125 м, средней глубины 3,87 м, определенной с помощью эхолота, и средней ширине прорана 22 м.

Полученные данные говорят о наличии активной эрозионной деятельности на участке Гришкиной протоки и в особенности левого берега образованной в 2011 г. промоины.

Литература

1. Чалов Р.С. Русловедение: теория, география, практика. Т. 2. Морфодинамика речных русел. М.: КРАСАНД, 2011. 960 с.
2. Чалов Р.С., Завадский А.С., Панин А.В. Речные излуины. М.: Изд-во МГУ, 2004. 371 с.

И.И. Рысин, И.И. Григорьев, М.А. Пермяков

Удмуртский государственный университет

АНОМАЛЬНЫЕ ПРОЯВЛЕНИЯ ОВРАЖНОЙ ЭРОЗИИ И РУСЛОВЫХ ПРОЦЕССОВ НА ТЕРРИТОРИИ УДМУРТИИ²

В работе представлены результаты длительных (1978–2023 гг.) полевых наблюдений за линейным ростом оврагов в пределах юга Вятско-Камского междуречья на территории Удмуртской Республики (УР). На 2023 г. в систему мониторинга на землях сельскохозяйственного назначения входят 169 вершин оврагов, которые располагаются на 28 ключевых участках в различных ландшафтных условиях юга Вятско-Камского междуречья (рис. 1).

Определение темпов линейного прироста оврагов производится путем измерения расстояния от вершины оврага до предварительно установленного репера. На большинстве участков (127 вершин оврагов) наблюдения проводятся один раз в год (летом), а на девяти ключевых участках (42 оврага) измерения осуществляются дважды: в мае, после снеготаяния (весеннего половодья) и в октябре или начале ноября, после окончания сезона летнее-осенних ливней [1].

² Выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 23–27–00194.

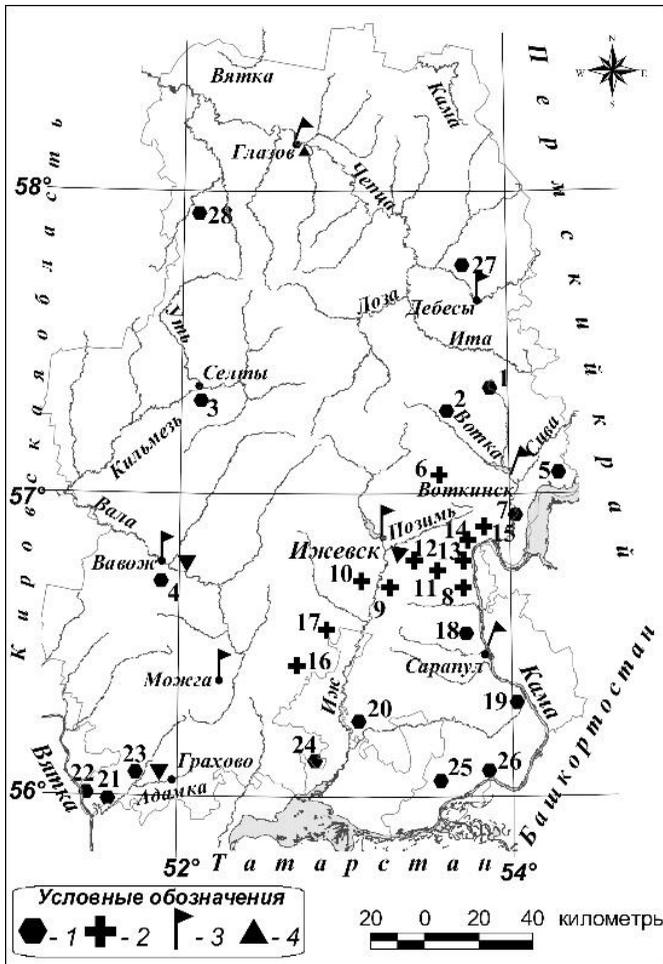


Рис. 1. Карта-схема мониторинга овражной эрозии на территории Удмуртии.
 1 – наблюдения на ключевых участках ежегодные (летом в июле),
 2 – наблюдения 2 раза в год (в мае, после весеннего половодья и в конце октября, после летне-осенних дождей), 3 – метеостанции,
 4 – гидропосты

За весь 46-летний период наблюдений на фоне общего нисходящего тренда отчетливо выделяются 4 пика с максимальными значениями, ко-

торые все относятся к первому этапу наблюдений 1978–1997 годы: 1979 г. (2,8 м/год), 1990 и 1991 гг. (1,9 и 2,3 м/год) и в 1994 г. (1,8 м/год) (рис. 2). Усиление темпов отступления вершин оврагов в эти годы было обусловлено интенсивностью половодного стока и значительной долей пашни на их водосборах [2]. После 1997 г. среднегодовые темпы отступления вершин оврагов резко уменьшились и только в 1998 и 2001 гг. превышали значение 0,5 м/год, достигнув минимума в 2008 г. (0,05 м). При этом более активным ростом характеризуются вторичные овраги [3].

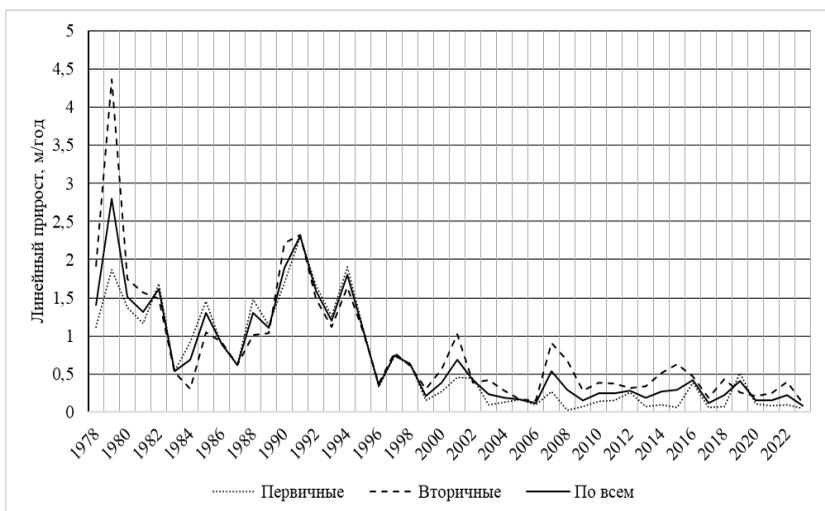


Рис. 2. Динамика среднегодовых скоростей прироста первичных, вторичных и всех типов оврагов на территории Удмуртии за 1978–2023 гг.

Анализ данных мониторинга показывает, что наибольшие различия по среднемноголетним скоростям линейного роста наблюдаются среди первичных оврагов (0,59 м/год.), несколько выше эти показатели у вторичных оврагов – 0,74 м/год. Сокращение темпов прироста первичных оврагов по типам отличаются незначительно – от 5,5 до 6,5 раз, а у вторичных оврагов различия более существенные – от 2,65 раз у донных, до 5,12 раз у вершинных, при этом отмечается увеличение в 3,57 раза в развии пойменных оврагов (таблица).

Средние многолетние скорости роста различных типов
оврагов на территории Удмуртии (м/год)

Типы оврагов*	Количество	1978–1997 гг.	1998–2023 гг.	Сокращение темпов, раз	1978–2023 гг.
Первичные овраги					
ПБ	16	1,04	0,19	5,47	0,57
ПВ	52	1,56	0,24	6,50	0,83
ПД	31	0,77	0,13	5,92	0,42
Вторичные овраги					
В	43	1,28	0,25	5,12	0,72
Д	25	1,38	0,52	2,65	0,93
П	2	1,69	6,03	+3,57 (увеличение)	3,86

*Типы оврагов: ПБ – прибалочные, ПВ – приводораздельные, ПД – придолинные, В – вершинные, Д – донные, П – пойменные

Среди первичных наиболее интенсивно развиваются приводораздельные (склоновые) овраги. Их средняя многолетняя скорость за рассматриваемый период составляет 0,83 м. Одним из рекордсменов в линейном приросте является приводораздельный овраг, развивающийся в делювиально-солифлюкционных лессовидных суглинках в 0,5 км восточнее с. Мушак Киясовского района УР (рис. 3). Его среднегодовая скорость роста за 15-летний период развития (1982–1997 гг.) составила 38,3 м/год. Длина его от устья до вершины, измеренная по тальвегу в 1997 году, была равна 574,5 м. Глубина вреза в нижней части достигает 12–15 м, ширина до 20–25 м, крутизна стенок на отдельных участках превышает 55 – 60°. Овраг вскрыл водоносный горизонт и на его дне образовался постоянный водоток.

Овраг возник весной 1982 г. вследствие строительства дороги с земляной насыпью высотой около 2 м, поскольку водопропуски не были предусмотрены проектом, то весной земляная дамба образовала водосборный бассейн, площадью около 110 га. Если в 1982 и 1983 гг. запасы накопленных на водосборе талых вод были незначительные, то ниже прорыва дамбы возник овраг длиной 36,8 м, на следующий год он вырос еще на 20,8 м. Аномальные приросты оврага были отмечены в 1984 (63,2 м) и в 1985 гг. (80,3 м), когда максимальные расходы половодья на большинстве рек УР превышали средние многолетние значения в 10–12 раз [1]. В 2001 году указанную дорогу реконструировали и в месте прорыва

дамбы был сооружен бетонный водопропуск с водонакопителем, в результате чего активная стадия развития оврага завершилась, и он начал постепенно зарастать.



Рис. 3. Приводораздельный овраг в стадии зарастания у с. Мушак Киясовского района УР, врезанный в делювиально-солифлюкционные лессовидные суглинки

Средние многолетние скорости прибалочных (0,57 м) и придолинных (0,42 м) оврагов намного меньше (см. таблицу). Существенно ниже у данных типов и максимальные скорости: у придолинных, соответственно 18,8 м (2002 г.), а у прибалочных – 5,1 м (1999 г.). Вторичные овраги развиваются более активно, чем первичные, что обусловлено значительной водосборной площадью и легко размываемыми отложениями в днищах древних эрозионных форм. Если средние многолетние скорости у донных оврагов выше, чем у вершинных и пойменных, то по максимальным скоростям наиболее высокие показатели у вершинного оврага (84,58 м) были зарегистрированы в 1979 г. на участке у с. Варзи-Ятчи Алнашского района (рис. 4). Для донных оврагов максимум (13,8 м) был отмечен в 2001 г. у д. Курегово Малопургинского района. Для пойменного оврага максимальная величина годового прироста зафиксирована в 1991 г. и составила 2,64 м. Следует учесть, что с 2007 года мы ведем наблюдения над новым пойменным оврагом, возникшим на высокой левобережной пойме р. Варзинка (пр. приток р. Иж) у д. Юмьяшур Алнашского района (рис. 5).



Рис. 4. О растущий вершинный овраг у с. Варзи-Ягчи Алнашского района УР



Рис. 5. Овраг на пойме р. Варзинка, возникший в результате прорыва двух земляных дамб прудов, расположенных в балке (2008 г.)

Овраг развивается вследствие частых прорывов двух земляных дамб в устье и в средней части балки, созданных для накопления талых вод для водопоя скота летом. Так, в первый год прорыва земляных запруд в 2007 году он вырос на 53 м. Второй максимум прироста был зарегистрирован на следующий 2008 г. (38 м), что было связано с повторным прорывом дамб [4].

Аномальный размыв был зафиксирован также весной 2011 г. в овраге у с. Тарасово Сарапульского района УР, когда неглубокая ложинообразная балка была превращена в активный овраг длиной 204 м, возникший за счет залпового сброса талых, буровых вод и нефти (рис. 6). Глубина оврага в средней части порядка 2–2,5 м, ширина его в устьевой части изменялась в пределах от 5–6 до 10–12 м, а глубина достигала 3-4 м [5].

Вершина оврага заканчивалась у бетонного водопропуска, сооруженного на асфальтированном шоссе. Насыпь автодороги высотой около 2 м создает искусственный водосбор площадью около 100 га. В пределах водосбора находились добывающие нефть скважины и буровые установки, окруженные в основном пахотными угодьями. Возможно, что утечка нефти произошла вследствие порыва нефтепроводов, вскрытых оврагом или вследствие аварийного разлива нефти и нефтепромысловых вод на одном из кустов скважин. Следы нефти отчетливо сохранялись в днище и на стенках оврага вплоть до лета 2012 года, а в июле 2013 года следов нефти в овраге обнаружено не было. В настоящее время развитие оврага продолжается за счет размывания ежегодно насыпаемых грунтов при его вершине, а склоны его в средней и нижней части постепенно зарастают.

В условиях аномального весеннего половодья и интенсивных ливней катастрофические потоки в оврагах способны разрушать и перемещать бетонные сооружения, что нами было зафиксировано летом 2001 года в одном из оврагов близ с. Соколовка Сарапульского района УР, развивающегося на крутом правом склоне долины р. Камы (рис. 6).

Весьма мощные потоки могут возникать в оврагах и во время выпадения аномально интенсивных ливней. Подтверждением тому может послужить ливень 19 июня 2012 г., когда за 12 часов по данным Удуртского центра по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды в г. Ижевске выпало 75 мм осадков. В результате в отдельных районах города образовались овраги протяженностью около 20 м и глубиной до 1,5 м, а на некоторых асфальтированных улицах появились даже промоины [5].



Рис. 6. Последствия катастрофического роста придорожного оврага ниже водопропуска весной 2011 г. у с. Тарасово Сарапульского района УР



Рис. 7. Вершина активного оврага с разрушенными бетонными лотками на правом крутом склоне долины р. Кама у с. Соколовка Сарапульского района УР

Литолого-геоморфологическое строение территории, глубины местных базисов эрозии, морфометрические характеристики склонов и их экспозиция, а также величины водосборной площади, ширина и глубина оврага при вершине являются одними из наиболее важных условий, влияющих на процессы овражной эрозии. Данные анализа роли последних в развитии оврагов за временной интервал 1998–2020 гг. рассмотрены нами в работе [6].

Наряду с оврагами, катастрофические потоки с высокой разрушительной способностью могут возникнуть и на малых водотоках во время экстремальных половодий или ливневых паводков в результате чего происходит интенсивный размыв берегов и русла. В этих условиях дополнительным поставщиком твердого материала с водосбора малой реки выступают овражно-балочные системы с наличием земляных запруд.

С целью исследования особенностей развития горизонтальных русловых деформаций на территории УР по крупномасштабным топографическим картам нами было выделено 55 ключевых участков, охватывающих реки разной величины. Полевые работы на изучаемых реках проводятся ежегодно (с 1999 г.) в летний период, а на отдельных участках (около г. Ижевска), еще дополнительно весной и осенью. Для определения скоростей размыва на всех ключевых участках было заложено около 300 реперов и марок, а в пределах 30 из них проводится тахеометрическая съемка размываемого берега [7, 8].

Анализ полученных за 24 года полевых данных свидетельствует о большом диапазоне скоростей бокового размыва рек. По данным полевых экспедиционных наблюдений наибольшие скорости размыва характерны для рек с порядком выше 9-го по А. Е. Шайдегеру [9]. Максимальные значения размыва, наблюдаемые на таких реках, достигают 6–8 м и более, среднегодовые скорости размыва колеблются в интервале 0,8–3,1 м/г. На р. Вятка, имеющей 15-й порядок, среднегодовые скорости размыва превышают 3–5 м/г, а максимальные из зафиксированных значений составляют 12–15 м/г. Достаточно активно проявляются горизонтальные русловые деформации на р. Чепца у д. Яр (порядок 12,3): среднегодовые скорости размыва здесь составляют обычно 1–3 м/г, а максимальные – 7,1 м были отмечены в 2005 г. [10].

Для малых рек (6–9 порядок) средние скорости отступления берега составляют 0,3–0,5 м/г. Но на отдельных участках размывы намного выше: на р. Кырыкмас (д. Тавзямал) в 2012 г. максимальный размыв составил 5,05 м, в 2017 г., соответственно – 5,35 м. На р. Пызеп (д. Бани) в 2012 г. максимальный размыв на одном из участков составил 4,8 м, а в 2019 г. данный показатель достиг рекордных для данной группы – 5,5 м.

О величине объемов размытого материала на малых реках, где осуществляется тахеометрическая съемка, могут послужить данные по р. Кырыкмас (лев. приток р. Иж), где наблюдения проводятся с 2003 г. у д. Тавзямал Киясовского района УР (рис. 8).



Рис. 8 Верхняя часть размываемого участка на р. Кырыкмас у д. Тавзямал Киясовского района УР (фото с квадрокоптера 2019 г.)

Длина реки 107,8 км, меженный расход 95% обеспеченности в устье составляет 0,734 м³/с. Ключевой участок расположен около 10 км выше устья реки. Максимальная длина съёмки береговой линии в 2003 г. составила 351 м, средняя высота размываемого берегового уступа, соответственно 6,8 м. Наибольшие величины объемов размыва были отмечены во время высоких половодий в 2010 (2367 м³), в 2012 (2136 м³) и в 2021 гг. (4058 м³). Вместе с размывом суглинистым материалом в водном потоке переносился и древесный материал в виде карчи. Площади размывов в указанные годы изменяются от 300 – 500 м² и более. Максимальные линейные размывы (ширина) варьируют в пределах 4,7–8,1 м.

Для очень малых рек (порядок ниже 6-го) значения средних скоростей размыва составляет – 0,1–0,3 м/год, хотя в отдельных точках зарегистрировано смещение берега на 1 м и более. Так, на участке реки Шаркан у д. Титово (порядок 5,6) средний максимальный размыв в 2000 и в 2003 гг. превысил 2 м. На реке Адамка у с. Грахово (порядок 3,8) средний максимальный размыв в 2011 г. составил 4,2 м, а на р. Агрызка у д. Баграш-Бигра (порядок 4,5) максимальный размыв в 2003 г. составил 8,1 м, что было вызвано прорывом земляной дамбы выше расположенного пруда.

Анализ среднегодовых и максимальных размывов (без учета данных тахеометрической съёмки) за 24-летний период показал, что в последние годы отмечается тенденция уменьшения величин размыва. При этом данная тенденция в меньшей степени проявляется для группы малых рек с порядком 6,1–9,0.

Результаты тахеометрической съёмки показывают обратную картину: величины размывов (линейных, площадных и объемных), наоборот, имеют положительный тренд [8]. При этом наибольшие размывы для многих рек зарегистрированы в 2012, 2013, 2016 и 2021 гг., когда на них отмечались и наиболее высокие половодья. При этом на р. Кырыкмас (порядок 8,4) в 2021 г. зафиксирована рекордная за весь период наблюдений величина размыва – 8,14 м.

Литература

1. Рысин И.И. Овражная эрозия в Удмуртии. Ижевск: Изд-во Удмурт. ун-та, 1998. 274 с.
2. Рысин И.И., Григорьев И.И., Зайцева М.Ю., Голосов В.Н. Линейный прирост оврагов Вятско-Камского междуречья на рубеже XX и XXI столетий. Вестник Моск. ун-та, Сер. 5. География, 2017, № 1. С. 63 – 72.
3. Golosov V., Yermolaev, O. Rysin I., Vanmaercke M., Medvedeva R., Zaytseva M. Mapping and spatial-temporal assessment of gully density in the

Middle Volga region, Russia // *Earth Surface Processes and Landforms*. 2018. V. 43, N 13, P. 2818–2834. DOI: 10.1002/esp.4435.

4. Григорьев И.И., Рысин И.И. Многолетняя динамика линейного, площадного и объемного прироста оврагов на территории Удмуртии // *Геоморфология*, 2022, том 53, № 4, С. 56–74.

5. Григорьев И.И., Рысин И.И. Техногенные овраги на территории Удмуртии. Казань: Изд-во Удмурт. ун-та, Изд-во АН РТ, 2017. – 190 с.

6. Рысин И.И., Зайцева М.И., Сунцов Д.А. Влияние ширины и глубины вершинного уступа оврагов на скорость их роста на территории Удмуртской Республики // *Вестник Удмуртского университета. Сер. Биология. Науки о Земле.* - 2021. - Т. 31, вып. 1. С. 76–87.

7. Рысин И.И., Петухова Л.Н. Русловые процессы на реках Удмуртии. Ижевск: Ассоциация «Научная книга», 2006. 176 с.

8. Рысин И.И., Григорьев И.И., Петухова Л.Н., Андреев О.Н. Результаты многолетних исследований русловых размывов на реках Удмуртии // *Эрозионные и русловые процессы: сб. тр. / под ред. Р.С. Чалова.* М.: Географ. фак-т МГУ имени М.В. Ломоносова, 2020. Вып. 7. С. 269–280.

9. Шайдеггер А.Е. Теоретическая геоморфология. М.: Прогресс, 1964. 450 с.

10. Рысин И.И., Григорьев И.И., Петухова Л.Н., Перевощиков А.А. Многолетняя динамика скоростей горизонтальных русловых размывов на реках Удмуртии // *Геоморфология и палеогеография*, 2024. №1. С. 24–37.

И.В. Никонорова, В.Н. Ильин, А.А. Ильина, А.А. Никитин
Чувашский государственный университет имени И.Н. Ульянова

ИССЛЕДОВАНИЕ ЭКОЛОГИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ РОДНИКОВ ЧУВАШСКОЙ РЕСПУБЛИКИ И ПУТИ ИХ ОПТИМИЗАЦИИ³

Родники являются верхними звеньями формирования речной сети и уникальными природно-историческими объектами, входящими в природный комплекс Чувашской Республики. От их состояния зависят все реки Чувашии, в том числе питьевое водоснабжение г. Чебоксары. Родники чутко реагируют на климатические изменения и теряют водность

³ Исследование выполнено при финансовой поддержке Российского научного фонда (проект № 24–27–20133) (<https://rscf.ru/project/24-27-20133>) и Чувашской Республики.

при нарушении водного баланса, но наиболее уязвимы к антропогенному воздействию. В связи с активной градостроительной и хозяйственной деятельностью количество родников сокращается. К сожалению, многие родники не только не ухожены, не обустроены подходы к ним, отсутствует каптаж, прилегающие территории часто захламлены, что заранее исключает гарантированное соответствие качества воды в родниках требованиям санитарно-эпидемиологической безопасности и может иметь серьезные экологические последствия. В то же время внимание к родникам возрастает в связи с использованием их в качестве альтернативного источника водоснабжения, особенно в юго-восточных муниципалитетах Чувашии. Активизировался интерес к родникам и в связи с развитием экологического и паломнического туризма. Выделенные выше факторы приводят к ухудшению экологического состояния качества воды в родниках и прилегающей к родникам территории. В свою очередь, снижение качества воды в родниках может привести к ухудшению качества всех поверхностных вод. Это повлияет и на питьевое водоснабжение г. Чебоксары, на хозяйственное использование поверхностных вод в сельском хозяйстве Чувашской Республики.

Цель исследования – анализ экологического состояния родников и прилегающей территории для оптимизации их использования в народном хозяйстве. Для выполнения поставленной цели были выделены следующие задачи: 1) сбор фактических данных по родникам; 2) анализ современного состояния родников Чувашии; 3) разработка комплексной программы по восстановлению родников.

Большая часть родников Чувашской Республики приурочена к выходам подземных вод Волго-Сурского артезианского бассейна пластовых напорных вод. Левобережье р. Волги расположено в восточной части Ветлужского артезианского бассейна пластовых и блоково-пластовых напорных вод. Основными эксплуатационными гидрогеологическими подразделениями являются:

- 1) водоносный средне-четвертично-современный аллювиальный горизонт (aQII -IV);
- 2) водоносный нижнечетвертично-современный аллювиальный, аллювиально-флювиогляциальный горизонт (aQQI-IV);
- 3) водоносный волжско-валанжинский терригенный горизонт (J3v - K1v);
- 4) водоупорный, локально слабодоносный батско-келловейский терригенный комплекс (J2bt-k);
- 5) водоносная верхнетатарская карбонатно-терригенная свита (P2t2);

6) водоносная нижнетатарская карбонатно-терригенная свита (P2t1);

7) водоносная верхнеказанская карбонатная серия (P2kz2) [2].

Общее количество родников региона не подсчитано. Учету подлежат источники, имеющие естественный или антропогенный (окультуренный) «централизованный» выход на дневную поверхность. Дальнейшее благоустройство и хозяйственное использование родников предполагает установку труб, каптажных систем, ландшафтное и иное благоустройство. В зависимости от типа хозяйственного использования родники можно подразделить на следующие типы по целевому назначению:

1) родники для хозяйственно-питьевого водоснабжения; 2) экологический; 3) научно-просветительский; 4) историко-культурный; 5) рекреационный.

Многообразию родников Чувашии привело к тому, что на территории региона представлены все типы родников. Во многих сельских населенных пунктах имеются благоустроенные родники, используемые в качестве основного или альтернативного источника водоснабжения (при отсутствии централизованного). Общее количество родников хозяйственно-питьевого водоснабжения составляет не менее 1700. Результаты анкетирования населения и экспедиционные выезды показали, что современное состояние каптажных систем далеки от оптимального (рис. 1).



Рис. 1. Родник д. Сарнхорн Чебоксарского МО

Появление в сельских населенных пунктах централизованного водоснабжения привело к тому, что элементы благоустройства родников «мо-

рально» и физически состарились. У большинства исследованных родников отсутствует охранный зона, ограниченная забором. Наблюдается износ каптажных элементов. Именно поэтому региональные программы по восстановлению и оздоровлению родников должны реализовываться в первую очередь для родников сельской местности, используемых в хозяйственно-питьевом водоснабжении.

Лучше дело обстоит у группы родников Чувашской Республики, относящихся к «святым источникам». По разным данным их насчитывается около 100 единиц, равномерно распределенных по муниципальным образованиям региона. Наличие особого историко-культурного и духовного статуса способствует проведению своевременных работ по реконструкции каптажных систем и благоустройства прилегающей территории. Отрицательной стороной является чрезмерная, неконтролируемая антропогенная нагрузка вследствие проведения религиозных обрядов и посещения источников туристическими группами. Чрезмерная антропогенная нагрузка приводит к загрязнению бытовыми отходами родников и деградации ландшафтов прилегающей к родникам территории. Оздоровительные меры должны быть направлены на контроль посещаемости данных территорий (рис. 2).

Наилучшим состоянием характеризуются родники, включенные в систему природоохранных территорий региона. Это родники, относящиеся к особо охраняемым природным территориям – памятным природным местам. В Чувашской Республике выделяются 19 родников – ООПТ местного значения. Территориально они приурочены к Цивильскому, Яльчикскому, Комсомольскому, Канашскому и Моргаушскому муниципальным округам. Особый природоохранный статус запрещает любые виды деятельности на территории, влекущие за собой нарушение сохранности и загрязнение родника. В охранный зоне подобных родников проводятся необходимые санитарные мероприятия, благоустройство территории, научные исследования. Именно поэтому их можно считать «эталонными» при описании экологического состояния, степени хозяйственной освоенности и рекреационной значимости. Для родников, являющихся ООПТ местного значения, были вычислены показатели рекреационной значимости по методике Новых Л.Л. и др. [1].

Рекреационная значимость родников определяется по сумме баллов, полученных при оценке каждого из показателей: 0–2 балла – очень низкий (неудовлетворительный); 2,5–4 балла – низкий; 4,5–6 баллов – средний; 6,5–8 баллов – высокий; 8,5–10 баллов – очень высокий [1].

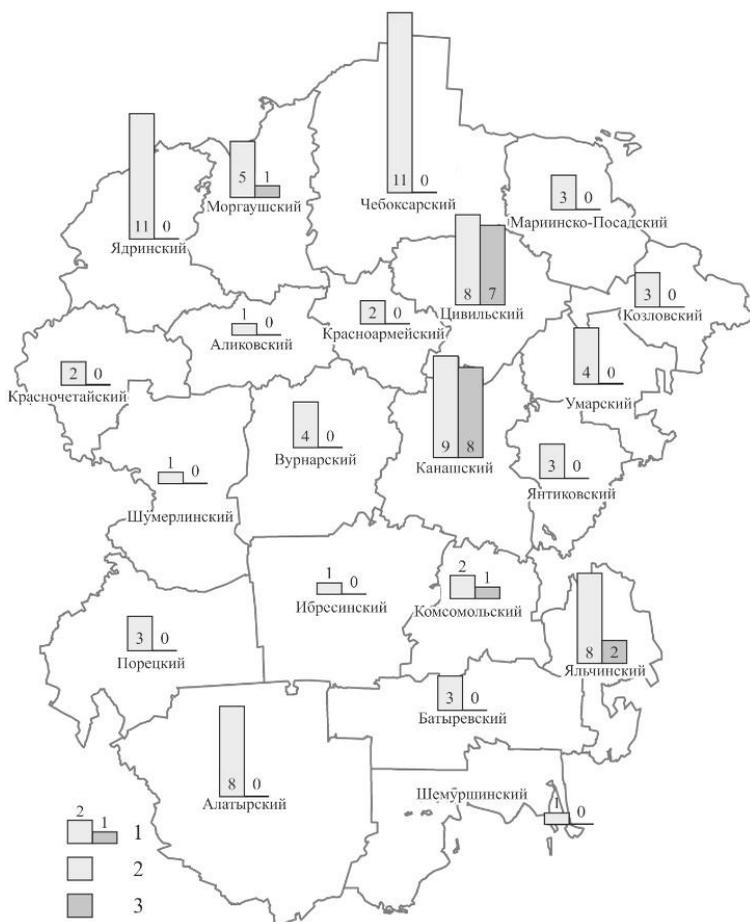


Рис. 2. Распределение родников особого статуса в Чувашской Республике: 1 – количество источников; 2 – «Святые источники»; 3 – ООП

Таким образом, среди представленных родников отсутствуют водотоки с неудовлетворительным и низким уровнями рекреационной значимости. 7 родников (36%) относится к группе со средней рекреационной значимостью, 3 родника (16%) – с высокой значимостью, 9 родников (48%) – с очень высокой значимостью. Выделенные выше показатели свидетельствуют о высокой ценности родников как в хозяйственно-питьевом использовании, так и в рекреационном плане (таблица).

Рекреационная значимость родников – ООПТ Чувашии

Нахождение, наименование родников	Архитектура, композиция	Эстетика	Купальня	Качество воды	Пейзажная ценность	Дебит	Доступ к роднику	Оборудование мест отдыха	Обеспечение санитар. требований	Наличие мусора	ИТОГО
У д. Аниш-Ахпердино	1	0,5	1	1	0,5	1	1	0,5	1	0,5	8
У д. Атнашево	0,5	0,5	0	1	0,5	1	0,5	0,5	1	0,5	6
У д. Высоковка	0,5	0,5	1	1	0,5	1	0,5	0	1	1	7
У д. Каликово	1	1	1	1	1	1	0,5	1	1	1	9,5
У д. Сеспель	0,5	0,5	0	1	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	5
У д. Старые Шальтъямы	0,5	0,5	0	1	0,5	0,5	0,5	0,5	1	0,5	5,5
У д. Хучель	1	0,5	1	1	0,5	1	0,5	0	1	1	7,5
У с. Шихазаны	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	10
Асаново	1	1	1	1	1	1	1	0,5	0,5	1	9
д. Сятракасы	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	10
Чурашка	1	1	1	1	1	1	0,5	1	1	1	9,5
Анатри ҫал	0	0,5	0	1	0,5	0,5	0,5	0	0,5	1	4,5
д. Булдеево	1	1	1	1	1	1	0,5	0,5	1	1	9
д. Шордауши	0,5	0,5	0	0	0,5	1	0,5	0	1	1	5
д. Кильдошево	0,5	0,5	0	1	0,5	1	1	0	0,5	1	6
с. Большая Таяба	0,5	0,5	0	1	0,5	0,5	0,5	0	0,5	1	5
д. Тюнзыры	1	1	1	1	1	1	0,5	0,5	1	1	9
Павар	1	1	1	1	1	1	0,5	0,5	1	0,5	8,5
Чашлама	1	1	1	1	1	1	0,5	1	1	1	9,5

В целях улучшения экологического состояния авторами статьи проводится инвентаризация родников Чувашской Республики. Необходимость инвентаризации вызвана отсутствием достоверных сведений о количестве благоустроенных родников, местоположении и современном состоянии каптажных систем. Сочетание экспедиционных исследований родников и данных анкетирования местного населения позволит получить комплексное описание физических и гидродинамических свойств родниковой воды (температура, дебит, цвет, прозрачность, запах, вкус) и экологического состояния прилегающей к родникам территории, благоустроенности родников (рельеф, геология, тип ландшафта, абсолютные отметки, хозяйственная освоенность, экологическое состояние, уровень благоустройства). Анализ собранного материала представит возможность классифицировать родники по следующим показателям: географическое положение, гидрогеологические условия, химизм вод, наличие объектов благоустройства, степень пригодности для питьевого водоснабжения по СанПиНу, наличия источников экологической угрозы, возможностей хозяйственного использования.

Итогом проведенной работы станет электронный «Реестр родников Чувашской Республики», включающий графическую и текстовую части. Графическая часть – это «Интерактивная карта родников Чувашии», текстовая – оперативно пополняемый «Реестр родников Чувашской Республики», представленный в виде таблицы с данными.

Создание сводного реестра позволит:

- 1) разработать прикладные программы восстановления родников и включения их природного потенциала в экономику Чувашии;
- 2) выявить степень влияния подземных вод различного экологического состояния на качество воды иных водных объектов Чувашии.

Литература

1. Новых Л.Л., Гайденок Е.М., Орехова Г.А. Рекреационный потенциал родников Красненского района Белгородской области // Успехи современного естествознания. 2023. Вып 11. С. 95–99.
2. Яковлев Е.Ю. Проблемы охраны и использования водных ресурсов в условиях глобального потепления (на примере Чувашской Республики) // Интеллектуальный потенциал XXI века: ступени познания: сб. XV Молодежной Междунар. науч.-практ. конф. Новосибирск: СИБПРИНТ, 2013. С. 34–37.

А.И. Петелько

*Новосильская зональная агролесомелиоративная опытная
станция – филиал ФНЦ агроэкологии РАН*

ПРОТИВОЭРОЗИОННАЯ ОРГАНИЗАЦИЯ ТЕРРИТОРИИ ДЛЯ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ В ЛЕСОСТЕПНОЙ ЗОНЕ⁴

Эрозия почв – сложный процесс, который протекает в результате взаимодействия природных и антропогенных факторов. Поэтому меры борьбы с ней должны быть комплексными. Для борьбы с водной эрозией почв в 20-х годах прошлого столетия идею комплексного подхода с охватом целых водосборов выдвинул известный ученый (инженер-гидролог, почвовед и лесовод), директор первой на земном шаре Новосильской эрозионной опытной станции Алексей Семенович Козменко. На Новосильской зональной агролесомелиоративной опытной станции им. А.С. Козменко впервые был разработан и осуществлен почвозащитный комплекс.

Основой всех проектов внутрихозяйственного устройства сельскохозяйственных предприятий независимо от форм собственности является противоэрозионная организация территории. Она должна отвечать решению вопросов эффективного регулирования поверхностного стока, прекращения или резкого сокращения эрозионных процессов и в то же время – рациональному использованию земель и повышению их продуктивности. Противоэрозионная организация территории предусматривает выделение севооборотных массивов полевого и почвозащитного севооборотов, участков для постоянного залужения с учетом крутизны склона, эродированности почв, интенсивности современных процессов эрозии, выбор и разработку схем севооборотов, определение размеров полей и размещение их на территории, правильное размещение лесных полос и других линейных рубежей (гидротехнических сооружений, дорожной сети), выбор приемов и технологий обработки почвы и способов улучшения суходольных лугов. При этом полевые севообороты размещаются на неэродированных и слабоэродированных почвах, почвозащитные – на средне- и сильноэродированных. Поля со сложным рельефом, неодно-

⁴ Работа выполнена в рамках госзадания ФНЦ агроэкологии РАН, по вопросу № FNFE-2022–0012 «Теоретические основы эрозионно-гидрологического процесса на водосборных бассейнах, концептуальные направления, пути и принципы создания высокоэффективных экологических систем управления этим процессом с целью полного предотвращения эрозии почв».

родным почвенным покровом разбиваются на рабочие участки, которые должны быть примерно однородными по рельефу, почвенному покрову и характеру проявления эрозии. Основные полевые дороги должны прокладываться по водоразделам балок, вспомогательные – приурочиваться к длинным сторонам полей.

В основе противоэрозионной организации территории лежит классификация земель по их хозяйственному использованию и сложившимся почвенно-экологическим условиям. В приводораздельной части с ровными участками и пологими склонами крутизной до 3° (приводораздельный фонд) почвы несмытые и слабосмытые, проймы водной эрозии протекают слабо. Однако эта территория является ареной формирования стока, который, поступая на нижерасположенные участки склонов, приводит к смыву почвы, разрушению почвогрунтов и выносу биогенных веществ в водные источники. Поэтому здесь противоэрозионные приемы должны быть направлены на задержание воды на месте или ее безопасный сброс. Используются полевые севообороты для выращивания зерновых, пропашных и технических культур.

В присетевой части склона крутизной более 3° (до $7-8^\circ$) формируетсся пояс средне- и сильносмытых почв (присетевой фонд). Здесь процессы смыва (иногда и размыва) протекают как за счет собственного стока, так и за счет подтока с вышележащей территории. Противоэрозионные приемы должны быть направлены на защиту почвы от смыва, восстановление и повышение ее плодородия. Участки используются в почвозащитном севообороте под защитой лесных насаждений, под постоянным залужением или под лесными насаждениями (в случае сильной изрезанности размывами).

Гидрографическая сеть включает в себя берега и днища лощин и суходолов и характеризуется большим разнообразием почвенно-грунтовых условий. Используется под сенокосы, пастбища и лесные насаждения.

На склоновых территориях принципиально новой является почвозащитная система земледелия с контурно-мелиоративной организацией территории.

Контурно-мелиоративная организация территории на ландшафтной основе позволяет решать сразу несколько задач:

- предотвратить эрозию почв и обеспечить регулирование стока воды;
- учесть особенности каждого земельного участка и «вписать» его в структуру ландшафта, что является важным элементом адаптивного земледелия;
- упорядочить систему лесополос, дорог, сформировать экологически однородные участки и другие элементы территории.

- контурно-мелиоративная организация территории на ландшафтной основе предусматривает:
 - оптимальное соотношение различных угодий;
 - компактность территории хозяйств без недостатков в границах землепользований и землевладений;
 - отход от прямолинейной организации территории;
 - возделывание земель в соответствии с технологическими группами в зависимости от крутизны склонов;
 - совершенствование структуры посевных площадей в зависимости от степени смытости почвы;
 - внедрение почвозащитных интенсивных технологий возделывания сельскохозяйственных культур с противоэрозионными обработками почвы;
 - регулирование поверхностного стока в сложившихся агроландшафтах за счет создания гидротехнических сооружений, противоэрозионных лесных насаждений, засыпки и выполаживания оврагов, промоин, проведение агротехнических почвозащитных мероприятий.



Система защитных лесных насаждений
в ОПХ Новосильской ЗАГЛЮС им. А. С. Козменко

Правильная противоэрозионная организация территории в хозяйствах способствует надежной защите почв от водной эрозии и повышению урожайности сельскохозяйственных культур.

НАУЧНЫЕ СООБЩЕНИЯ

А.Н. Автономов, А.В. Дмитриев, А.А. Миронов, Ф.А. Карягин
Чувашикий государственный университет имени И.Н. Ульянова

РАЗРАБОТКА И ВНЕДРЕНИЕ СИСТЕМ БИОГЕОХИМИЧЕСКИХ БАРЬЕРОВ ДЛЯ СНИЖЕНИЯ ДИФFUЗНОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ С ВОДОСБОРНЫХ ТЕРРИТОРИЙ

В ближайшее время остро встанет вопрос обеспечения населения питьевой водой. Ухудшения качества воды в водохранилищах каскада гидроэлектростанций, в том числе и Чебоксарского водохранилища, связано с поступлением посредством диффузного стока загрязняющих веществ по малым рекам в водохранилище Чебоксарской ГЭС. Если в условиях городских территорий стоки подвергаются очистке на очистных сооружениях канализации, вопросами регулирования и предотвращения диффузного стока почти не занимаются.

Существует несколько факторов, способствующих цветению воды в Волге. Один из них – это избыточное содержание питательных веществ в воде. Интенсивное земледелие и использование удобрений приводит к попаданию нитратов и фосфатов в реку, что создает идеальные условия для размножения водорослей. Также важную роль играет температура воды и ее прозрачность – более теплая и мутная вода способствуют размножению и росту водорослей.

Современные сельскохозяйственные технологии также оказывают значительное влияние на химическое загрязнение почв. Причина – химическая обработка сельскохозяйственных культур, применение средств защиты растений – пестициды и токсичные компоненты, содержащиеся в удобрениях и средствах для роста растений. Загрязнение меняет состав и состояние почвы химически, физически и биологически. Это приводит к снижению плодородия почвы, что, в свою очередь, снижает урожайность. В результате поступление биогенных веществ в водные объекты с диффузным стоком с сельскохозяйственных и урбанизированных территорий достигает 50% и даже 70% от их общей массы. Особенно велика опасность диффузных загрязнений в период интенсивного поверхностного смыва – половодья и дождевых паводков.

Предлагаемые системы создания биохимических барьеров предусматривают достижение одной из приоритетной национальной Цели устойчивого развития (ЦУР) – «Обеспечение экологической безопасности и рационального природопользования, сохранение благоприятной окружающей среды». Разработанные мероприятия способствуют

уменьшению загрязнения, ликвидации сброса диффузного стока и сведению к минимуму сбросы опасных химических веществ в водные объекты, повышению плодородия почв.

Основные мероприятия по снижению диффузного стока должны разрабатываться в комплексе задач, которые включают:

1. Повышение степени полезного использования лесных ресурсов путем создания противоэрозионных насаждений на склонах оврагов и балок на землях государственного лесного фонда.

2. Повышение лесистости республики путем формирования биоэкологического каркаса.

3. Реабилитация (удаление загрязненных земель) и ремедиация (очистка и восстановление) земель, в том числе загрязненных, эродированных, захламленных.

4. Снижение загрязняющих веществ диффузного стока с сельскохозяйственных и урбанизированных земель путем создания биогеохимических барьеров.

Биогеохимические барьеры обеспечивают естественную самоочищаемость почв, так как в них происходит не только накопление, но и связывание до недоступных для биоты форм загрязняющих веществ.

Д.Н. Айбулатов, И.А. Жуков

*Московский государственный университет
имени М.В. Ломоносова*

АНОМАЛЬНОСТЬ СТОКА ВОДЫ МАЛЫХ РЕК БАССЕЙНА ВОЛГИ⁹

В настоящее время основные исследования качественных и количественных гидрологических характеристик стока воды и динамики его изменений ведутся на средних и больших реках. Изученность же гидрологических характеристик малых рек России крайне мала. Учитывая возрастающее ухудшение экологического состояния поверхностных водотоков, влияющее в первую очередь на внутригодовое распределение стока воды именно на малых реках, изучение процессов формирования стока, его изменчивость и внутригодовые изменения,

⁹ Выполнено по плану НИР (ГЗ) кафедры гидрологии суши МГУ имени М.В. Ломоносова.

влияния его на русловые процессы становятся важнейшей задачей гидрологии.

Изучение гидрологического режима в настоящее время выполнено для всех средних и больших рек Волжского, Окского и Камского бассейнов. Исследование аналогичных гидрологических характеристик малых рек на исследуемой территории с середины 1950-х годов, производилось только на сети гидрологических постов, и стоковых станциях. Выполненные исследования носили, в основном, точечный характер, применительно к одному локальному водосбору. Картирование качественных и количественных гидрологических характеристик не производилось.

Для исследования отобраны ряды ежедневных расходов воды для 93 гидрологических постов на малых реках. В процессе исследования выполнены расчёт и построение разностно-интегральных кривых, для определения сроков начала гидрологических изменений на исследуемой территории. Рассчитаны модули и слою стока воды для малых рек бассейна Волги. На основании комплексного анализа полученных данных, установлены закономерности и количественные характеристики изменений стока воды малых рек за многолетний период, а также для каждой фазы водного режима. Рассмотрим их более подробно в границах каждой фазы водного режима.

В результате исследований установлено, что за период 1981–2023 годы общее увеличение объёма годового стока воды исследуемой территории составило 4,8%.

В динамике весеннего стока отчётливо проявляется всё возрастающий тренд на уменьшение его объёма. Однако для бассейна Камы, Унжи и Ветлуги характерно увеличение весеннего стока. На остальной части бассейна он уменьшается.

Данные последних лет свидетельствуют о стремительном снижении максимальных расходов и распластывании волны половодья. На смену характерных для бассейна рек исследуемой территории одновершинных гидрографов приходят современные гидрографы с гребенчатой формой во время прохождения половодья. К тому же превышение весенних максимальных расходов воды над средними меженными сокращается с 10–15 до 3–5 раз.

Летне-осенний меженный сток характеризуется увеличением водности. На данной территории сток рек за последние 50 лет увеличился на 50–100%. Также увеличивается объём стока в зимнюю межень на те же 50–100%.

В результате проведённых исследований выявлена закономерность – чем южнее, тем существенней изменились генетические составляющие стока воды.

Установлено, что несмотря на аazonальность малых рек, для них возможно составление карт стоковых характеристик воды, а также выявлена схожесть динамик и закономерностей гидрологических изменений стока воды и его внутригодового распределения у малых, больших и средних рек.

Главным выводом работы является подтверждение схожести изменений слоёв и модулей стока воды, тенденциях изменений качественных и количественных гидрологических изменений для малых, средних и больших рек. В результате выполненных исследований подтверждена возможность составления для малых рек пространственных и динамических карт для качественных и количественных гидрологических характеристик.

С.Г. Барышников¹, Г.Я. Барышников²

¹Институт водных и экологических проблем СО РАН

²Алтайский государственный университет

ЭКСТРЕМАЛЬНЫЕ ГИДРОЛОГИЧЕСКИЕ ЯВЛЕНИЯ НА АЛТАЕ И МЕЖГОСУДАРСТВЕННОЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ВОДНЫХ РЕСУРСОВ: РОССИЯ-КАЗАХСТАН

На территории Алтайского региона изучались последствия катастрофических в прошлом сбросов огромных масс воды из приледниковых озёр по главным рекам – Катунь и Бий. Отбирались пробы на определение физико-механических свойств грунтов и радиоуглеродное датирование органических остатков для установления возраста отложений, широко применялось оптико-люминесцентное датирование песчаных отложений, проводилось георадарное профилирование водных, ледниковых и озерных объектов. С помощью спорово-пыльцевого и палеокарпологического анализов устанавливалось содержание пыльцы, спор и семян, по которым проводилась реконструкция климатов прошлых геологических эпох. Собранный фактический материал анализировался в лабораториях ряда НИИ и учреждений России и в Институте физики Селезского технологического университета (Польша).

В Горном Алтае найдены следы катастрофических сбросов огромных масс воды из ледниково-подпрудных озер - «гигантские знаки ряби» в долине Бии [Барышников, 1979], Башкауса, Чулышмана, Чуи, Катуня, в днище Курайской котловины [Рудой, 1984; Бутвиловский, 1993]. Присутствие этих форм рельефа послужило указанием на вероятность крупных катастроф в неоплейстоцене Алтая. Экстремальные гидрологические явления наблюдаются и в настоящее время. В 1969 и 2014 гг. произошли сильнейшие паводки на Бие и Катуня, вызванные обильными и продолжительными дождями, когда уровень воды повышался на 4–5 м. У основных рек Горного Алтая имеется второй пик подъема воды в конце мая-начале июня, связанный с интенсивным таянием в горах снега и ледников.

При недостатке пресной воды казахская сторона активно рассматривает проекты переброски российских вод без их обсуждения с Российской стороной и ее регионами. К таким проектам относятся ранее разработанный Ленгидэпом в 1961 г., ещё в рамках единого государства, проект Белокатунской ГЭС с переброской части стока р. Тихой, которая течет по территории Казахстана, пересекает границу с Россией и впадает в Катунь. В основу современного варианта заложена идея переброски ее стока (среднегодовое расхождение $15 \text{ м}^3/\text{с}$), строительство плотины высотой 133 м, создание водохранилища многолетнего регулирования ёмкостью $1,25 \text{ км}^3$ на р. Катуня в 5 км ниже устья р. Тихой. Создаваемый подпор распространится по р. Тихой и вклинивается вблизи водораздела рек Бухтармы и Белой. Сброс воды из водохранилища в р. Белую осуществляется деривационным тоннелем. В конце тоннеля на перепаде высот 580 м планируется сооружение Белокатунской ГЭС мощностью 800 мВт. Здание ГЭС будет располагаться на территории Казахстана, а подпорная плотина на территории Республики Алтай. Также предполагается строительство каскада ГЭС на Белой и Бухтарме ниже проектируемой Белокатунской ГЭС, суммарной выработкой 2,5 млрд кВт·ч/год. Реки Катунь и Обь могут при этом потерять 2 км^3 воды в год, то есть 1/10 часть среднегодового стока Катуня в 20 км^3 . При этом не учитываются экономические вопросы развития территории бассейна верхней Катуня, гидроэнергетическое освоение бассейна в целом, экологические проблемы территории, на которой планируется создание водохранилища. Многие водотоки, которые задействованы в проекте, не охвачены гидрологическими и гидрохимическими наблюдениями, а гидробиологический мониторинг в верховьях Оби отсутствует.

Другой вариант – обеспечение Казахстана обской водой за счёт срезания второго пика паводка р. Оби, который ежегодно отмечается в

конце мая – начале июня и часто приводит к наводнениям. Для этого «лишняя» вода направляется по долинам древнего стока из Алтайского края в Казахстан.

Вопрос о стоке сибирских рек во время ледниковых стадий четвертичного периода тесно связан с эволюцией долинной сети Сибири. По мнению ряда исследователей, в бассейне Оби возникал озерный приледниковый подпрудный бассейн – Мансийское озеро, избыток вод из которого сбрасывался на юго-запад, в сторону Арала-Каспийских низменностей. Во время оледенений на равнинах долинная сеть коренным образом перестраивалась и общее направление стока с северного изменялась на западное, о чем свидетельствует наличие древних долин на водоразделах равнинной территории Алтая (Барышников и др., 2016, 2017).

Из всех долин древнего стока наиболее проработанной является Барнаульская, но ее использование для переброски части стока Оби практически исключено, поскольку потребуются коренным образом изменить первичный ландшафт, что равносильно экологическому бедствию. Во-вторых, для переброски вод Оби необходим слишком большой объём стока, которого современная речная сеть даже в максимальный паводок обеспечить не может. В-третьих, высотные отметки русла Оби и верховий Барнаульской ложбины древнего стока не совпадают, и потребуются врезка канала для обеспечения самотека воды на глубину более 100 м. Другой вариант – реанимация Кулундинского канала, его удлинение и соединение с Гилёвским водохранилищем с транспортировкой воды в Казахстан. Гилёвское водохранилище образовано в 1970-е гг. на р. Алее и рассчитано на 77 лет. Причина небольшого срока эксплуатации – интенсивное его заиливание.

Экстремальные гидрологические явления на Алтае в прошлом, современные весенние паводки и геоморфологические особенности Алтайского края неблагоприятны для организации переброски части стока алтайских рек в Казахстан. Преобразование природных условий для этих целей – дорогостоящее мероприятие, которое повлечет за собой экологическое бедствие глобального масштаба.

К современным проектам относится строительство Трансказахстанского канала с четырьмя дополнительными ветками – Астанинской, Петропавловской, Костанайской и Актюбинской. В качестве донора рассматривается бассейн р. Иртыш. Кроме того, для сохранения оз. Балхаш предложен сценарий переброски части стока Иртыша по направлению р. Бухтарма – оз. Балхаш (Абишев, Медеу, 2016). Авторами предлагается вариант накопления воды для Казахстана путем

создания малых водохранилищ в горных его обрамлениях, как это сделано в Китае при орошении Великой Китайской Равнины.

Реализация части проектов скажется на водоснабжении южных районов Омской области и г. Омска, уже испытывающего дефицит водных ресурсов. Строительство Красногорского узла, начатое в 2011 г. ниже г. Омска, вряд ли решит все задачи Омского Прииртышья. Были предложения менее радикального, но более действенного вмешательства в гидрологический режим реки путем строительства подводных порогов и ограничения добычи песка, вплоть до полного запрета в засушливые годы.

Проблемы водообеспечения в трансграничных бассейнах Тобола и Иртыша решаются также путем создания новых и реконструкции действующих водохранилищ или внутрибассейновых перебросок стока. Однако остаются нерешенными вопросы регулирования водопользования с межнациональными и межрегиональными позиций.

Разработанный Модельный водный кодекс Стран Содружества (2007) остался «модельным», а каждая страна работает в рамках собственного национального законодательства, не согласованного с другими государствами. Для сохранения экологической и водохозяйственной стабильности в трансграничном бассейне Иртыша необходимо формирование трехстороннего формата взаимоотношений между странами. Институциональный механизм международного сотрудничества в современных условиях является одним из основных в регулировании водохозяйственной деятельности на трансграничных территориях.

Источники международного права являются основными при регулировании межгосударственных отношений (Красноярова и др., 2019). К ним относят международные договоры, конвенции, двух- и многосторонние соглашения. Основными международными документами, регулирующими отношения между странами в трансграничных бассейнах, являются «глобальные водные конвенции», принятые по инициативе ООН: Конвенция по охране и использованию трансграничных водотоков и международных озер, Конвенция о праве несудоходных видов использования международных водотоков. Первая из них, принятая в 1992 г., затрагивает широкий спектр проблем, но основной ее целью является обеспечение использования трансграничных вод в целях экологически обоснованного и рационального управления водными ресурсами.

А.А. Беляков¹, А.О. Мурашко²
¹*Академия водного транспорта РУТ (МИИТ)*
²*ООО МКД-Строй*

О ВОДНЫХ ПРОЕКТАХ ГЕНЕРАЛЬНОГО ПЛАНА МОСКВЫ 1935 ГОДА

Постановлением СНК СССР и ЦК ВКП(б) от 10.07.1935 № 1435 «О генеральном плане реконструкции города Москвы» уделялось особое внимание проекту обводнения города, предусматривающему устройство двух судоходных «водных колец», сооружение спрямляющих русло р. Москвы каналов, проезжих набережных, создание искусственных водоёмов (прудов и водохранилищ), и др.

Разумеется, постановление имело в виду развитие водоснабжения: «Для своевременной подготовки московского водопровода к приему волжской воды и подачи ее населению немедленно развернуть строительство Сталинской водопроводной станции на волжской воде с доведением ее мощности в 1937 году до 25 млн. ведер в сутки, а в 1938 году – до 50 млн. ведер. В последующие годы построить северную станцию на волжской воде мощностью в 50 млн ведер в сутки и Пролетарскую станцию на юго-востоке города мощностью в 25 млн. ведер в сутки. Общую мощность московского водопровода к 1945 году увеличить до 180 млн ведер воды в сутки, а к 1939 году – до 106 млн ведер».

Кроме того, документ постановлял: «...Привести в полный порядок, с планировкой и благоустройством, городские бульвары Садового и Бульварного кольца, парк Ленинских гор, Измайловский парк им. Сталина, Сокольнический парк им. Бубнова, Красно-Пресненский, Останкинский парк и парк Покровское-Стрешнево с расширением его и включением в его состав Химкинского водохранилища...

4. Для обводнения города максимально использовать волжскую воду, поступающую в результате сооружения канала Волга – Москва, для чего создать два водных кольца: одно от Клязьминского водохранилища по Восточному каналу через Измайловский парк, Текстильщики, Южный порт у Кожухово по Москва-реке к Химкинскому водохранилищу, другое –внутригородское, получаемое в результате сооружения Северного внутригородского канала, соединяющего Химкинское водохранилище с рекой Яузой, до Москва-реки.

5. Превратить набережные Москва-реки в основную магистраль города, с облицовкой берегов реки гранитом и устройством вдоль

набережных широких проездов-улиц со сквозным на всем их протяжении движением...

Построить в течение трех лет набережные вдоль берегов реки Яузы на протяжении 20 км и устроить вдоль набережных асфальтированные проезды-улицы шириною 25–30 метров...

6. Для обводнения реки Яузы и других водоемов города осуществить следующие работы:

а) построить к 1939 году в северной части города канал для соединения Химкинского водохранилища с рекой Яузой, который вместе с Яузой создаст внутригородское водное кольцо;

б) расширить русло реки Яузы до 20–25 метров;

в) очистить, привести в порядок и обводнить все имеющиеся на территории города пруды».

Кроме того, в Генплане 1935 г. были намечены спрямляющие излучины р. Москвы каналы: Серебряноборский (Хорошевский) и Карамышевский (осуществлены в связи с Каналом им. Москвы), а также Дорогомиловский и Андреевский (Лужнецкий). Их задача – спрямить судовой ход по р. Москве с тем, чтобы транзитные суда шли по сокращенной трассе и не проходили через центр города. Эти каналы не осуществлены, по их трассам ныне проходит «Третье транспортное кольцо (ТТК)». Однако если бы они были в свое время построены, то не препятствовали бы сооружению ТТК, его проезжие части могли бы проходить по набережным каналам.

Намечались также значительные водохранилища: на р. Сетуни и Сходне, а также в Лосиноостровском лесопарке – на р. Ичке, но, по видимому, с питанием из Восточного канала.

Проекты «двух водных колец», образованных Северным и Восточным каналами, явно связаны с намеченной Генпланом 1935 г. кольцевой структурой уличной сети: Центральное полукольцо, Бульварное кольцо (должно было замкнуться в Замоскворечье), Садовое кольцо, Новое Бульварное кольцо, Парковое кольцо.

«Водные кольца» не осуществлены.

Гидросистема Северного канала проходила из Химкинского водохранилища через Головинские пруды, Большой Садовый пруд ТСХА и далее каналом в Яузу. Преодолевая значительный перепад уровней, система должна была быть шлюзована – действующий Сыромятнический гидроузел на р. Яузе считался шлюзом № 4 (нумерация сверху вниз, от Химкинского вдхр.). Вместо судоходного канала ныне существует подземный водопроводный канал от Химкинского вдхр. до Головинских прудов с подземным же ответвлением к Большому Садовому пруду и

каналом в р. Лихоборку. Последняя стала по существу тоже водопроводным каналом (местами – подземным) для обводнения р. Яузы;

Восточный канал мыслился как вторая ветвь Канала им. Москвы для входа в р. Москву минуя центр города. Причины отказа от его сооружения не известны, но в Генплане 1971 г. канал с тем же названием намечался значительно восточнее. В его составе проектировались 3 значительных водохранилища: Верхнеклязьминское (площадь зеркала 275 га), Щелковское (140 га) и Люберецкое (на р. Пехорке, свыше 800 га). В комплекс задач, решаемых каналом, входило также обводнение северо-восточных и восточных районов лесопаркового пояса Москвы, орошение сельскохозяйственных земель, улучшение водоснабжения города. Все это тоже не осуществлено.

Задачами комплексного исследования могли бы стать выяснение того, что водные проекты по Генплану 1935 г. дали бы Москве и ее населению, выяснение причин отказа от осуществления этих проектов, а также выработка рекомендаций, что делать для возмещения утраченных функций не осуществленных или осуществленных лишь частично водных проектов.

Ю.И. Бик, М.А. Бучельников, В.Н. Кофеева

Сибирский государственный университет водного транспорта

ИСКУССТВЕННЫЕ НЕЙРОННЫЕ СЕТИ ДЛЯ ОБРАБОТКИ БОЛЬШИХ МАССИВОВ ИНФОРМАЦИИ ПРИ РЕШЕНИИ ГИДРОЭКОЛОГИЧЕСКИХ ЗАДАЧ

Природные и природно-техногенные системы отличаются высокой степенью сложности, многокомпонентности, многофакторности. Формирование текущей водой флювиальных форм рельефа – глобальный процесс, затрагивающий в той или иной степени поверхность всей планеты. Получение новых теоретических знаний о нем, составление прогнозов, реализация прикладного аспекта – остаются актуальными задачами.

В настоящее время все более и более широкое распространение в самых различных отраслях: информационной, инженерной, транспортной, научной – получают искусственные нейронные сети (ИНС), постепенно превращаясь в полноценный искусственный интеллект. Большинство ИНС предназначены, прежде всего, для коммерческого использования и только незначительное их число «узкоспециализированы», то есть предназначены для научного анализа.

В общем виде ИНС предназначены для классификационного анализа (разделения входных данных по каким-либо признакам), прогнозирования (определение вероятного наступления тех или иных событий), распознавания образов (лиц, графических символов, окружающей обстановки).

ИНС позволяет реализовать как известные математические алгоритмы (математические модели), так и ввести новые, включая эмпирическое описание изучаемых природных процессов.

В частности, с помощью ИНС достаточно просто реализуются изоморфные модели (идентичные уравнения, описывающие несходные физические процессы и позволяющие изучать одни системы на основании других), а также, возможно, схемотехническое имитационное моделирование загрязнений речного бассейна.

Одна из основных способностей ИНС – выявление скрытых закономерностей, тех, которые могут быть обнаружены только при обработке больших массивов разнородной информации.

В частности, на наш взгляд, для решения гидрологических и гидроэкологических задач может быть проанализирована следующая информация:

- метеорологические данные (текущие, получаемые в реальном времени или за прошедшее время, «архивные»);
- данные гидропостов;
- данные спутникового мониторинга, дешифровки спутниковых снимков;
- данные различных ГИС;
- результаты анализов проб экоаналитических лабораторий;
- русловые съемки, в том числе получаемые с помощью автоматизированных промерных комплексов;
- архивные данные (информация из гидрологических ежегодников, научных отчетов и т.д.)

Ранее нами была показана возможность создания простых ИНС типа перцептрон для распознавания русловых форм и оценки воздействия дноуглубительных работ на участки реки. На наш взгляд, ИНС вполне может быть применена для составления прогнозов переработки берегов и моделирования процессов руслопереформирования в целом.

Выбор архитектуры сети для решения той или иной задачи может быть основан на опыте предыдущих исследований. Так, например, задачу разделения объектов (видов перекаатов, русловых форм и т.д.) на классы можно решать с помощью перцептрона Розенблатта, для кластерного анализа применимы сети Кохонена). Для обработки больших массивов данных, прогнозов, как правило, применяются сети Хопфилда.

Сеть Хопфилда состоит из N искусственных нейронов, аксон каждого нейрона связан с дендритами остальных нейронов, образуя обратную связь. Сеть состоит из трех слоев: входной, так называемый «слой Хопфилда» и выходной слой. Каждый слой имеет одинаковое количество нейронов.

В отличие от многослойных сетей типа перцептрона, в которых входные и выходные нейроны пространственно разделены, в модели Хопфилда все нейроны одновременно являются и входными, и скрытыми, и выходными. Роль входа в таких сетях выполняет начальная конфигурация активностей (весовых коэффициентов) нейронов, а роль выхода – конечная стационарная конфигурация их активностей.

Сети Хопфилда хорошо поддаются машинному обучению, то есть поиску закономерностей и корреляций в численных массивах, а также принятию оптимальных решений и созданию прогнозов на основе этого анализа. В процессе обучения система взаимодействует с несколькими слоями сети, извлекая все более и более высокоуровневые выходные данные. Например, система которая обрабатывает **изображение (данные)**, русел в перекате-россыпи, на первом уровне распознает перекаточный участок. По мере перемещения по нейронным слоям она будет идентифицировать перекат, и, наконец, конкретный требуемый вид – перекаат-россыпь. Собственно, алгоритм не слишком сильно будет отличаться от алгоритмов распознавания речи, классификации любых изображений и т.д.

Планируется реализация ИНС типа сети Хопфилда на языке C++ или Python для распознавания различных простых форм в геоинформационных системах.

Д.В. Большаков, А.С. Завадский

*Московский государственный университет
имени М.В. Ломоносова*

ГИДРОЛОГО-МОРФОЛОГИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ УЧАСТКА РАЗВЕТВЛЁННОГО РУСЛА СРЕДНЕЙ И НИЖНЕЙ ЛЕНЫ В ПРЕДЕЛАХ КРУПНЫХ ДОЛИННЫХ РАСШИРЕНИЙ¹⁰

Изучение морфодинамики русел крупных рек представляет повышенный научный интерес как с точки зрения сложности анализа их русловых процессов, так и с прикладных позиций. Река Лена в насто-

¹⁰ Выполнено при финансовой поддержке РФФ (проект № 23–17–00065).

ящее время представляет собой основную транспортную магистраль Восточносибирского региона, по которой осуществляется перевозка грузов в отдалённые районы Крайнего Севера. В пределах её долинного комплекса сконцентрированы основные населенные пункты и крупные промышленные объекты Республики Саха (Якутия). Наиболее затруднительным с точки зрения судоходства является участок между г. Якутском и с. Жиганском. Здесь русло разветвляется на сложную систему многочисленных рукавов и приток, изобилует перекатами, отмелями, разветвлениями («разбой»). Активное хозяйственное освоение водных ресурсов Лены требует понимания, прогнозирования и управления русловыми процессами с целью обеспечения функционирования водного пути, гидроэкологической безопасности на приречных территориях в условиях высокой плотности жилой, водохозяйственной и промышленной инфраструктуры.

Исследуемый участок реки Лены протяжённостью 680 км (1755–1075 км по судовому ходу) характеризуются наиболее интенсивными русловыми перестроениями, значительной амплитудой колебаний уровня и расходов воды, ежегодно образующимися ледовыми заторами. На участке происходит ступенчатое изменение водности реки Лены. После впадения крупнейшего правобережного притока – реки Алдан – более чем на 1/3 увеличивается водоносность реки, что также заметно отражается на продольной изменчивости морфологических характеристик русла.

В пределах среднего течения р. Лены ширина днища долины изменяется от трёх до сорока километров, что способствует чередованию широкопойменных и ограниченных условий развития русловых деформаций, трансформации морфодинамических типов русла. Долинными расширениями называются участки широкопойменного русла, разделённые между собой «клиновидными» выступами пород дочетвертичного возраста (Табагинский и Кангаласский мыс, отроги Верхоянского хребта), сужающими днище речного долины и делающими его на коротких участках адаптированным.

В работе сделан акцент на продольную изменчивость морфологии пойменно-руслового комплекса и гидрологического режима р. Лены. При проведении гидролого-морфологического анализа используются участки, длиной 20 км. Они сопоставимы с протяжённостью крупных русловых форм на Лене и позволяют производить оценку функционирования пойменно-руслового комплекса в примерно однородных условиях. Всего было выделено 34 участка, для каждого из которых производился расчёт показателей, характеризующих динамику потока, а также морфологию русла и поймы. Для оценки размыва берегов были

подобраны и использованы космические снимки Landsat 5, 7 и Sentinel-2 за временной период 1999–2021 г.

В результате проведённых изысканий было установлено, что резкое возрастание водности (из-за слияния с Алданом и Вилюем) не находит отражения в увеличении скоростей размыва берегов. В ряде случаев тенденция носит обратный характер, что связано со сменой преобладающего морфодинамического типа русла. В результате слияния основной реки с Алданом поток утрачивает способность концентрироваться в пределах основного рукава, «разбивается» на отдельные стрежневые зоны, меньшие по своим размерам. Например, средневзвешенная скорость размыва берегов на участке «г. Якутск-устье Алдана равна 5,3 м/год, а ниже по течению 3,4 м/год.

Постепенное расширение днища долины реки Лены и нарастание водности способствует постепенной смене её преобладающего морфодинамического типа. На верхнем участке (от г. Покровска до устья реки Алдан) наибольшее распространение получает разветвлённое русло со сложной система островов. После слияния с такими крупными притоками, как Алдан и Виллой, начинается формирование наиболее сложных разветвлений, количество сопоставимых по водности рукавов и проток может достигают пяти-шести (русловая многорукавность).

Отдельным блоком работ было получение статистически обоснованных уравнений множественной регрессии, связывающих средние скорости размыва берегов, критерия квазиоднородности потока, долю расхода в половодье и уклоны реки, средние глубины на участке, площади русла, разницу долей расходов воды в межень и половодье. Для бесприточного участка р. Лены в пределах Покровского, Якутского и Приалданского долинных расширений были выявлены механизмы, определяющие взаимосвязь, сопряжённость и цикличность русловых процессов.

Результаты сопоставления разновременных материалов позволили получить количественную характеристику суммарной площади размыва берегов, которая за период 1999–2021 гг. составила 7,25 км². Наибольшие площади размыва берегов наблюдаются в параллельно-рукавных разветвлениях русла, либо в тех разветвлениях, где поток разбивается на два рукава сопоставимой водности. Площади размыва уменьшаются по мере рассредоточения стока в разные фазы водного режима. Например, площадь размываемого участка поймы с погонного метра в год также уменьшается после слияния реки с Алданом и Вилюем – с 9,7 до 6,1 м²/м·год. При концентрации стока в одном рукаве наблюдаются наибольшие скорости плановых русловых деформаций именно в тех местах, где стрежень потока подходит к береговому пой-

менному уступу. По этой причине наибольшие темпы деформаций свойственны участкам разветвлённого русла, в котором имеется основной ($Q_{отн.} > 70\%$) по водности рукав.

Таким образом, были определены основные факторы и условия, определяющие специфику русловых процессов на Лене, причем наибольшее внимание было уделено изменчивости морфологии пойменно-руслового комплекса в среднем течении Лены.

Ж.А. Буряк

*Белгородский государственный национальный
исследовательский университет*

**ДИНАМИКА РЕЖИМА ТВЕРДОГО СТОКА
МАЛЫХ РЕК И ЕЕ СВЯЗЬ
С БАССЕЙНОВОЙ СОСТАВЛЯЮЩЕЙ БАЛАНСА
НАНОСОВ (НА ПРИМЕРЕ БЕЛГОРОДСКОЙ ОБЛАСТИ)¹¹**

На примере бассейнов малых рек Белгородской области (верховье р. Ворскла площадью 1,85 тыс. км² и р. Северский Донец площадью 0,73 км²) проанализирована изменчивость склонового стока наносов и оценено ее влияние на величину расхода взвешенных наносов в замыкающих створах на гидростаях. По данным с гидрологических постов проанализированы временные ряды среднегодовых расходов воды и взвешенных наносов с 1960 по 2022 г. Для расхода наносов установлена высокая неоднородность – за рассматриваемый период он снизился в 6,5 раз.

Установлено, что в балансе наносов преобладает склоновая (бассейновая) составляющая – продукты эрозионной работы временных водных потоков на водосборе. Роль русловой составляющей в стоке взвешенных наносов рассматриваемых участков рек незначительная. Естественные процессы размыва и абразии берегов выражены слабо, а периодически проводимые инженерно-строительные изыскания и дноуглубительные работы не способны системно повлиять на зафиксированную неоднородность твердого стока.

Критическое снижение слоя талого стока, вызванные климатическими изменениями последних десятилетий, привело к снижению

¹¹ Исследование выполнено при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации в рамках Государственного задания № FZWG-2023–001.

вклада эрозии при снеготаянии в годовые почвенные потери и, как следствие, к сокращению расхода взвешенных наносов в створах. В последние 40 лет стокоформирующая роль перешла на жидкие осадки весенне-летнего периода, и склоновый твердый сток формируется главным образом за счет ливневой эрозии почв.

Количественная оценка темпов эрозии от ливневых осадков по модели WaTEM/SEDEM показала, что порядка 86% мобилизованного ливневым стоком почвенного материала аккумулируется в пределах водосбора. Несмотря на высокие темпы ливневого смыва почв с пашни (до 4,2 т/га в год), они не находят отклика в величине расхода взвешенных наносов в русле. Также рассмотрена динамика зарегулированности речного стока прудами и оценены изменения площадей перехвата твердого стока.

Таким образом, климатически обусловленное снижение талого стока с водосборов в сочетании с водохозяйственными мероприятиями по регулированию речного стока прудами нашли отклик в резком падении расхода взвешенных наносов с 80-х гг. XX в. и их дальнейшем постепенном снижении. При этом пространственная организация землепользования на водосборах компенсирует высокие значения смыва почв от ливневой эрозии с пашни.

**А.Л. Варенов¹, Д.В. Ботавин², Н.М. Михайлова²,
А.М. Тарбеева², Л.А. Турькин², А.С. Чалова²**

*¹Нижегородский государственный педагогический университет
имени Козьмы Минина*

*²Московский государственный университет
имени М.В. Ломоносова*

РАЗМЫВЫ БЕРЕГОВ НА МАЛЫХ РЕКАХ БАССЕЙНА КУДЬМЫ ЗА 2010–2023 ГОДЫ (ПО МАТЕРИАЛАМ СТАЦИОНАРНЫХ НАБЛЮДЕНИЙ)¹²

Динамика берегов малых рек – многофакторный процесс. На него влияют не только природные условия формирования русел, но и многочисленные виды хозяйственной деятельности: спрямление русел, строительство капитальных и временных плотин, русловые и пойменные карьеры, распашка водосборов и др. В 2010 г. на малых реках бассейна Кудьмы (север Приволжской возвышенности) были организова-

¹² Выполнено при финансовой поддержке РФФ (проект № 23–17–00065).

ны стационары для наблюдения за размывами берегов. На протяжении 14 лет менялись методы исследования, уточнялась методика, расширялась программа наблюдений. В настоящее время наблюдения проводятся на 15 участках. Получаемый материал носит как теоретический, так и прикладной характер. Благодаря разнообразию условий формирования исследование позволяет «закрыть белые пятна» в изучении русловых процессов на малых реках.

По результатам стационарных наблюдений за период 2010–2023 гг. средняя скорость размыва C_{cp} составляла от 0,1 до 0,3 м/год, средняя максимальная $C_{cp,max}$ – от 0,4 до 1,0 м/год, площадь размыва S_p – от 1,8 до 15,5 м²/год. Абсолютные значения скоростей размывов C_{max} достигали 2 м. На исследуемых реках горизонтальные русловые деформации проявляются преимущественно на излучинах; на прямолинейных участках – лишь при возникновении местных условий размыва вследствие отклонения водного потока в сторону того или иного берега. Чаще всего размыв не имеет сплошного распространения в пределах исследуемых участков рек из-за влияния локальных факторов и, вероятно, многолетних изменений общей водности. Распределение участков размыва меняется в год от года. Суммарная протяженность участков размыва l_p в пределах стационаров составляет от 10 до 80 м.

В целом, динамику берегов определяют водность, геолого-геоморфологические условия формирования русла и его тип (наибольшие значения размывов наблюдаются на свободных излучинах с большей степенью развитости, а также на вписанных излучинах). Локальные факторы приводят к распределению участков размыва, формированию зон максимального отступления берегов. Существенные изменения значений показателей размыва могут быть связаны с перестройкой формы русла, например, образованием вторичных излучин на крыльях более крупной.

Хозяйственная деятельность оказывает на динамику русла как прямое (строительство берегоукрепительных сооружений, спрямление русла), так и косвенное влияние (направленное врезание при спуске прудов и прорыве плотин, мелиоративных мероприятий).

Так, в среднем течении р. Кудьмы было проведено мелиоративное спрямление русла на участках общей протяженностью 75 км. Это привело к уменьшению извилистости русла, его врезанию (по данным кривых $Q=f(H)$ для г.п. Хвощевка и Новая), отмиранию излучин и формированию стариц. В начальный период существования спрямленное русло представляет собой канал с открытыми размываемыми берегами ($C_{cp} = 0,1–0,4$ м/год, $C_{max} = 0,7$ м). Затем русло стабилизируется, берега зарастают преимущественно травянистой растительностью, участки

размыва сосредоточиваются на немногочисленных пологих, реже крутых, изгибах русла и в местах слива воды с поймы по старичным понижениям во время половодья. Отсутствие древесной растительности снижает вероятность формирования локальных водоворотных зон, отсевшие блоки грунта блокируют отступление берега на несколько лет, связь показателей размыва с максимальными уровнями и расходами воды становится менее выраженной. Примером такого участка является стационар р. Кудьма – п. Буревестник-1 ($N = 7,9$, $l/L = 1,13$, $C_{cp} = 0,1$ м/год, $C_{cp\ max} = 0,4$ м/год, $l_p = 10,6$ м, $S_p = 1,8$ м²/год, $C_{max} = 0,9$ м).

Участки меандрирующего русла реки Кудьмы в естественном состоянии имеют более высокие значения показателей размыва и выраженную связь с водностью реки. Пример: стационар р. Кудьма – к.п. Зеленый город-1 ($N = 8,2$, $l/L = 1,95$, $C_{cp} = 0,15$ м/год, $C_{cp\ max} = 0,56$ м/год, $l_p = 24,6$ м, $S_p = 1,7$ м²/год, $C_{max} = 1,3$ м).

**А.Л. Варенов¹, Н.М. Михайлова², А.М. Тарбеева²,
Д.В. Ботавин², Л.А. Турыкин², А.С. Чалова²**

*¹Нижегородский государственный педагогический университет
им. Козьмы Минина*

*²Московский государственный университет
имени М.В. Ломоносова*

СТАЦИОНАРНЫЕ НАБЛЮДЕНИЯ В БАССЕЙНЕ Р. КУДЬМЫ (НИЖЕГОРОДСКОЕ ПОВОЛЖЬЕ) – ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ¹³

Для оценки влияния антропогенного изменения русел рек в результате многовекового сельскохозяйственного освоения территорий в бассейне р. Кудьмы в 2010 г. были начаты ежегодные стационарные наблюдения за деформациями русел. Всего организовано 15 стационарных участков на реках: Кудьме (7), Озерке (4), Печети (1) и Сетчуге (1), где проводятся наблюдения за динамикой берегов и дна. Эти реки различаются по водности и природно-антропогенным условиям формирования русел.

Стационары представляют собой участки реки полностью или частично охватывающие форму русла в зависимости от протяженности зоны размывов берегов. Работа на стационарах началась с организации

¹³ Выполнена при финансовой поддержке РНФ (проект 23-17-00065).

реперной сети. Для реперов использовались стальные уголки не менее 50×50 мм в сечении, длиной не менее 1 м. Расстояние между реперами зависело от характера и степени изгиба размываемого берега в плане. На берегах крутых излучин реперы установлены чаще. Положение реперов определено GNSS-приемником в режиме статики.

За время наблюдений применялись разные методы определения положения бровки от реперов: метод полигонов, съемка электронным тахеометром, съемка GNSS-приемником, по ортофотопланам и ЦММ, полученным с помощью аэрофотосъемки БПЛА. Первые наблюдения проводились методом полигонов, основанным на измерении перпендикуляров от линии между реперами до бровки берега. Этот метод отличается доступностью, но при этом имеет низкую точность, а также трудность сопоставления с другими видами съемки. Аэрофотосъемка характеризуется высокой скоростью работ, небольшими трудовыми затратами, но ее эффективность в значительной степени ограничена «открытостью» бровки от растительности. При обработке такой съемки трудозатратной является работа по удалению растительности и корректировка положения бровки одновременно в плане и в 3D-модели; обработка снимков (построение модели рельефа, карты высот и ортофотоплана) длительна по времени. Существенным преимуществом данного метода является детальность изображений, что особенно важно при оценке деформаций малых водотоков. Наиболее точными являются геодезические методы, из которых с точки зрения удобства использования и обработки является съемка GNSS-приемником. К недостаткам этих методов, по сравнению со съемкой квадрокоптером, можно отнести большую трудоемкость и временную затратность самой съемки, а также меньшую детальность и отсутствие информации об окружающих участках берега, не затронутых размывом, при отвесном уступе – отсутствие подхода к урезу и т.п. В результате сочетание аэрофотосъемки с геодезической съемкой позволяют повысить точность и детальность определения положения бровки берега, дают осведомленность об окружающем ландшафте, характере уступа, его геометрии, противоположном берегу; наличии, характере и распространенности растительности на уступе и т.п. Точки, полученные с помощью GNSS-приемника, позволяют откорректировать положение бровки берега, полученной по результатам аэрофотосъемки.

Частота геодезической съемки бровки берега определяется неровностью берегового уступа в плане. При наличии выступов, фестонов и т.п. точки положения бровки отмечаются чаще. Так как протяженность фронта размыва год от года изменяется, съемка проводится только в пределах фронта размыва на момент съемки. На участках уступа берега

за его пределами, которые покрылись растительностью и перестали изменяться, съемка не производится.

Аэрофотосъемка с помощью БПЛА производится с высоты не более 100 м, что позволяет получить снимки с разрешением несколько сантиметров. Для привязки снимков, ортофотопланов и ЦММ к системе координат и съемки GNSS-приемником на реперы устанавливаются маркеры, хорошо заметные с воздуха. При обработке все съемки (GNSS-приемником или тахеометром и аэрофотосъемка привязываются к реперам

Помимо измерения горизонтальных деформаций берегов, на участках стационарных наблюдений ежегодно проводится отбор проб донных отложений, промеры глубин по стрежню потока, измерение расходов воды и уклонов водной поверхности, а также в отдельные годы анализ состава отложений уступов размываемых берегов.

По полученным результатам обработки исходных данных (бровка размываемых берегов) определяются следующие характеристики горизонтальных деформаций: 1) протяженность фронта размыва – линия, по которой фиксируется отступление бровки берега l_p , м; 2) площадь размыва – площадь между начальным и конечным положениями бровок берегового уступа за определенный период времени S_p , м²; 3) средняя скорость размыва в год – рассчитывается как отношение площади размыва к протяженности средней линии, соединяющей начало и конец участка размыва за определенный период времени $C_{ср}$, м/год; 4) максимальная годовая скорость размыва – максимальное расстояние между начальным и конечным положениями бровок C_{max} , м/год.

За 14 лет наблюдений был собран массив данных о темпах горизонтальных деформаций, составе руслообразующих наносов и его изменении, расходах воды и изменении уклонов водной поверхности при различной водности и параметрах русла, изменении положения стрежня потока и рельефа дна. Анализ этих данных вместе со сведениями о водном режиме рек по данным ближайших гидрологических постов, об истории освоения и характере землепользования данной территории позволит выявить направленность русловых процессов на малых реках Приволжской возвышенности и установить основные факторы, влияющие на динамику русел.

**А.Ю. Воробьев¹, А.С. Кадыров¹, А.А. Балобина², Е.В. Бургов^{3,4},
Д.С. Локтеев⁵**

¹Рязанский государственный университет имени С.А. Есенина

²Российский университет дружбы народов имени Патриса Лумумбы

³Национальный исследовательский центр «Курчатовский институт»

⁴Институт проблем экологии и эволюции имени А.Н. Северцова РАН

⁵Московский государственный университет геодезии и картографии

ПЕРСПЕКТИВЫ РАСШИРЕНИЯ ФУНКЦИОНАЛА ГЕОМОРФОЛОГИЧЕСКИХ СТАЦИОНАРОВ НА БЕРЕГАХ РЕКИ ОКИ¹⁴

Полевые наблюдения за хозяйственно значимым процессом - разрушительной работой рек входят в перечень характерных объектов исследований геоморфологов и гидрологов. Глобальной тенденцией, усиливающейся с 1990-х годов, стало расширение методологии мониторинга флювиального рельефообразования в речных долинах за счет привлечения методов геодезии, инженерной геологии, подходов к получению полезной информации, принятых в физике почв и геоэкологии. Хотя практика выделения пойменных территорий с наибольшим эрозионным риском за последние десятилетия все больше интегрирует анализ данных дистанционного зондирования Земли, не теряет актуальности организация геоморфологических стационаров, методология наблюдений на которых также не избежала усложнения. Функционал их теперь редко сводится к простой фиксации последствий динамики эрозионно-аккумулятивных процессов, несмотря на сохранение определенной ценности подобных работ.

Все большее значение приобретает прогнозирование резких проявлений рельефообразования, естественная динамика которого в днищах речных долин приурочена, главным образом, к русловым деформациям. Проводящийся с 2010-х гг. мониторинг боковой эрозии русла реки Оки в ее среднем течении (на участке 730–660 км от устья) в локальном пространственном масштабе и в течение нескольких лет произвел одну из главных тенденций последних десятилетий во флювиальной геоморфологии. Произошел переход от дискретных измерений скорости отступления берега традиционным методом реперов (эрозионных штифтов) к пространственному моделированию ежегодной береговой морфодинамики (с помощью БПЛА и геодезической съем-

¹⁴ Работа выполнена при финансовой поддержке Российского научного фонда (проект № 22–77–00050) <https://rscf.ru/project/22-77-00050/>.

ки). За 2020–2023 гг. составлено несколько растров ЦМР русловых склонов и прилегающей высокой поймы, что позволило выявить связи скорости разрушения берега со структурно-морфологическими параметрами откосов.

Известен потенциал физико-географических стационаров в контроле короткопериодных изменений компонентов геосистем: стексовых, недельных и сезонных. В последние годы на учетных площадках рязанского участка окской поймы регулярно наблюдаются колебания влажности почвогрунтов, подготовлена база данных о вещественном составе геологического наполнения берегового рельефа. В настоящее время получена информация о фациальных границах самостоятельных геологических тел в пределах комплексов сегментно-гривистой и наложенной поймы, а также о реакции пород различного генезиса на те или иные агенты эрозии. Прикладным аспектом исследований рельефообразования в масштабе пойменного мезорельефа является оценка потерь углерода из дневных и погребенных почв. Еще могут быть выделены, по меньшей мере, три перспективных направления исследований, связанных с топологическим и хронологическим масштабированием пойменного рельефообразования. К ним относится гидролого-морфологический прогноз горизонтальных русловых деформаций, геоинформационный реанализ топографических материалов и реконструкция плейстоцен-голоценовой истории развития пойменных генераций рельефа (в первую очередь затронутых современной эрозией). Разработка каждого из них и решение комплексных задач в области флювиальной геоморфологии отражают глобальные тренды сотрудничества специалистов разного профиля, пока лишь частично проявленные в разрешении вопросов мультимасштабной эволюции рельефа поймы средней Оки.

**Ю.Е. Воронина, М.В. Шестова,
А.Н. Ситнов, М.А. Решетников**

Волжский государственный университет водного транспорта

**ВЛИЯНИЕ «ЧЕРМУШИНСКОГО» КАРЬЕРА
НА ДЕФОРМАЦИОННОЕ СОСТОЯНИЕ НЕСУДОХОДНО-
ГО РУКАВА В РУСЛЕ Р. ВОЛГИ ПО РЕЗУЛЬТАТАМ
МАТЕМАТИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ**

Для оценки влияния карьерной разработки в несудоходном рукаве Старая Волга произведено математическое моделирование

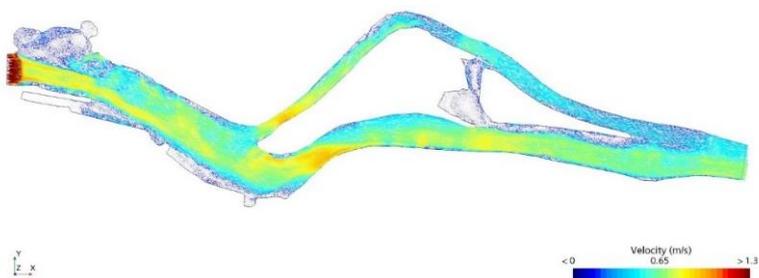
участка 1191–1202 км судового хода с полной обработкой месторождения при различных уровнях воды в нижнем бьефе Чебоксарского гидроузла.

В естественных условиях в несудоходном левобережном рукаве о. Казин на крутом изгибе формируется зона повышенных скоростей, достигающих значений 1,0-1,2 м/с. Такое повышение скоростей объясняется наличием крутого поворота на участке входа потока в несудоходный рукав Старая Волга и подверженного им участка реки, где возникает так называемая суводь – вращательное движение воды, обычно находящееся за выступами берегов и выпуклыми берегами, вдающимися в русло. В этих местах течение, с большой скоростью обтекая берег, встречает на своем пути выступ и создает перед ним подпор воды и повышение уровня. Проходя выступ, водный поток отклоняется от него и по инерции проходит некоторое расстояние. За выступом уровень воды понижен, из-за чего в нижней части суводи вода затягивается из основного потока, а в верхней части, наоборот, из области суводи в основную струю потока. Этот процесс происходит непрерывно и вызывает вращательное движение воды.

Поток на повороте за указанной зоной направлен к о. Казин, формирует классические поверхностные течения, воздействующие на береговую полосу рукава, а также донные течения, направленные от острова и имеющие минимальные значения, что приводит к аккумуляции наносов ниже по участку несудоходного рукава в месте разрабатываемого карьера. Такое движение потока провоцирует ещё больше искривление несудоходного рукава с повышением его сопротивляемости потоку и заносимости карьера после его обработки. Это в конечном счёте влияет на перераспределение расходов в судоходный правобережный рукав в долговременной перспективе.

После обработки всего месторождения «Чермушинского» в несудоходном левобережном рукаве Старая Волга смещение максимальных скоростей из средней зоны ближе к входу в левобережный рукав спровоцирует ускорение процесса дальнейшего искривления несудоходного рукава и повышения его сопротивления (рисунок).

Кроме того, может несколько активизироваться процесс заносимости обработанного месторождения путём аккумуляции наносов с о. Казин в разработанное ложе. Увеличение поступления расхода воды в сторону несудоходного левого рукава после разработки карьера заново запустит процесс перераспределения потока воды в сторону судоходного правого рукава.



Векторное отображение кинематической структуры потока участка водного пути в районе месторождения «Чермушинское» с его полной отработкой при отметке НПУ=53,0 мБС

При низких уровнях воды у приверха о. Казин формируется незначительная водоворотная зона, которая в естественных условиях отсутствовала. Однако максимальные скорости в указанной зоне не превышают значений 0,15–0,2 м/с, поэтому какого-либо заметного влияния на изменение в условиях судоходства водоворотная зона не окажет. Кроме того, направление потока в сторону левого рукава Старая Волга не вызовет существенных деформаций размыва приверха о. Казин даже при возникновении зоны повышенных скоростей на входе в несудоходный рукав.

Непосредственно в зоне отработанного месторождения поток выравнивается, исчезают ярко выраженные зоны повышенной турбулентности и движение воды становится более равномерным. Течение здесь совпадает с продольной осью карьера по всей его длине.

По результатам анализа многолетних деформаций в русле рассматриваемого участка водного пути и выполненного математического моделирования четырех различных вариантов (до и после отработки всего месторождения при различных уровнях воды в реке) можно сделать следующие выводы:

1. За многолетний период русло реки претерпевает изменения, связанные с заносимостью несудоходных рукавов путем изменения сопротивления русла и искривления входа в указанные рукава;
2. Создание карьера в несудоходном рукаве Старая Волга не окажет существенного влияния на условия судоходства. При этом средние скорости потока изменятся незначительно и останутся в пределах между размываемой и не размываемой скоростями;

3. Отработанное месторождение активизирует процесс заносимости несудоходного рукава на период до восстановления естественного состояния русла.

В целом рассматриваемый участок водного пути является достаточно стабильным по плановой конфигурации, а также гарантированным глубинам в правом судоходном рукаве. Все выявленные русловые процессы направлены на заносимость несудоходного левого рукава путём планомерного повышения его сопротивления движению потока из-за искривления входа в несудоходный рукав Старая Волга, а также аккумуляции наносов в нём за счёт местных размывов ниже створа Чебоксарской ГЭС.

Т.В. Гайфутдинова, М.Р. Шакирянов, А.М. Гайфутдинов
Набережночелнинский государственный педагогический университет

РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ГЛУБИН В УСТЬЕВОЙ ОБЛАСТИ МАЛЫХ РЕК-ПРИТОКОВ НИЖНЕКАМСКОГО ВОДОХРАНИЛИЩА (НА ПРИМЕРЕ РЕК ШИЛЬНА, ТИРГАУШ И ИГАТ)

Формирование устьевой области малых рек – притоков водохранилища происходит под действием различных факторов и процессов. Реки, впадающее в Нижнекамское водохранилище, объединяются не только его акваторией, но и однородностью физико-географических условий территории Татарстана. Сходства и отличия в строении устьевой области рек-притоков водохранилища определяет поиск физико-географических, гидрологических и иных особенностей их формирования.

В Нижнекамское водохранилище впадают три реки длиной более 100 км: 1) левый приток – р. Ик (436 км), 2) правый приток – р. Иж (226,2 км), 3) левый приток – р. Мензеля (123 км). Впадение рек Ик и Иж образует Икский и Ижский заливы Нижнекамского водохранилища. Реки Шильна (39,2 км) и Челна (30,8 км) относятся к малым рекам и представляют собой левые притоки Нижнекамского водохранилища с устьевыми областями, находящимися в пределах г. Набережные Челны. Несмотря на географическую близость водосборных бассейнов, эти реки имеют значительные отличия в строении устьевых областей. Устьевая область Шильны имеет четыре части: устьевой участок, «дельта», эстуарий и устьевая зона. В устьевой области Челны выде-

ляются те же составляющие, что и у Шильны, кроме дельты, что объясняется особенностями строения долины реки в нижнем течении.

Реки Тиргауш (17,6 км) и Игат (9,4 км) являются левыми притоками Нижнекамского водохранилища и впадают в его Икский залив. В строении устьевой области обеих рек выделяются: 1) устьевой участок, 2) дельта, 3) устьевая зона в приемном водоеме. Эстуарий отсутствует и есть сложности в выделении «дельты». С одной стороны, сток осуществляется по одному водотоку, дельтовые рукава и протоки четко не выражены. С другой стороны, в нижнем течении обеих рек можно выделить участок со специфической растительностью и водоемами, имеющих сходства с дельтовой частью реки Шильна. Длина таких участков 150 и 350 у рек Игат и Тиргауш соответственно

Были проведены измерения глубин в устьевых областях рек Шильна, Тиргауш и Игат (таблица).

Распределение глубин в устьевой области малых рек-притоков Нижнекамского водохранилища

Река	Глубина в устьевой области, м		
	Максимальная	Минимальная	Средняя
Шильна	2,5	1	1,57
Тиргауш	2,4	1	1,64
Игат	1,8	1	1,37

Максимальные глубины на реке Игат приурочены к средней части устьевой области, тогда как на реках Шильна и Тиргауш при впадении в водохранилище. Расчет коэффициента корреляции (0,5) показал среднюю силу связи глубины от расстояния до места непосредственного впадения в водохранилище рек Шильна и Тиргауш. Зависимость глубин в устьевой области р. Игат от расстояния до места ее впадения в водохранилища имеет слабую обратную связь (коэффициент корреляции 0,4).

Устьевые области малых рек-притоков Нижнекамского водохранилища обладают широким диапазоном морфометрических характеристик их частей, характеризуются различной конфигурацией основного водотока. Для выявления общих закономерностей распределения глубин необходимы сведения о других реках, а также детальное изучение физико-географических особенностей протекания устьевых процессов.

А.М. Гареев

Уфимский государственный университет науки и технологий

АНТРОПОГЕННАЯ ТРАНСФОРМАЦИЯ И ДЕГРАДАЦИЯ МАЛЫХ РЕК (НА ПРИМЕРЕ БАССЕЙНА Р. УРАЛА В ПРЕДЕЛАХ РОССИИ)

В ходе выполнения водохозяйственных и гидроэкологических расчетов и оценок значимости малых рек уделяется особое внимание. Это обусловлено тем, что они непосредственно и отчетливо реагируют на влияние факторов, приуроченных к их водосборам. Совокупность естественных и антропогенных факторов влияет на пространственную и временную изменчивость водных ресурсов, формируют их количественные и качественные характеристики, соответственно, являются причиной изменения морфометрических характеристик русел, гидрологического режима, гидрохимических показателей и экологических условий. В бассейнах малых рек, подверженных массовому влиянию хозяйственной деятельности, наблюдаются неблагоприятные процессы (трансформация, деградация), которые требуют всестороннего изучения, анализа и обоснования мероприятий, направленных на реанимацию водотоков и их водоохраных зон. Они отчетливо проявляются в бассейнах рек, испытывающих влияние в течение продолжительного времени горнодобывающей отрасли.

Характерные тенденции, масштабы и особенности влияния этой отрасли на малые реки бассейна р. Урала в пределах России были всесторонне изучены в ходе выполнения НИР институтом водных проблем РАН и Уфимским университетом науки и технологий в рамках общегосударственной программы восстановления трансграничной реки Урал. На основе обобщения полученной информации установлено, что, многие малые реки, протекающие в зонах массового влияния объектов горнодобывающей отрасли, в настоящее время находятся в весьма неблагоприятном состоянии. Оно формируется не только вследствие воздействия конкретных направлений деятельности (отвалов горных пород, карьеров, хвостохранилищ, свалок, работы драг и др.), но и в зависимости от влияния регионального отклика на глобальные изменения климата. По ряду бассейнов рек наблюдается наложение негативного влияния и других направлений хозяйственной деятельности, включая чрезмерный выпас скота на водосборах и в водоохраных зонах, способствующих трансформации склонового стока и активизации эрозионных и русловых процессов. К малым рекам, в которых произошли коренные изменения гидрологического режима, гидрохимических, гидробиологических характеристик и

экологических условий относятся сама р. Урал в верховьях, р. Худолаз с притоком Карагайлы, Таналык, Бузавлык, Блява и др. (таблица).

Характеристики малых рек, подверженных влиянию отдельных направлений хозяйственной деятельности человека

Характер местности	Места расположения	Характеристики
1. Преимущественно естественные ландшафты в сочетании с локально нарушенными территориями	Горнолесная и горно-лесостепная зоны Южного Урала в пределах Башкортостана и Оренбургской обл.	Преимущественно хорошо сохранившийся естественный гидролого-экологический режим малых рек с благоприятными условиями для обитания гидробионтов
2. Средне и сильно измененные (деградированные) ландшафты речных водосборов в условиях преимущественного влияния сельского хозяйства	Лесостепные и степные зоны в пределах верхнего и среднего течений р. Урала	Деградированные пастбища в результате чрезмерного выпаса скота, активизация эрозионных и русловых процессов, заиление русел рек в низовьях, эвтрофикация водных объектов; формирование неблагоприятных гидролого-экологических и хозяйственно-экономических последствий
3. Чрезмерно нарушенные и деградированные территории бассейнов малых рек в результате массового влияния объектов горнодобывающей отрасли	Зоны негативного влияния объектов горнодобывающей отрасли и населенных пунктов Башкортостана и Оренбургской обл.	Коренные изменения морфометрических характеристик русел малых рек, их гидрологического режима и экологических условий в результате складирования отвалов горных пород на больших площадях, образования карьеров, хвостохранилищ, накопителей сточных вод, свалок и др. (зоны влияния объектов, расположенных в г. Сибай, Баймак и п. Бурибай, Подольск в Башкортостане и г. Медногорск Оренбургской обл.)
4. Коренным образом измененные территории (русла малых рек, паводково-пойменные комплексы) в результате добычи полезных ископаемых	Малые реки Учалинского, Абзелиловского и Хайбуллинского районов Башкортостана и Оренбургской обл.	Коренные изменения (полная деградация) участков малых рек в результате добычи россыпного золота драгами и гидравлическим способом, нарушающими гидрологический режим и экологические условия в водотоках

Анализ последовательности выполнения (ранжирование) водоохраных мероприятий по бассейнам малых рек учитывает то, что они должны, в первую очередь, проводиться там, где будет достигнута наибольшая экологическая эффективность при привлечении необходимых затрат денежных средств. Этим требованиям соответствуют бассейны малых рек, расположенных в верховьях р. Урала.

Основным фактором, обуславливающим трансформацию склонового и речного стока, активизацию развития эрозионных и русловых процессов, является перевыпас скота (пастбищная депрессия). Здесь же проявляется влияние и других факторов, обусловленных сельскохозяйственной деятельностью на водосборах, включая нарушения при обработке полей, несоблюдение требований организационно-хозяйственного характера, ограниченность проведения агро- и лесомелиоративных мероприятий и др.

К первоочередным следует отнести мероприятия, направленные на реабилитацию, сохранение и восстановление малых рек – притоков трансграничной р. Урал (Жайык), по бассейнам, расположенным в зоне чрезвычайно сложного и массового влияния объектов горнодобывающей отрасли в сочетании с другими видами хозяйственной деятельности (промышленного и коммунально-бытового водопользования, чрезмерного выпаса скота на водосборе и др.). Решение проблем малых рек, должно осуществляться в составе комплекса мероприятий по бассейну р. Урала в целом на основании анализа их значимости в разрезе расчетных водохозяйственных участков по СКИОВО.

А.М. Гафуров, О.П. Ермолаев

Казанский (Приволжский) федеральный университет

ГЕОПОРТАЛ «ЭРОЗИЯ ПОЧВ АЗИАТСКОЙ ЧАСТИ РОССИИ»¹⁵

Почвенная эрозия является одной из наиболее серьезных экологических проблем, с которыми сталкивается сельское хозяйство, в том числе в Азиатской части России. Борьба с эрозией почв требует систематического мониторинга, анализа данных и разработки эффективных

¹⁵ Работа выполнена при финансовой поддержке Российского научного фонда (проект № 22–17–00025).

стратегий по ее предотвращению и смягчению последствий. Обеспечение открытого систематизированного доступа к геопространственной информации на территорию сельскохозяйственно освоенной части Азиатской России послужило причиной разработки геопортала «Эрозия почв Азиатской части России».

В качестве операционно-территориальной единицы для работы была выбрана сетка водосборных бассейнов (101293 полигональных объектов) со средней площадью 55 км². На этой основе была сформирована база данных, состоящая из усредненных по бассейну основных данных о рельефе и статистических метрик (средние, максимальные, минимальные значения, стандартное отклонение, амплитуда высот), уклонах, преобладающей экспозиции, температуре (средняя годовая температура воздуха, средняя температура воздуха в январе, средняя температура воздуха в июле, среднее многолетнее максимумов температуры за год, среднее многолетнее минимумов температуры за год, средняя многолетняя амплитуда температуры воздуха, среднеквадратическое отклонение температуры воздуха за год, среднее многолетнее число дней с температурой воздуха ниже +8°C, повторяемость сильных морозов (-30°C и ниже), сумма активных температур) и осадках (среднее годовое количество осадков, среднее количество осадков в мае-августе, среднее количество осадков за холодный период года, среднее количество осадков за теплый период года, коэффициент вариации годового количества осадков, гидротермический коэффициент). Кроме того, на геопортале представлена информация о преобладающем типе почв и почвообразующих породах бассейна, а также других характеристиках бассейнов.

Созданная геобазы данных послужила основой для одноименного картографического веб-сервиса «Эрозия почв Азиатской части России».

В качестве картографического программного обеспечения был использован хорошо зарекомендовавший себя тандем GeoServer для преобразования полигональной базы данных в растровом виде для быстрого отображения в окнах браузеров, а также библиотека Mapbender 3, позволяющая создавать графический пользовательский интерфейс для взаимодействия с картографической информацией. В настоящее время уже реализована возможность взаимодействия с различными тематическими слоями, печать карт, отображение легенды, координат объекта, масштаба, а также возможность отображать всю информацию по нажатию на бассейн, а также измерение площади и расстояний. Веб-ресурс доступен по адресу <https://bassapr.kpfu.ru/>

В настоящее время планируется наполнение геопортала дополнительной информацией, включая данные о темпах смыва и аккумуляции

почвы в результате эрозии, преобладающем типе землепользования, лесистости и т.д. В функциональной части планируется реализовать возможность осуществлять выборку и выгрузку геометрии бассейнов с атрибутивной информацией по границам, задаваемым пользователем.

Геопортал объединил актуальные данные о состоянии почв, факторах, способствующих эрозии, а также информацию о мерах по ее предотвращению в едином информационном ресурсе. Он предоставит исследователям, землепользователям, органам власти и общественности доступ к этим данным, что позволит принимать обоснованные решения по управлению земельными ресурсами и разрабатывать эффективные стратегии борьбы с эрозией почв.

А.М. Гафуров, Н.В. Матвеева

Казанский (Приволжский) федеральный университет

МОНИТОРИНГ ДЕФОРМАЦИЙ ГИДРОТЕХНИЧЕСКИХ СООРУЖЕНИЙ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ПОСТОЯННЫХ ОТРАЖАТЕЛЕЙ¹⁶

Необходимость мониторинга деформаций гидротехнических сооружений обусловлена рядом факторов. Гидротехнические сооружения, такие как плотины, дамбы и каналы, являются критически важными объектами инфраструктуры, от надежности и безопасности которых зависит жизнь и благополучие людей в прилегающих районах. Любые значительные деформации или повреждения этих сооружений могут привести к катастрофическим последствиям, таким как наводнения, разрушения и человеческие жертвы. Гидротехнические сооружения подвергаются значительным нагрузкам и воздействиям со стороны окружающей среды, таким как гидростатическое давление воды, сейсмические колебания, температурные перепады и эрозионные процессы. Эти факторы могут со временем вызвать деформации и ухудшение состояния сооружений, что требует своевременного выявления и устранения.

Для мониторинга деформаций гидротехнических сооружений применяются различные методы наблюдений, включая геодезические измерения с использованием высокоточных приборов для отслеживания смещений, датчики для измерения деформаций грунтов и кон-

¹⁶ Работа выполнена при финансовой поддержке Российского научного фонда (проект № 23–27–00292).

струкций, гидрологический мониторинг водного режима, визуальные осмотры для выявления повреждений, а также дистанционные методы, такие как аэрофотосъемка, лазерное сканирование и спутниковые радарные наблюдения. Целью данной работы является апробация метода постоянных отражателей по радарным данным Sentinel-1 для мониторинга годичных изменений на мостах как гидротехнических сооружений.

Метод постоянных отражателей (Persistent Scatterer Interferometry, PSI) представляет собой методику дистанционного зондирования для мониторинга деформаций земной поверхности и инженерных сооружений. Он основан на интерферометрической обработке серий радиолокационных снимков одной и той же территории, полученных в разное время. Ключевая особенность метода заключается в использовании сигналов от постоянных стабильных отражателей, таких как здания, скалы, антенны, которые практически не изменяются со временем. Благодаря объединению большого количества интерферометрических пар снимков, метод PSI позволяет достичь высокой точности измерений смещений, вплоть до миллиметров. Он снимает ограничения классической интерферометрии, связанные с атмосферными и временными декорреляциями, и дает возможность получать карты смещений земной поверхности с высокой степенью пространственного разрешения. Широкое применение метод PSI нашел в мониторинге инженерных сооружений, оползней, просадок грунта, последствий землетрясений и других геодинамических процессов. Распространение этой методики стало возможным благодаря развитию современных радиолокационных систем и вычислительных мощностей, позволяющих обрабатывать обширные массивы данных дистанционного зондирования.

Методика предварительной обработки данных радиолокационной интерферометрии для последующего анализа методом постоянных рассеивателей заключается в следующем: сначала выбирается оптимальное опорное изображение, затем исходные данные TOPSAR разделяются на подапертуры, поляризации и пачки импульсов, определяются границы области интереса, которые вместе с другими параметрами проекта заносятся в конфигурационный файл для сортировки ведомых изображений, их разделения и коррекции орбит, сопоставления с опорным изображением и генерации интерферограмм, а также экспорта данных в формат StaMPS, после чего проводится проверка и удаление пустых интерферограмм и выполняется их окончательная подготовка к анализу постоянных рассеивателей, в том числе задание порога индекса дисперсии амплитуды для предварительного отсева некачественных пикселей. Подготовленные данные радиолокационной ин-

терферометрии загружаются в MATLAB. Здесь выполняется оценка временной когерентности путем итеративного расчета фазового шума для каждого кандидата в постоянные рассеиватели. После этого проводится отбор наиболее стабильных пикселей на основе вероятностного критерия, заданного допустимой плотностью случайных пикселей. Отобранные пиксели подвергаются процедуре вычитки, в ходе которой отбрасываются нестабильные и смежные пиксели, доминируемые одним и тем же рассеивателем.

Далее выполняется коррекция фазы отобранных пикселей за счет вычитания нескоррелированной ошибки углов визирования. После этого осуществляется распаковка фазы с использованием трехмерного алгоритма, применяющего пространственно-временную фильтрацию для уменьшения шума. Полученные распакованные интерферограммы используются для оценки пространственно-коррелированной ошибки углов визирования, которая вычитается из данных вместе с оценкой атмосферных помех и орбитальных ошибок.

Заключительным шагом является пространственно-временная фильтрация для удаления атмосферных шумов, после чего рассчитывается средняя скорость смещения земной поверхности для каждого пикселя. При необходимости параметры на различных этапах могут быть скорректированы для улучшения результатов анализа и сильно варьируются в зависимости от целевого объекта исследования. Как правило, для интерактивного мониторинга результатов обработки результатов анализа, визуализации амплитуд смещений, построения графиков используется Shiny приложение для R, под названием StaMPS Vizualizer.

В.Н. Голосов^{1,2}, А.П. Жидкин^{1,2}, Н.Н. Иванова¹

¹Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, ²Почвенный институт им. В.В. Докучаева РАН

ТЕМПЫ АККУМУЛЯЦИИ НАНОСОВ В ДНИЩЕ ДОЛИНЫ ВЕРХОВЬЕВ Р. ВОРОБЖИ КАК ОТРАЖЕНИЕ ИЗМЕНЕНИЙ ЭРОЗИОННЫХ ПРОЦЕССОВ НА ВОДОСБОРЕ¹⁷

В чернозёмной зоне пахотные земли занимают большую часть склонов междуречий. Отдельные сохранившиеся массивы лесов в основном располагаются вдоль бортов крупных эрозионных форм и в

¹⁷ Выполнено при финансовой поддержке РФФ (проект 22-17-00071)

днищах долин рек и только в отдельных случаях на приводораздельных участках склонов. Таким образом, склоны междуречий в течение длительного времени являются ареной развития эрозионно-аккумулятивных процессов с преобладанием процессов выноса материала. Дальнейший транспорт продуктов смыва во многом определяется особенностями формирования стока воды и существенно отличается для периодов снеготаяния и тёплого времени года, когда причиной образования поверхностного стока на склонах являются ливневые осадки. Особенностью ливневого смыва является высокая концентрация наносов в склоновом стоке, которая часто достигает 100 г/л и выше. Кроме того, в тёплое время года травянистая растительность на нераспахиваемых склонах или бортах эрозионной формы создаёт повышенную шероховатость поверхности. Совместно с распластыванием потока за пределами пашни это приводит к резкой потере транспортирующей способности потоков и переотложению основной массы наносов, смытых со склонов, на небольшом удалении от нижнего края пашни. Данная закономерность прослеживается и для концентрированного стока по днищам ложбин. В итоге в крупные стволые сухие долины, являющиеся истоками рек, в период формирования ливневого стока попадает незначительная доля продуктов суммарного смыва на водосборе, в основном это происходит при выпадении экстремальных ливней редкой повторяемости. При формировании талого стока его мутность только на заключительной стадии снеготаяния в отдельных случаях может превышать 10 г/л. При этом в отдельные годы, когда почва промерзает на глубину свыше 40–50 см, коэффициент стока воды с пахотных склонов достигает 0,9–1. Также в холодное время года увядший травянистый покров имеет сравнительно невысокую шероховатость. Поэтому доля смытого с пашни материала, доставляемого до днищ стволых долин и далее транспортируемого вниз по течению, существенно выше. Большая по сравнению с небольшими сухими долинами ширина днищ стволых долин, составляющая более 30–40 м, способствует переотложению наносов. Дополнительным фактором аккумуляции наносов в днищах стволых долин в период снеготаяния является то обстоятельство, что вследствие ветрового переноса в них накапливаются большие запасы снега, таяние которых происходит медленнее из-за затенённости днищ глубоко врезаемых долин. Таким образом, днища стволых сухих долин являются ловушками значительной доли наносов, смываемых с пашни. Особенностью подобных долин, в днища которых сток воды и наносов в основном поступает из притоков, дренирующих обширные пространства междуречий, является изменение соотношения процессов эрозии и аккумуляции по длине

днища. В зависимости от общей протяжённости долины выделяется от 3 до 5 участков со сменой знака процесса: транзитно-аккумулятивные с отсутствием проявления эрозионных процессов, эрозионно-аккумулятивные, чисто эрозионные на участках сужения днища. Эрозионные процессы в днище проявляются в виде формирования донных овражных врезов, уступы которых попятно отступают вверх по течению, а формирующийся в процессе размыва материал перекладывается вниз по течению от уступа, постепенно заполняя ранее образовавшийся вторичный врез. Подобный механизм перераспределения материала в днищах крупных и некоторых небольших сухих долин существенно осложняет оценки суммарных объёмов накопления смытого с пашни материала за различные интервалы времени с использованием радиоцезиевого метода. Это связано с тем, что повторное перераспределение наносов при формировании вторичных врезов приводит к трансформации эпюр вертикального распределения ^{137}Cs и утрате ранее легко определяемых пиков его концентрации в аккумулятивных толщах, соответствующих максимумам выпадения из атмосферы на поверхность почвы глобального (1963 г.) и чернобыльского (1986 г.) ^{137}Cs . Соответственно, соотношение темпов аккумуляции за периоды 1963–1986 гг. и 1986 г. (год отбора пробы) можно оценивать только для участков днища, не затронутых процессами вторичного врезания.

В частности, для днища основной долины р. Воробжи в ее верхнем течении было установлено, что в 1986–2020 гг. темпы аккумуляции сократились по сравнению с 1963–1986 гг. в 4 раза и составили порядка 0,27 см/год. Суммарная мощность смытого с пашни и отложившегося в днище материала возрастает по длине долины от 2–2,2 м до 2,6–2,8 м, что при общей продолжительности массовой распашки водосбора в 225–275 лет позволяет оценить средние темпы накопления наносов примерно в 1 см/год, что сопоставимо с темпами аккумуляции в период 1963–1986 гг. Но при этом следует учитывать, что в последней четверти XIX века дополнительным источником материала, вероятнее всего, были наносы, образовавшиеся при формировании антропогенных оврагов, которые затем стабилизировались и стали в свою очередь ловушками наносов. Согласно результатам детальных исследований, выполненных в одном из притоков основной долины верхьев Воробжи балке Спокоевке, установлено, что средние темпы аккумуляции в ее днище в период 1963–1986 гг. более чем вдвое превышали темпы накопления наносов за постчернобыльский период, и примерно на столько же темпы аккумуляции за весь период земледельческого освоения. В два раза большее по сравнению с балками-притоками сокращение темпов аккумуляции в основной долине верх-

вьев Воробжи в пост-чернобыльский период объясняется двумя причинами: сокращением талого стока и смыва и массовым сооружением прудов в притоках основной долины дополнительно к существовавшим ранее.

И.И. Григорьев, И.И. Рысин, В.В. Конев
Удмуртский государственный университет

ОПЫТ КЛАССИФИКАЦИИ РАЗНОВРЕМЕННЫХ КОСМОСНИМКОВ LANDSAT В ИЗУЧЕНИИ ОВРАЖНОЙ И РУСЛОВОЙ ЭРОЗИИ НА ТЕРРИТОРИИ УДМУРТИИ¹⁸

Динамика овражных и русловых процессов в значительной мере определяется соотношением различных типов земель в общей структуре землепользования. Важным источником получения актуальной информации о пространственных изменениях являются материалы дистанционного зондирования Земли. Для оценки динамики землепользования в среднем и крупном масштабах более целесообразно использование разновременных космических снимков сверхвысокого разрешения и аэрофотосъемки. Для целей создания пространственных баз данных на региональном уровне хорошо подходят многозональные снимки среднего разрешения, наиболее популярными из которых являются снимки, выполненные со спутников Landsat. Разрешения данных снимков (30 м на пиксель) вполне достаточно для решения наших задач. Съемка проводится в нескольких каналах с подходящей периодичностью и сплошным охватом территории. Кроме того, имеется бесплатный доступ к архиву снимков (с 1984 г.).

В настоящее время стоит задача актуализации количественных данных по изменению структуры землепользования во временном разрезе в течение последних 30–40 лет. В настоящее время наблюдается общая тенденция затухания процессов оврагообразования, что объясняется изменением климатических условий и возрастанием необрабатываемых пахотных площадей в 1990-е годы. Развитие русловой эрозии также не отличается высокой интенсивностью. В дальнейшем созданная картографическая основа может быть использована для комплексной оценки природных и антропогенных факторов, влияющих на развитие эрозионных и русловых процессов.

¹⁸ Работа выполнена при финансовой поддержке Российского научного фонда (проект № 23–27–00194).

Нами подготовлены космические снимки Landsat на 3 участка в северной, центральной и южной части Удмуртии, ориентировочной площадью 2250 км², 4600 км² и 2300 км² соответственно. Для каждого участка подобраны снимки на 4 временных периода: 1989 г., 1999 г., 2013 г. и 2023 г. На каждый рассматриваемый период используются весенне-летние снимки. Снимки на 1989 и 1999 годы выполнены спутником Landsat 5, а на 2013 и 2023 годы – спутником Landsat 8. Фактическое разрешение всех снимков составляет 30 метров/пиксель в мультиспектральном режиме и 15 метров/пиксель в панхроматическом режиме. Снимки Landsat 5 синтезированы в сочетании 5, 4, 3 каналы, Landsat 8–6, 5, 4. Подобная комбинация позволяет увидеть очень много информации и цветовых контрастов. Здоровая растительность выглядит ярко зеленой, а почвы – розовато-лиловыми. Данное цветовое решение дает хорошую возможность для качественного анализа сельскохозяйственных угодий. Классификация выполнялась с помощью плагина Semi-Automatic Classification в программе QGIS. Использовались 6 диапазонов: Red, Green, Blue, ближний ИК, коротковолновый ИК-1 и ИК-2. Для качественной классификации набирается библиотека классов и их цифровых обозначений.

Нами выделялись следующие классы земельных угодий: 1) пашня обрабатываемая; 2) пашня не обрабатываемая (зарастающая мелкоземом); 3) пашня, используемая под многолетние кормовые культуры (не распаивается от 6-8 лет и более); 4) пастбища и луга (сенокосные угодья); 5) лесные земли (залесенные площади, включая болота); 6) застроенные территории (включая селитебные, дорожную сеть, участки под нефтедобычей и др. полезными ископаемыми); 7) водоёмы (пруды, озера, водохранилища и речная сеть).

Контроль при выделении различных классов осуществлялся по снимкам высокого разрешения IKONOS, WorldView-2, Quickbird и др., представленных в программах Google Earth и Sasplanet. Кроме того, осуществлялся выборочный полевой контроль некоторых классов – пахотных угодий, заброшенных угодий с кустарниковой растительностью и др. Кроме визуального контроля некоторых дешифровочных признаков на местности, нами проводилась и крупномасштабная топографическая съемка с проведением аэрофотосъемки с помощью беспилотных летательных аппаратов (БПЛА) отдельных эрозионных элементов и различных типов землепользования. Данный комплекс работ позволяет получить качественный и достоверный результат в исследованиях влияния разных типов землепользования на территории Удмуртии на развитие овражной и русловой эрозии.

А.В. Гусаров, А.Г. Шарифуллин
Казанский (Приволжский) федеральный университет

ИЗМЕНЕНИЯ НЕКОТОРЫХ МОРФОМЕТРИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК БОБРОВЫХ ПЛОТИН И ПРУДОВ В МАЛЫХ РЕКАХ ВОЛГО-КАМСКОГО РЕГИОНА¹⁹

С использованием GNSS-технологий выявлены особенности изменения некоторых морфометрических характеристик плотин (длина, высота и их соотношение) и прудов (длина), созданных евразийским (обыкновенным) бобром (*Castor fiber L.*), в десяти малых реках Волго-Камского региона Русской равнины: реки Ацвеж, Песчанка, Бродовка и Кусер в Кировской области (бассейн р. Вятка); реки Морквашка и Морквашинка (крайний север Приволжской возвышенности; правые притоки р. Волга), Каракашлы и Заумят (западная часть Бугульминско-Белебеевской возвышенности; бассейн р. Ик) в Республике Татарстан; река Салаяз и её приток Айгильдинка (восточная часть Бугульминско-Белебеевской возвышенности; бассейн р. Белая) в Республике Башкортостан. Длина указанных рек изменяется от 6,1 до 16,6 км. В исследованных реках практически все бобровые сооружения встречаются на уклонах русел менее 3 % (чаще всего на уклонах менее 2%).

По совокупности полученных данных (всего 212 объектов), по всем исследованным рекам наблюдается увеличение средней высоты бобровых плотин (h) по мере увеличения уклонов русел рек. Критическое значение уклона русла, при котором происходит статистически значимое изменение («мутация») высот бобровых плотин, составляет 1,45% по тестам Петтитта (Pettitt) и Буйшанда (Buishand). Также наблюдается уменьшение средней длины плотин (D) по мере увеличения уклонов. Критическое значение уклона русла, при котором происходит статистически значимое изменение («мутация») длин бобровых плотин, составляет 1,07% (по тесту Петтитта) или 0,54% (по тесту Буйшанда). В основе этих закономерностей лежит гидрологическая предопределенность, раскрытие которой требует дальнейших исследований. По мере увеличения уклонов рек прослеживается и общее уменьшение индекса D/h , характеризующего соотношение длины бобровой плотины к её высоте. Критическое значение уклона русла, при котором происходит статистически значимое изменение («мутация») индекса D/h , составляет 0,98% по тестам Петтитта и Буйшанда. Выяв-

¹⁹ Работа выполнена при финансовой поддержке РФФ (проект 22-77-10087).

лено также статистически значимое уменьшение длин бобровых прудов по мере увеличения средних уклонов русел рек. Критическое значение уклона русла, при котором происходит статистически значимое изменение («мутация») длин бобровых прудов, составляет 0,65% (по тесту Петтитта) или 0,47% (по тесту Буйшанда).

Отмечается влияние состава приповерхностных пород речных бассейнов на высоту бобровых плотин. Так, наибольшая средняя высота плотин приурочена к бассейнам рек, сложенным с поверхности суглинками. Она статистически значимо (в среднем на 44%) отличается от средней высоты плотин в речных бассейнах, сложенных преимущественно песками. Что касается длины бобровых плотин, то такого же явного влияния состава пород речных бассейнов нами не выявлено. В тех «суглинистых» речных бассейнах, где распаханность почв составляет менее 30% от площади их междуречий, высота плотин статистически значимо выше (в среднем на 28%), чем в бассейнах рек с распаханностью более 30%. При сравнении средних длин бобровых плотин статистически значимые различия не выявлены, хотя несколько большие длины плотин характерны также для бассейнов рек с распаханностью почв менее 30%. Это может быть связано с особенностями соотношения поверхностного и подземного стока воды в этих бассейнах и, как следствие, с различной интенсивностью паводкового речного стока.

Также была предпринята попытка выявить особенности изменения морфометрических характеристик бобровых плотин и связанных с ними прудов при изменении среднего многолетнего годового стока воды рек. Поскольку на всех исследованных нами малых реках гидрометрические наблюдения не проводились и не проводятся, указанный гидрологический показатель мы вывели из среднего многолетнего слоя стока воды на соответствующих территориях с учетом известной площади данных речных бассейнов. Статистически значимой оказалась лишь прямая зависимость между речным стоком и средней длиной бобровых прудов. Наибольшая средняя длина бобровых прудов характерна для рек с наибольшей водоносностью – реки Морквашинка, Бродовка и Ацвеж. Однако эта связь не прямая по своей сути, а косвенная: при прочих равных условиях, чем больше средний годовой сток воды реки, тем меньшие средние уклоны русла она формирует в ходе длительной её эволюции и более длинные бобровые пруды она имеет сейчас.

Распределение указанных выше количественных характеристик бобровых плотин и прудов обнаруживает некоторые региональные особенности. Мы рассмотрели этот вопрос на примере участков рек с

уклонами менее 1%. Наибольшая средняя высота бобровых плотин соответствует рекам северной оконечности Приволжской возвышенности (усреднено по рекам Морквашка и Морквашинка) и статистически значимо отличается от изученных рек других субрегионов. Наибольшая средняя длина бобровых плотин выявлена в реках бассейна р. Вятка, характеризующихся наименьшими средними уклонами. Однако, в этом случае разница между этой длиной и средними длинами бобровых плотин на реках других субрегионов статистически незначима. Что касается длины бобровых прудов, то её максимум также приходится на исследованные реки бассейна р. Вятка. Этот максимум имеет статистически значимое отличие (в 2,8 раза) только по отношению к средней длине бобровых прудов в изученных реках, протекающих в западной части Бугульминско-Белебеевской возвышенности (реки Каракашлы и Заумят) и характеризующихся наибольшими средними уклонами русел.

И.С. Дедова

*Волгоградский государственный
социально-педагогический университет*

ЛАНДШАФТНО-ГЕОМОРФОЛОГИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ПОЙМЫ СРЕДНЕГО ДОНА

Волгоградская область, географически располагаясь в границах злаково-разнотравной сухостепной подзоны, отличается развитием интразональных ландшафтов, приуроченных к долинам крупных и средних рек. Наибольшую площадь занимают пойменно-долинные ландшафты среднего течения р. Дона, преобладающие среди других интразональных ландшафтов (4,85% от площади области).

Первостепенную роль в формировании ландшафтного разнообразия долинных ПТК играют геолого-геоморфологические факторы. В донской пойме пойменные воды создают большое разнообразие режимов водного потока, которые обуславливают дифференциацию гидрогенной равнины на ряд ландшафтно-геоморфологических систем, которые различаются по режиму затопления, дифференциации аллювия, абсолютной высоте, почвенно-растительным условиям.

Донская пойма по морфогенетическим особенностям относится к сегментно-гривистому типу, с четкой дифференциацией на три генерации. Прирусовая пойма, представлена чередованием грив и межгривных понижений, шириной 0,4–0,8 км. Граница между прирусовой и

центральной поймой проводится по геохимическим барьерам ериков и межгривных понижений. Средняя высота прирусловой поймы составляет +36...+38 м. Рельеф этой части поймы в настоящее время отличается хорошей дифференциацией, относительная высота грив над днищами межгривных понижений, ложбин и ериков составляет 2,3–2,6 м. От русла Дона прирусловая пойма отделяется прирусловыми валами высотой до 1,8 м и шириной до 8 м. Геологическое строение прирусловой поймы отличается развитием русловых косослоистых песков с преобладающим размером 0,25–0,1 мм (82,74%) и 0,1–0,05 мм (13,29%). Здесь выделяются ПТК прирусловых валов и песчаных пляжей, а также грив и межгривных понижений. Вершины грив покрыты лесом из тополя обыкновенного (*Pópulus* sp.), тополя серебристого, (*Populus alba*), тополя черного (*Pópulus nígra*), дуба черешчатого (*Quercus róbur*), осины обыкновенной (*Pópulus trémula*), ивы белой (*Sálix álba*), ясеня обыкновенного (*Fráxinus excélsior*) на аллювиальных лесных почвах пёстрого механического состава. ПТК песчаных пляжей на современных аллювиальных песках и супесях лишены почв и обладают покровом пионерной растительности. Кустарниковые формации в прирусловых частях донской поймы образованы разными видами ив.

Центральная пойма выделяется по снижению абсолютной высоты до +36 м на гривах и относительной на 1–1,5 м. Ширина её колеблется от 1,5 до 3,5 км. Поверхность более сnivelирована, выделяются веера блуждания, генетически связанные со старичными озерами, радиусом 1–2 км, а также эрозионные борозды стока полых вод, создающие гофрировку поверхности. Последние имеют ширину около 1 м и глубину в несколько десятков сантиметров. Основную площадь формирует аккумулятивная гидрогенная равнина, сложенная пойменными суглинками и супесями. Старичный аллювий центральной поймы представлен черными супесями, в составе которых преобладают частицы размером 0,05–0,01 мм (32,2%) и 0,25–0,10 мм (25,16%). Для центральной поймы характерно развитие урочищ влажных (гигрофитных) и средних по увлажнению (мезофитных) лугов с высокой плотностью травостоя на аллювиальных луговых почвах тяжелого механического состава. На побережьях пойменных озер околородная растительность берегов на аллювиальных лугово-болотных почвах представлена ПТК осоково-разнотравных лугов с тростниковыми (*Phragmites austrális*), рогозовыми (*Túrpa latifólia*), камышовыми (*Schoenoplēctus lacūstris*) луговыми формациями.

Притеррасная пойма имеет ширину 150–200 м, маркируется по оstepнению растительности и переходу изогипсы абсолютной высоты выше +38 м. Средняя абсолютная высота её +38 ...+ 40 м. Для неё при-

террасной поймы характерны слабо наклонные площадки аккумулятивной супесчаной равнины, чередующиеся с устьями балочных систем, конусами выноса и котловинами пойменных озер. Основным источником вещества, поступающего на обе генерации поймы, являются как полые воды, так и травянистый опад, который здесь периодически уничтожается. Поэтому средняя мощность его составляет 4 см, а масса – менее 0,5 кг/м². Здесь же отмечается сложная геохимическая обстановка: дополнительным источником транзита химических веществ с надпойменных террас служат степные балки, а уступ первой надпойменной террасы является местным геохимическим барьером. Притеррасная пойма маркируется по развитию формации остепенённых типчаково-житняковых лугов на аллювиальных луговых почвах различной степени засоления.

Таким образом, ПТК донской поймы отличаются развитием в условиях периодического сезонного затопления и репрезентативностью ПТК пойменных лесов и лугов разной степени увлажнения. Ландшафтная структура определена урочищами прирусловой, центральной и притеррасной пойм. Особо выделяются ПТК пойменных озерных котловин и стариц с сырыми лугами и ивовой урёмой.

**А.В. Димитриев¹, А.А. Миронов¹, Ф.А. Карягин¹,
А.Н. Автономов¹, О.Е. Гаврилов¹, С.С. Максимов²**

¹Чувашский государственный университет имени И.Н. Ульянова

²Чувашский ЦГМС – филиал ФГБУ «Верхне-Волжское УГМС»

ОБ УЧАСТИВШИХСЯ СЛУЧАЯХ КРИТИЧЕСКОГО ЗАТОПЛЕНИЯ СЕЛИТЕБНЫХ ТЕРРИТОРИЙ В РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

В Российской Федерации в последние десятилетия участились случаи затопления населённых пунктов и садовых некоммерческих товариществ (СНТ) весенними и ливневыми паводками. В результате народное хозяйство страны терпит многомиллиардные убытки, на устранение последствий этих стихийных бедствий отвлекаются значительные материальные ресурсы и производительные силы страны.

У всех на слуху катастрофические последствия от наводнений последних лет Алтайского, Краснодарского краев, Иркутской области, юга Дальнего Востока, Хакасии, Ленска, Новороссийска, Анапы, Крымска, Геленджика, Саянска, Тулуна, Орска, Оренбурга, Кургана и др. По прогнозам Гидрометцентра, под угрозой паводка 2024 г. нахо-

дятся Ленинградская, Новгородская, Архангельская, Мурманская, Вологодская, Владимирская, Кировская, Свердловская, Омская, Кемеровская, Томская, Новосибирская, Иркутская, Сахалинская области, Чувашская Республика, Татарстан, Бурятия, Якутия, Пермский, Красноярский, Приморский и Забайкальский края, а также Чукотский автономный округ.

В чем же причина таких катастрофических явлений в России?

По нашему мнению, одной из причин подобных катастроф является несоблюдение простых правил, которых придерживались наши предки. Это – нельзя строить капитальные сооружения и селиться в поймах рек. Но мы это простое правило забыли, а Природа нам напоминает: Река – это не только русло, но и вся ее пойма с водно-болотными угодьями.

Законодательными и нормативно-правовыми актами в России установлены прибрежные полосы и водоохранные зоны рек. В советское время размеры их были больше, в постсоветское время они сужены и тем самым, красные линии приблизились к рекам и за их пределами строились объекты самого различного назначения. Более всего такие территории, по сути поймы рек, местными властями выделялись под садово-огороднические товарищества. Но Река нам напоминает, что Она на протяжении миллионов лет Себе выработала пойму, извилистую, зигзагообразную, со старицами и водно-болотными угодьями; и все эти территории – это Её владения. Об этом Она иногда может напомнить, выходя даже за пределы поймы. В результате все усилия по освоению пойменных угодий Реки могут стать напрасными, если сложатся ряд способствующих критическому паводку фактов (обилие выпавшего снега, глубокое промерзание почвы, резкое наступление весны, ливневые продолжительные дожди, прорыв водохранилищ и т.д.). При этом никакие дамбы, защитные сооружения перед такой природной силой не устоят.

Катастрофические наводнения надолго парализуют хозяйственную деятельность и сопровождаются гибелью людей, скота, диких животных, размывают поля, нарушают инфраструктуру, затапливают и уничтожают дома, промышленные и сельскохозяйственные предприятия, кладбища и скотомогильники, отстойники, свалки, очистные сооружения, автозаправочные станции и способствуют попаданию в воду опасных веществ. Уносится плодородный слой почвы. После этих наводнений обостряется санитарно-эпидемиологическая ситуация. Во время экстремального наводнения пойма реки затапливается на 90–100%, сроком от нескольких часов до 180–240 дней, слоем воды от 3–5

до 8–10 м и более (поймы рек Лены, Подкаменной Тунгуски, Витима, Урала, Ишима, Тобола и др.).

Катастрофические наводнения надолго парализуют хозяйственную деятельность и сопровождаются гибелью людей, скота, диких животных. Нарушается инфраструктура, затапливаются и уничтожаются дома, промышленные и сельскохозяйственные предприятия, кладбища, скотомогильники, отстойники, свалки, очистные сооружения, автозаправочные станции. Уносятся не только плодородный слой почвы, но и домашние животные, производственная и бытовая химия, полимерные изделия и материалы, нефтепродукты, загрязняющие реку, море. После снижения уровня воды, на территориях, охваченных наводнением обостряется санитарно-эпидемиологическая ситуация. Во время экстремального наводнения пойма реки затапливается на 90–100%, сроком от нескольких часов до 180–240 дней слоем воды от 3–5 до 8–10 м и более (поймы рек Лены, Подкаменной Тунгуски, Витима, Урала, Ишима, Тобола и др.).

Чувашская Республика (далее – Чувашия) имеет довольно густую гидрографическую сеть. Волга (на севере), Сура (на западе) омывают ее границы и являются преимущественными источниками водных ресурсов для прибрежных районов. Для основной территории источниками поверхностных вод являются многочисленные малые реки и пруды, а местами и озера. Даже в официальных источниках о количестве рек и речек, и их общей протяженности нет единого мнения, хотя эти разночтения принципиального значения не имеют. По данным исследований гидрологов Казанского отдела СевНИИГиМа (1967 г.) в пределах республики протекает 2356 рек и речек длиной от 0,1 до 173 км. Общая протяженность рек достигает 8560 км. Малая река в условиях Чувашии является объектом широкомасштабной хозяйственной эксплуатации. В бассейнах малых рек проживает значительная часть городского и 90% сельского населения. Люди с древних времен селились вдоль малых рек, находя здесь благоприятные условия для существования: чистую пресную речную воду, плодородные пойменные почвы, высокоурожайные естественные кормовые угодья, богатый животный мир, неповторимую яркую красоту приречного ландшафта.

По характеру водного режима все реки Чувашии относятся к рекам Восточно-Европейского типа с резко выраженным весенним половодьем, устойчивой зимней и летней меженью. Основным источником питания являются талые воды. Весеннее половодье характеризуется резким и высоким подъемом уровня и замедленным спадом. В период весеннего половодья проходит 60–90% годового стока большинства рек. Весенний подъем уровня воды начинается обычно за несколько

дней до момента вскрытия рек (в конце марта – начале апреля) и проходит очень интенсивно: 1–1,5 м в сутки, а на некоторых реках (Большой Цивиль, Кубня) иногда до 3 м в сутки. Наивысшие уровни весеннего половодья наблюдаются в различных бассейнах в разное время. Пик половодья чаще всего наступает 10–18 апреля, а на Волге - в первых числах мая. Максимальный уровень воды на большинстве рек держится не более одних суток, после чего начинается спад, интенсивность которого примерно в два раза меньше, чем подъем.

Ввиду особенностей поверхности именно тем, что рельеф большей части территории Чувашии характеризуется как овражно-балочный, таких катастрофических наводнений здесь, как на Южном Урале, в Сибири, не бывает. Действительно, в отдельные годы подтапливаются, расположенные в нижнем течении р. Бездна населенные пункты Борки, Низовка, Баявка, Новиковка и ряд нижних улиц деревень, расположенных вдоль Булы, в последних слоем воды не более 50 см. Ежегодно подтоплению подвергаются коллективные сады, расположенные в пойме р. Малый Цивиль. До строительства дамбы подтапливалась часть г. Цивильск. Подтопление в низовье р. Бездна, г. Цивильск мы связываем с созданием на Волге Чебоксарского и Куйбышевского гидроузлов. Основатели г. Цивильска, Тихвинского монастыря не могли заложить город на ежегодно затапливаемом месте. То же самое касается основателей деревень в нижнем течении Бездны. Причина – с образованием гидроузлов понизилась скорость прохождения воды в половодье в реках Цивиль и Бездна из-за подпора водохранилищ. Что касается подтопления садов в районе Цивильска, то это общая беда, касающаяся недостаточной экологической грамотности местных властей.

Тем не менее применительно даже к Чувашии следует отметить, опасность подтопления прибрежных территорий будет возрастать. Дело в том, что уровень воды в малых реках из-за интенсивного осадко-накопления, несмотря на снижение водности, имеет тенденцию роста. Так, например, меженный уровень р. Средний Аниш превышает нулевую отметку более, чем на метр. Такое же положение и на других реках. Поэтому одной из важных проблем эрозионных, русловых и устьевых процессов является проблема установления, соблюдения водохранных зон и прибрежных защитных полос водоемов и водотоков.

Настало пора признать поймы рек экологическим каркасом и особо охраняемой природной территорией Российской Федерации, в которых запрещается строительство капитальных сооружений, многоквартирных жилых домов и СНТ. Вся пойма реки до первой надпойменной террасы должна входить в водоохранную зону реки, которая

защищается Водным, Земельным, Лесным и Градостроительным кодексом Российской Федерации, Законом Российской Федерации «Об охране окружающей среды», «Об особо охраняемых природных территориях». Для этого необходимо внести соответствующие поправки в эти законы и другие нормативно-правовые документы.

И.Е. Егоров

Удмуртский государственный университет

МОРФОЛОГИЯ СУФФОЗИОННЫХ ФОРМ РЕЛЬЕФА В УДМУРТИИ (НА ПРИМЕРЕ ВОТКИНСКОГО РАЙОНА)

Несмотря на то, что суффозионные процессы и связанные с ними формы рельефа достаточно широко распространены в Удмуртии, они до настоящего времени остаются практически неизученными. При этом в ряде работ по другим экзогенным геоморфологическим процессам часто упоминается важная роль суффозии, как сопутствующего фактора или условия, предвещающего их развитие. Речь, прежде всего, идёт об эрозионных процессах (впрочем, суффозия и сама должна быть отнесена к этой категории) и оползнях.

Суффозионные явления в Удмуртии развиваются преимущественно в склоновых перигляциальных делювиально-солифлюкционных и делювиальных суглинках, а также в конусах выноса оврагов, в аккумулятивных отложениях днищ балок, в аллювиальных толщах, слагающих надпойменные террасы.

Начиная с 2020 года нами были начаты стационарные полевые наблюдения над суффозионными процессами в Воткинском районе Удмуртской республики на двух участках – один на правом берегу Воткинского водохранилища, возле базы «Геолог», другой – в приречной части балки возле деревни Фертики. В пределах обоих участков суффозионные образования развиты на перигляциальных суглинках, видимая мощность которых составляет более 12 м на абразионном уступе водохранилища и более 20 м по бортам балки. Благоприятными предпосылками для развития суффозии на этих участках, помимо литологических свойств суглинков, являются наличие трещин, связанных с типичными для этих грунтов столбчатыми отдельностями и эффектом бортового отпора, значительного для высоких крутых склонов.

На обследованных нами территориях обнаружено значительное количество суффозионных образований, которые можно подразделить на несколько морфологических типов:

- округлые в плане просадки, диаметром от 0,5 м до 2,5 м и глубиной от 15–20 см до 1,5 м. У наиболее крупных просадок борта по периметру обрывистые, но днища задернованные, с ненарушенным почвенным покровом. Такие просадки встречаются одиночно или группами на небольшом удалении от бровки балки. Эти группы располагаются либо параллельно бровке балки, либо перпендикулярно ей. В первом случае отделяемый просадками небольшой блок горных пород смещается вниз. Во втором случае на месте просадок со временем образуется эрозионная форма, внешне напоминающая овраг, но имеющая существенные отличия от собственно оврага – вблизи вершины отсутствуют какие-либо следы стока по поверхности, нет характерной для оврага водобойной ниши. Возможно, значительная часть первичных придолинных и прибалочных оврагов, выделяемых на территории Удмуртии, имеет именно суффозионное происхождение. Иначе объяснить образование оврагов, не имеющих водосборной площади, весьма затруднительно.

- вытянутые линейные просадки длиной первые десятки метров и глубиной от 20–30 см до 1,5 м. Этот тип широко представлен на Воткинском водохранилище. Устья просадок открывается на абразионный уступ. Поперечный профиль мультобразный, почвенный покров не нарушен, следы притока воды к вершине и стока воды в самой просадке отсутствуют.

- суффозионные формы, по морфологии изначально напоминающие овраг. В данном случае предварительно сформировавшиеся просадки грунта отсутствуют. Весной в вершине вскрывается суффозионный тоннель, по которому стекают просочившиеся талые воды. Затем в устье тоннеля происходит обрушение размокших суглинков, и как следствие этого, растёт вершина оврага. В зоне осушки водохранилища весной в створах таких суффозионных форм образуются конусы выноса, размывающиеся после подъёма воды. Следы поверхностного стока воды в данном случае также отсутствуют, а в днищах наблюдаются хаотично расположенные блоки дернины. Глубина таких форм может быть более 3 м, ширина – более 10 м, борта очень крутые, задернованные, местами вертикальные.

- суффозионные конусы выноса в створах балок. Такие проявления выноса материала достаточно обычны в береговой зоне водохранилища. Особенно заметно они стали проявляться в последние 2 года. Вынос материала пока не сопровождается образованием просадок в днищах балок, но, по-видимому, это просто вопрос времени.

В целом, в береговой зоне водохранилища проявление процессов суффозии усиливается. Это, видимо, связано с отступанием береговой

линии и увеличением высоты абразионного склона, что увеличивает эффект бортового отпора, создаёт большой градиент и скорость движения грунтовых вод. Суффозионные же образования в районе Фертиков являются более стабильными из-за того, что по мере их появления участки полей перестали использоваться и постепенно зарастают лесом.

Егоров И.Е., Глейзер И.В., Казаков А.Г.
Удмуртский государственный университет

НЕКОТОРЫЕ ЗАКОНОМЕРНОСТИ ПРОЦЕССОВ ЗАИЛЕНИЯ ВОДОХРАНИЛИЩ

Берега равнинных водохранилищ интенсивно перерабатываются благодаря активному воздействию разнообразных экзогенных процессов. Различия в геологическом строении береговой зоны, исходном рельефе, в особенностях воздействия водных масс на берега, отражаются в итоге в динамике побережий, формах образующихся берегов и в объёмах горных пород, поступающих в водохранилище (автохтонное вещество). Поступление наносов в водохранилище происходит и с территории водосбора со стоком рек, ручьёв, в результате действия других процессов (аллохтонные наносы). В обоих случаях первоначальное осаждение основной части наносов осуществляется в основном в неширокой прибрежной полосе.

В дальнейшем происходит перераспределение наносов в чаше водохранилища под воздействием ряда процессов. Смещение рыхлого материала в подводных условиях описано в ряде работ, посвящённых геодинамике побережий камских водохранилищ. В частности, Н.Н. Назаров (2007, 2008), отмечая важную роль выноса минеральных веществ в глубоководные участки при различных типах локального морфолитогенеза, указывает на существование трёх вариантов динамических обстановок изменения рельефа и осадконакопления:

- связанных с проточными течениями;
- обусловленные волновыми процессами;
- связанные с сочетанием течений и волновых процессов.

На фоне процессов, обеспечивающих общий нисходящий снос материала, нередко проявляются противоположно направленные литодинамические потоки – во время штормов рыхлый материал не столько выносится на глубину, сколько выносится с мелководья на побережье, образуя штормовые валы. Также вынос материала ближе

к клифу может быть вызван надвигами льда. Такие явления неоднократно фиксировались нами на Воткинском водохранилище.

Часть вещества осаждается из взвесей в области выклинивания подпора при впадении в водохранилище рек и ручьёв из-за резкого гашения скорости течения. Взвеси образуются и при волновых процессах. Во втором случае также мутность воды резко уменьшается на сравнительно коротком расстоянии от волноприбойной зоны. Если на мелководье до свала глубин содержание наносов может составлять от 5 до 15 кг/м³, то за его пределами не превышает 50-100 г/м³, иначе говоря, сокращается примерно в сто раз (Халилов, 1969). При проведении полевых работ нами отмечалось, что граница зоны с высоким содержанием наносов и остальной акваторией на водохранилище после шторма очень чёткая, резкая. Выпадение осадков из толщи воды может происходить по всей акватории, но безусловно, основная часть будет первоначально осаждаться на небольшом расстоянии от источника поступления.

Вместе с тем, результаты изучения процессов заиления показали, что на водохранилищах наиболее интенсивно заиливаются затопленные русла и приплотинные участки – примерно в 1,5-3,5 раза быстрее, чем в среднем по акватории, причём на глубинах, что особенно важно, где практически прекращается действие гидродинамических процессов – в Киевском водохранилище этот скачок отмечен на глубине 10,5 м, в Кременчугском – на 12 м, в водохранилищах Волги – от 6 до 12 м (Новиков, 1977). Аналогичная ситуация наблюдается и на небольших водоёмах. Так, Н.Н. Виноградова (1977) отмечает, что на Можайском водохранилище на мелководные участки с глубинами менее 4 м приходится только около 6% общего объёма заиления.

Такое распределение наносов может быть обусловлено только последующим после поступления в воду смещением рыхлых наносов в подводных условиях.

Объяснить смещение материала в подводных условиях только волновыми процессами и проточными течениями невозможно. Во-первых, действие гидродинамических процессов распространяется на сравнительно небольшие участки глубин и расстояний от клифа. Во-вторых, проточные течения на мелководье достаточно слабые, чтобы переносить значительное количество материала. Нами при изучении рыхлых отложений мелководья всегда отмечалось наличие ряби волнения, а не ряби течения. Наконец, в-третьих, выпадение наносов из толщи воды в большом объёме вдали от берега в принципе невоз-

можно, по причине их отсутствия в таком же количестве, как на мелководье.

Полевые наблюдения на Воткинском водохранилище показали, что наиболее значительными на мелководье являются процессы медленного массового смещения материала. О характере движения рыхлых отложений дают представление результаты обследования мелководья после весеннего сброса воды. На расстоянии до 18-20 м от подножья осыпного склона практически отсутствует рыхлый материал песчаных и алевритовых фракций, имевшийся до ледостава. В основном присутствует крупная дресва и щебень, а также валунно-глыбовый материал, который также смещается вниз по склону, хотя и не с такими высокими скоростями, как мелкозём. То есть речь идёт о движении материала в период ледостава, когда волновые процессы отсутствуют, а признаки проточных течений не проявляются. В отсутствие ледового покрова массовое смещение также проявляется, но его трудно зафиксировать из-за регулярного поступления нового материала на мелководье и действия других факторов, приводящих к смещению рыхлых отложений. В зимний период массовое смещение проявляется в «чистом» виде, что позволяет оценить его масштаб и роль в перераспределении вещества на дне водохранилища.

Д.А. Егоров, И.В. Никонорова

Чувашский государственный университет имени И.Н. Ульянова

ВЛИЯНИЕ ЭРОЗИИ НА ПРОДУКТИВНОСТЬ АГРОЛАНДШАФТОВ ЧУВАШСКОЙ РЕСПУБЛИКИ

Чувашская Республика обладает сложным и разнообразным рельефом, который сыграл важную роль в формировании природных условий и социально-экономическом развитии региона. Рельеф Чувашии представляет собой сочетание трех основных форм. Равнинный тип: характеризуется широкими плоскими пространствами с незначительным перепадом высот; возвышенно-равнинный тип: преобладает в центральной части республики и характеризуется чередованием плоских возвышенностей и глубоких речных долин; низменный тип: расположен на левобережье реки Волги и представлен песчаными террасами.

Геологическое строение республики представлено преимущественно осадочными породами, такими как глины, известняки и пески. Слабая устойчивость этих пород к эрозионным процессам

обусловила возникновение овражно-балочной сети, которая разделяет водоразделы. Эрозия почвы является основным фактором формирования рельефа Чувашии. Эрозионные процессы возникают под воздействием деятельности воды, которая разрушает и переносит почвенные частицы. Интенсивность эрозии зависит от ряда факторов, включая уклон местности, тип почвы и растительность.

Чувашия относится к одному из наиболее эродированных регионов Европейской России. Около 84% сельскохозяйственных земель расположено на склонах, из которых 80% подвержены эрозии (официальный портал Министерства природных ресурсов и экологии Чувашской Республики). По степени эродированности выделяется три категории земель: слабоэродированные (78%), среднеэродированные (19%), сильноэродированные (3%).

Эрозия почвы приводит к серьезным экологическим и экономическим последствиям. Ухудшение плодородия почв: смыв верхнего плодородного слоя приводит к снижению содержания гумуса, питательных веществ и микроорганизмов. Загрязнение водных объектов: смытые почвенные частицы попадают в водоемы, вызывая их заиливание и ухудшение качества воды. Нарушение ландшафтного облика: эрозия ведет к образованию оврагов, балок и других форм рельефа, которые портят внешний вид местности. Потери сельскохозяйственной продукции: снижение плодородия почв приводит к снижению урожайности сельскохозяйственных культур.

Наиболее подверженные эрозии районы Чувашии: Ибресинский, Козловский, Мариинско-Посадский, Моргаушский, Шемуршинский, Шумерлинский, Яльчикский и Янтиковский.

Высокая доля эродированности пашни является причиной снижения продуктивности агроландшафтов Чувашской Республики. Эрозия почвы приводит к деградации земель, снижению плодородия и, как следствие, к уменьшению урожайности сельскохозяйственных культур.

Министерство сельского хозяйства Чувашской Республики взяло курс на развитие аграрного сектора экономики, что отражается в ежегодном увеличении обрабатываемых земель. Среди хозяйствующих субъектов в регионе многие годы доминирующее положение занимали сельскохозяйственные организации. В 2012 году в 19 муниципальных округах доля посевных площадей сельхозорганизаций превышала 50%, достигая показателей в 75–84%. Доля личных подсобных хозяйств составляла в среднем 20% от общей площади посевов. Статистические данные за 2023 год указывают на изменение структуры посевных площадей в зависимости от вида

хозяйствующего субъекта. В 12 районах сохраняется преобладающая доля сельскохозяйственных организаций. Тем не менее, во всех муниципальных образованиях отмечается снижение доли личных подсобных хозяйств. Одновременно увеличивается роль крестьянско-фермерских хозяйств (КФХ) и индивидуальных предпринимателей (ИП) в аграрном секторе. Их доля достигает более 50% в шести районах, определяя ключевые позиции на этих территориях. В целом, доля КФХ и ИП в аграрном секторе Чувашской Республики за период 2012–2023 гг. возросла в два раза (официальный сайт Госкомстата Чувашии).

Анализ динамики урожайности сельскохозяйственных культур в Чувашской Республике с 2012 по 2023 годы выявил тенденцию к снижению. Уменьшение урожайности наблюдается в 16 муниципальных округах республики, что свидетельствует о деградации земель. Данная тенденция обусловлена рядом факторов, включая сокращение крупных сельскохозяйственных организаций и повышение доли мелких крестьянских (фермерских) хозяйств (КФХ) и индивидуальных предпринимателей (ИП). Мелкие сельскохозяйственные производители, как правило, имеют ограниченные возможности для обработки больших площадей земли, приобретения современной сельскохозяйственной техники и внесения в почву минеральных и органических удобрений.

Закономерность снижения урожайности при увеличении посевных площадей свидетельствует о необходимости перехода от экстенсивного к интенсивному сельскому хозяйству. Необходимо увеличивать сбор урожая не за счет увеличения посевных площадей (количественных показателей), а за счет качественных показателей, таких как: внедрение почвозащитных технологий (террасирование склонов, контурная вспашка, посев многолетних трав и т.д.); повышение плодородия почв (внесение органических и минеральных удобрений, известкование кислых почв); оптимизация севооборотов с включением почвоулучшающих культур.

Рельеф Чувашии, характеризующийся разнообразием форм и интенсивностью эрозионных процессов, играет важную роль в социально-экономическом развитии республики. Эрозия почвы является серьезной проблемой, которая требует комплексных мер по ее предотвращению и устранению последствий. Внедрение почвозащитных технологий, повышение плодородия почв и снижение доли эродированных земель имеют решающее значение для сохранения природных ресурсов, повышения урожайности и устойчивого развития региона.

А.С. Завадский, В.В. Сурков, М.А. Самохин
*Московский государственный университет
имени М.В. Ломоносова*

**ПОСЛЕДСТВИЯ СТРОИТЕЛЬСТВА ЗАЩИТНЫХ ДАМБ
НА ЛЕВОБЕРЕЖНОЙ ПОЙМЕ р. ЛЕНЫ
В РАЙОНЕ г. ЯКУТСКА²⁰**

Бурный рост г. Якутска (с 1950 по 2020 г. его территория возросла в 10 раз при росте населения в 5,6 раза – с 60 до 340 тыс. жит.) и освоение поймы мотивировали строительство на левобережье р. Лены защитных сооружений, которое началось после разрушительных половодий 1958 и 1964 гг. Сейчас защитный периметр города включает более 75 км дамб, дорожных насыпей и высоких набережных. В его пределы попало 270 км², или 40% (из 650 км²) левобережной части днища долины – г. Якутск и пригородные посёлки. Дамбы уменьшили ширину разлива на 1,3–1,8 км (15%), выше и ниже города – на 3–5 км (20–30%). Разрабатывается проект полного перекрытия левобережной поймы противопаводковой дамбой длиной 64 км от Табагинского утеса до Кангаласского камня. Внешние городские дамбы (Покровское шоссе – набережные ул. Чернышевского и ул. Хабарова и Богдана Чижика – дамба ул. 50-летия Советской армии) и насыпь по Даркылахскому шоссе высотой 11–12 м не исключают затопления города; их отметки на 1–1,7 м меньше экстремальных заторных уровней 1917, 1930 и 1863 гг. Однако они гарантируют защиту от обычных половодий, без образования заторов.

Внутри периметра основными факторами обводнения поймы становятся осадки, снеготаяние и сток воды с высокого коренного берега. Сток воды на бывшей пойме сосредоточивается в старичных ложбинах, а незатопляемые теперь гривы и гряды становятся водоразделами. Связанная ранее транзитным пойменным потоком поверхность распадается на изолированные водосборы, разделённые дамбами, насыпями и гривами, 4 типов. Первый включает острова и приуловую пойму, регулярно затопляемую. Трансформация пойменного потока здесь имеет локальный характер. Здесь сохраняются луговые и лесные урочища поймы, используемые, как сенокосы, пастбища и в рекреационных целях. Второй тип охватывает высокую центральную пойму, сохранившую связь с руслом реки. Вероятность ее затопления снизилась в 2–3 раза: вода из реки поступает не широким фронтом, а заходит че-

²⁰ Выполнено при финансовой поддержке РНФ (проект № 23–17–00065).

рез устья ложбин. Территория имеют хороший дренаж и слабую заболоченность. Уменьшение затопления усилило обсыхание, деградацию болот и гидроморфных урочищ, осуходоливание лугов и пастбищную дигрессию. Сокращение затопления расширило возможности застройки территории. Однако опасность её затопления сохраняется; так, в п. Пригородном затапливается 2,3 тыс. кадастровых участков, предназначенных для садоводства и индивидуального строительства.

Третий тип – изолированные участки, ограждённые дамбами незатопляемые. В зависимости от возможности стока воды – часть их обсыхает; другие подтапливаются и заболачиваются. Это преимущественно селитебные урочища, для защиты которых строились противопаводковые дамбы. Заболачивание здесь преобладает, чему способствует разорванность сети старичных ложбин, перекрытых поперечными дамбами. Подтопление кварталов обычны; непроточность, кроме ухудшения экологического состояния пойменных озёр, ухудшает дренаж поймы, при ливнях превращает улицы и дворы в мутные разливы. Вода накапливается под зданиями, разрушая сваи и фундаменты.

Четвертый тип – протекающие по пойме речки Мархинка, Шестаковка, Камалас-Юряге, ручей Хорогор. Их общая территория, расположенная как на пойме р. Лены, так и на коренном берегу, 1,2 тыс. км². Объём стока с неё при 1%-м половодье составляет 21,4 млн м³, при 10%-ном – 15,5 млн м³. В прошлом приустьевые части речек затапливались из р. Лены. Сейчас такая возможность ограничена насыпями автодорог. Не затапливаемые участки долин малых рек застраиваются. Изменяется растительность: многолетнее пастбищное использование поймы оставило от лесных урочищ только небольшие островки на неудобьях, охраняемых территориях и в понижениях рельефа. Их сменили лугово-кустарниковые сообщества. Уменьшение вероятности затопления привело к обсыханию поймы, распространению сухих и остепнённых лугов на склоны грив и днища неглубоких ложбин. На пастбищах усилилась дигрессия лугов; на других территориях, вокруг новых дачных посёлков, заметно восстановление лесов и мелколесий.

В Якутске проводятся значительные работы по амортизации негативных последствий обвалования поймы. Выполнена инвентаризация городских озёр, их днища и берега очищаются от ила и мусора, реконструирован водосброс из оз. Сайсары в Городскую протоку, прокладываются дренажные каналы. Водный режим закрытой дамбами поймы регулируется городским каналом, проложенным из р. Шестаковки; с ним связана система отвода грунтовых и талых вод с территории Якутска, Канал был построен в 1938 г. для обводнения пастбищ и огородов в тыловой части поймы, впоследствии неоднократно реконструировал-

ся (1970–1980, 2017–2019 гг.). Несмотря на это канал далёк от совершенства. На значительном протяжении он мелкий ручей шириной 1–3 м, протекающий в нестабильных берегах, местами укреплённых бетонными стенками и каменной кладкой. Санитарная зона вдоль канала не предусмотрена. Промывка только первых по трассе канала озёр проводится раз в 7–10 лет. Большую часть тёплого периода года расход воды в канале не превышает 80–100 л/с, течение заметно лишь на коротких участках ниже водопропусков. Для промывок используются залповые разовые сбросы (150–200 тыс. м³ за сутки), но они разрушают берега канала, создают мусорные пробки, вызывают подтопление. При всех недостатках городской канал – единственная возможность водообмена на селитебной территории и регулирования уровня основных пойменных озёр (всего их больше 30).

Сооружение защитного периметра в Якутске приведет к трансформации пойменного ландшафта и массовой застройке поймы, обсыхание пойменных территорий или их заболачиванию. Поэтому следует предусматривать не только защитные, но и природоохранные мероприятия, меры по благоустройству х территорий, выходящих из зоны затопления.

В.В. Занозин, А.Н. Бармин, Вик.В. Занозин

Астраханский государственный университет имени В.Н. Татищева

ОСОБЕННОСТИ ФОРМИРОВАНИЯ СОВРЕМЕННЫХ ОТРИЦАТЕЛЬНЫХ ФОРМ РЕЛЬЕФА В ЦЕНТРАЛЬНОМ ПОДРАЙОНЕ ЛАНДШАФТЕ ДЕЛЬТЫ ВОЛГИ

На протяжении последних нескольких лет в ходе исследования особенностей морфологической структуры центрального подрайона ландшафта дельты р. Волга были зафиксированы отрицательные формы рельефа. Это провалы, провальные трещины и траншеи, формирование которых происходит в группе урочищ бэровских бугров. Их внешние характеристики, с учетом литологических особенностей исследуемого региона, свидетельствовали о вероятной принадлежности к типу рельефа, который в научной литературе получил различное название: псевдокарст, кластокарст, глинистый карст или глинистый псевдокарст, лессовый псевдокарст и т.д. Исследованные формы рельефа фиксируются в группе бугровых урочищ, распространенных в пределах центрального подрайона ландшафта дельты р. Волга. В нее

входят урочища бэровских бугров (или бугров Бэра), шлейфов, окружающих бугры и урочища межбугровых понижений высокого, среднего и низкого уровней.

Процесс формирования поверхностного стока отмечается в рассматриваемой группе урочищ, существенно нарушенных деятельностью человека, что было установлено в ходе выполненных исследований. Мощное антропогенное воздействие практически на все природные комплексы дельты Волги, начавшееся в середине 1970-х гг. прошлого столетия и продолжающееся с меньшей интенсивностью в настоящее время, затронуло и исследуемую группу ПТК. Отложения нижних частей склонов бугров, а также шлейфов, окружающих бугры, использовались для обваловки полей, рисовых чеков, при прокладке дорог, соединяющих сельскохозяйственные угодья. В результате на дневной поверхности оказывалась глинистая, реже суглинистая основа шлейфов, нередко являющаяся продолжением ядра бугров. Такие участки покрыты нередко плотной глинистой коркой, выполняющей экранную функцию для водных потоков.

Аналогичное происходило и при полном разрушении небольших по размерам бугров, когда в рельефе оставался лишь возвышающийся над окружающей местностью останец. Тело относительно крупных гряд также подвергалось воздействиям в виде выемки грунта при создании оросительных систем, силосных ям и иных объектов, предназначение которых в настоящее время трудно установить. Сегодня они представлены линейно вытянутыми отрицательными формами рельефа, направление которых часто совпадает с направлением стока. Площадь водосбора на таких участках резко возрастает, а водный поток быстро перемещается по водоупорной поверхности нарушенных шлейфов, достигая их окраины. Здесь поверхность становится горизонтальной, субгоризонтальной или даже слегка вогнутой, хотя в группе ненарушенных человеком бугровых урочищ уклон продолжается вплоть до межбугровых урочищ низкого уровня. Вина этому – вновь антропогенный фактор: планиция поверхности происходила в ходе её подготовки под сельскохозяйственные угодья. Способствовали этому и откосы не функционирующих в настоящее время оросительных или дренажных систем, нередко препятствующих движению поверхностных потоков.

Возникновение провалов происходит как на горизонтальной, так и слегка вогнутой поверхности. При наличии небольших неровностей вода к их центру поступает по мелким и коротким бороздкам. Проникновению влаги вглубь способствуют вертикальная и горизонтальная трещиноватости глинистых пород, возникающие как следствие диаге-

неза и сокращения объема глинистых осадков в процессе их литификации в условиях засушливого климата. В ходе проведенных исследований было зафиксировано, что трещины могут возникнуть как в толще глинистых отложений, так и наилка черного цвета мощностью до 30–40 см, что наиболее характерно для урочищ межбугровых понижений. Здесь илистые отложения могут также залегать непосредственно на песчано-супесчаном субстрате. Наиболее интенсивно трещины в этом случае формируются на участках с грунтовыми дорогами. После попадания воды в систему трещин их росту способствуют эрозионная деятельность потока, а также химическая и механическая суффозии. Проходящая сквозь глинистую толщу вода достигает песчаных отложений различного механического состава с преобладанием мелкозернистых песков, с включением глин, суглинков и водорастворимых соединений, в основном хлоридов и сульфатов. Данные отложения в большинстве случаев имеют слоистое залегание, что обуславливает появление зоны контакта пород, различных по плотности и составу. Таким образом вновь создаются условия как для подземной эрозии, так и для химической и механической суффозии и возникновению полостей обрушения, а в дальнейшем провалов. Формирование горизонтальных каналов в нижней части провалов как следствие подземной эрозии и их дальнейшее обрушение обуславливают, по всей вероятности, возникновение провальных трещин, эволюционирующих в дальнейшем в провальные траншеи, что наиболее характерно для межбугровых урочищ среднего и низкого уровней.

М.А. Иванов

Казанский (Приволжский) федеральный университет

ОЦЕНКА ТОЧНОСТИ ОТКРЫТЫХ ГЛОБАЛЬНЫХ МОДЕЛЕЙ ЗЕМЛЕПОЛЬЗОВАНИЯ И ЗЕМНОГО ПОКРОВА НА ТЕРРИТОРИИ РОССИИ²¹

Данные о структуре земель являются необходимыми для большого спектра задач пространственного анализа, в том числе для моделирования эрозионных процессов. В настоящее время существует большое количество свободно распространяемых глобальных моделей землепользования и земного покрова различного разрешения, полу-

²¹ Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда (проект № 22–17–00025).

ченные по спутниковым данным разными алгоритмами. Однако, большинство из них создавалось без опорных данных на территории России или при недостаточном их количестве.

В рамках исследования была проведена количественная оценка точности трех моделей землепользования: Copernicus Land Cover 2019 с разрешением 100 м; Global land cover and land use 2019 с разрешением 30 м; ESA WorldCover 2021 (V 2.0) с разрешением 10 м. Оценка проводилась в пределах трех речных бассейнов малых рек, площадью от 25 до 105 км², расположенных в Азиатской части России (<https://bassapr.kpfu.ru>). Бассейны были выбраны по ряду критериев: расположены в разных ландшафтных зонах (таежной, лесостепной, степной); в пределах бассейнов должно быть 3-4 типа землепользования (1 – пахотные угодья, 2 – леса, 3 – луга, 4 – водные объекты); территория бассейнов должна покрываться снимками высокого разрешения 2019–2021 гг.

В пределах выбранных бассейнов по снимкам сверхвысокого разрешения вручную были оцифрованы вышеперечисленные классы земного покрова. Результаты оцифровки конвертированы в растры с разрешением 1 м. Глобальные модели были переклассифицированы: леса и кустарники объединены в класс «Леса», луга и редкая травянистая растительность в класс «Луга». Код 5 присвоен всем классам, не соответствующим четырем, обозначенным выше. Для дальнейшей оценки разрешение этих моделей также приведено к 1 м.

Для всех моделей в пределах бассейнов были построены матрицы ошибок, рассчитаны ошибки оmissии и комиссии, точность производителя и коэффициенты Каппа (по отдельным классам и общие) (таблица).

Из полученных результатов видно, что во всех случаях, как по общей точности производителя, так и по коэффициенту Каппа, наиболее достоверной является модель ESA WorldCover 2021. Наименее достоверной – Copernicus Land Cover 2019, за исключением бассейна в таежной зоне.

Точность и ошибки моделей землепользования и земного покрова

Классы землеполь- зования/ земного покрова	Copernicus Land Cover 2019				Global land cover and land use 2019				ESA WorldCover 2021			
	Ошибка комиссии, %	Ошибка омиссии, %	Точ- ность, %	Кэффи- циент Каппа	Ошибка комис- сии, %	Ошибка омиссии, %	Точ- ность, %	Кэф- фици- ент Каппа	Ошибка комис- сии, %	Ошибка омис- сии, %	Точ- ность, %	Кэф- фициент Каппа
Бассейн 1 (лесостепная зона)												
1	6,49	13,32	86,7	0,69	3,33	12,49	87,5	0,85	4,78	6,78	93,2	0,78
2	38,28	81,84	18,2	0,59	20,86	75,63	24,4	0,76	24,65	48,09	51,9	0,73
3	58,91	26,19	73,8	0,32	53,03	10,95	89,1	0,38	42,1	25,71	74,3	0,51
4	0,32	62,44	37,6	0,99	7,12	25,31	74,7	0,93	5,1	14,45	85,5	0,94
5	-	-	-	-	3,33	12,49	0	-	-	-	0	-
Общее			79,7	0,48			83,1	0,58			87,6	0,66
Бассейн 2 (степная зона)												
1	11,06	9,08	90,9	0,59	4,34	12,31	87,7	0,84	6,55	4,67	95,3	0,76
2	16,31	50,93	49,1	0,82	2,39	60,15	39,9	0,97	11,95	20,36	79,6	0,87
3	42,96	35,55	64,4	0,48	42,85	7,15	92,8	0,48	20,81	23,21	76,8	0,75
4	-	-	0	-	14,36	64,97	35,0	0,86	15,88	62,63	37,4	0,84
5	-	-	-	-	-	-	0	-	-	-	0	-
Общее			82,3	0,57			84,1	0,65			90,5	0,77
Бассейн 3 (таежная зона)												
1	23,14	96,43	3,6	0,76	30,14	37,12	62,9	0,68	12,17	59,78	40,2	0,87
2	6,19	1,52	98,5	0,52	1,67	12,99	87,0	0,87	4,21	5,81	94,2	0,67
3	58,88	55,15	44,8	0,36	70,86	30,77	69,2	0,23	50,06	22,02	78,0	0,46
Общее			89,4	0,46			84,4	0,50			90,1	0,59

Здесь эта модель показала общую точность 89,4 %, однако она нивелируется очень низкой точностью для класса 1 – пахотных земель (3,6%).

Н.Г. Инишев, Д.А. Вершинин, В.А. Земцов
*Национальный исследовательский Томский государственный
университет*

**НЕКОТОРЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ДВУМЕРНОГО
КОМПЬЮТЕРНОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ТЕЧЕНИЙ
В РАЙОНАХ РАСПРОСТРАНЕНИЯ ГИГАНТСКОЙ РЯБИ
ПРИ СБРОСЕ ЧУЙСКО-КУРАЙСКОГО
ЛЕДНИКОВО-ПОДПРУДНОГО ОЗЕРА**

В научной повестке уже нескольких последних десятилетий не утихают дискуссии о спуске ледниково-подпрудных озер, в том числе и в Чуйской и Курайской межгорных котловинах Горного Алтая. Многие исследователи склоняются к «катастрофической» схеме сброса воды из озерной системы в течение 1–3 суток с образованием водоворота в Курайской котловине.

Уже более 30 лет назад появились первые компьютерные модели распространения суперпаводков (делювиальных потоков), возникавших при прорывах ледниково-подпрудных озер в Чуйской и Курайской котловинах, по долине реки Чуя до ее слияния с Катунью. Выполнялось как одномерное, так и двумерное моделирование потока.

Авторами в 2012 г. впервые была представлена двумерная компьютерная модель циркуляции воды в Курайской межгорной котловине при сбросах ледниково-подпрудных озер (Инишев Н.Г. и др., 2012, 2015). Для создания модели использована программа RMA2 в моделирующей системе SMS 9.2. Данная программа позволяет смоделировать серию ситуаций двумерного движения воды, задавая расход воды во входном сечении и уровень в выходном, и подбирая устойчивое решение. Исходные материалы представлены цифровой моделью современного рельефа, полученной по данным космического зондирования земной поверхности (SRTM матрицы) с разрешением 93 м с севера на юг и 60 м с запада на восток (<http://srtm.csi.cgiar.org>). Расчетная сетка составлена из 12800 элементов, или 28850 точек, в диапазоне высотных отметок 1072–2315 м. Размеры ячеек нерегулярной сетки меняются в пределах 250–1600 м по направлению транзитного течения и 60–300 м по поперечникам.

При моделировании принято допущение, что расходы воды на входе в озеро и выходе из него одинаковы. Входное сечение задано в Чуйской котловине в 1500 м выше по долине р. Чуя от устья р. Чаган-Узун, выходное – в районе современного пос. Чибит. По сценарию, смоделированному в (P. Bohorquez et al, 2015) сброс воды из озерной системы осуществлялся с расходами от 12 млн м³/с в первый час сброса со снижением по экспоненциальному распределению до 0,2 млн м³/с к 40-му часу. Авторами и ранее, и в данном исследовании моделирование было выполнено для серии расходов воды в диапазоне 10–0,3 млн м³/с шагом 0,5–1 млн м³/с.

Результаты расчета в двумерной модели дают последовательные мгновенные характерные планы течений в озере по мере изменения расхода транзитного потока во времени. Результаты моделирования могут быть представлены в виде полей глубин, отметок свободной поверхности и осредненных по вертикали скоростей течения (величина и направление вектора скорости). По ним легко определить также и любые другие расчетные характеристики – неразмывающие скорости, расходы наносов, а также размеры элементов донных гряд, задавая расчетные формулы.

Ориентировка симметрии Актуринского и Курайского полей гряд (ряби) указывает на направление течения по азимуту 90–125° и 75–100° соответственно. При моделировании наиболее высоких транзитных расходов воды 10–7,0 млн м³/с отчетливо формируются крупные циркуляционные вихри с течениями, направленными в центральной и южной частях Курайской котловины противоположно транзитному потоку, азимуты векторов скоростей соответствуют ориентировке указанных выше грядовых полей. Средние по вертикали скорости течения при расходе 10 млн м³/с над Актуринским полем гряд меняется от 6,0 м/с над наиболее крупными грядами в западной части поля до 4,5 м/с над наиболее мелким грядами в восточной части поля. Над Курайским полем гряд скорости течения изменяются с запада на восток от 8,0 до 6,5 м/с в северной части поля (здесь гряды имеют наибольшую высоту и длину) и от 6,0 до 5,0 м/с в южной части поля, где высота и длина гряд минимальные.

Попытки применить для расчетов линейных размеров гряд формулы В.С. Кнороза (Караушев А.В., 1969), Пушкарева В.Ф. (1948) не дают результатов, близких к современным размерам гряд – рассчитанные размеры на порядок превышают реальные. При применении для расчетов эмпирических формул Бейкера (V.R. Baker, 1972) рассчитанные размеры гряд в западной части Курайского поля гряд (высоты и

длины гряд максимальные) приблизительно соответствуют расположенным там грядам.

В заключение считаем необходимым отметить, что реконструкция течений носит не окончательный характер, что связано с использованием современной, видоизмененной после прохождения предполагаемых событий модели рельефа и достаточно грубых допущений относительно граничных и начальных условий при гидравлическом моделировании.

Д.И. Исаев, Е.М. Ларина

Российский государственный гидрометеорологический университет

ИССЛЕДОВАНИЕ РАЗВИТИЯ РЕЧНЫХ ИЗЛУЧИН НА ОСНОВЕ АНАЛИЗА ПОЙМЕННОГО РЕЛЬЕФА

Прогноз плановых деформаций меандрирующих русел основывается на совмещении разновременных карт, космических снимков, лоций и определении направления, и скорости деформации береговой линии. Метод опробован для прогнозов деформации русла на период от 30 до 50 лет. Однако, это в подавляющем большинстве случаев не охватывает полного цикла развития излучин и не дает целостного представления о русловых процессах на морфологически однородном участке реки.

Поэтому для долгосрочных прогнозов, помимо картографического материала, предлагается использовать восстановление прежнего положения русла на основе анализа рисунка пойменного рельефа, предложенного в Государственном гидрологическом институте.

В качестве объекта исследований был выбран участок поймы р. Оки в среднем течении, между селами Свинчус и Рубецкое. Русло меандрирующее на участке сформировались 20 свободных излучин. Ширина пояса меандрирования составляет здесь около 4 км. В пределах современного пояса меандрирования пойма сегментно-гривистая, с небольшими выровненными массивами. Средняя высота поймы 5,2 м, абсолютные отметки от 93,7–91,4 м на гривах до 89,9 м в межгривных понижениях. На пойме хорошо прослеживается рисунок пойменного рельефа.

По восстановленным положениям русла Оки были определена динамика изменения во времени таких характеристик излучин, как степень развитости (I/L) и др. Для анализа была выбрана одна из крутых излучин. При $K_{разв} = 3,92$ произошел прорыв излучины. Также

резко возросла и ее относительная ширина ($V_{\text{отн}} = 0,75-1,81$). По мере развития излучины выросла и ее асимметрия ($K_{\text{ас}} = 0,97-1,47$), изменяясь от практически симметричной до заваливающейся вниз по долине. Получение критических значений параметров излучин, при которых происходит их прорыв, позволяет судить и о современном состоянии руслового процесса на конкретной излучине

Удалось достаточно надежно привязать восстановленное положение русла к картам 1850 года. Было установлено, что скорости деформации, определенные по совмещению карт за период 1850–2001 годов меньше, скоростей, наблюдаемых в настоящее время. Так, скорость перемещения вершины первой излучины, определённые по картам за период 150 лет меньше современного периода, равного 16 годам, в 1,23 раза, скорость смещения крыльев излучины меньше в 3 раза. Скорость плановых деформаций возросла с 11 м/год до 50 м/год.

Выскажем предположение, что ускорение плановых деформаций в современный период связано прежде всего с антропогенным освоением водосбора Оки, в частности, активным сельскохозяйственным использованием.

Анализ динамики изменения восстановленных положений русла позволяет по-новому переосмыслить механизмы развития речных излучин при свободном меандрировании, возвращаясь к несколько забытым S-образным излучинам, а возможно и к изучению деформаций в каскаде излучин.

А.А. Камышев, А.М. Тарбеева

Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова

МОРФОМЕТРИЧЕСКИЕ ПАРАМЕТРЫ ЧЕТКОВИДНЫХ РУСЕЛ СТЕПНОЙ ЗОНЫ НА ПРИМЕРЕ БАССЕЙНА р. БУЗУЛУК²²

Четковидные русла – это местные расширения русел водотоков, представленные последовательностью отдельных четок на значительной протяженности. Они широко распространены в криолитозоне и степной зоне, образуя уникальный, недостаточно изученный тип русел малых рек. В криолитозоне происхождение таких русел связыва-

²² Выполнен при финансовой поддержке РФН (проект № 23–27–00008).

ется с эрозионно-термокарстовыми процессами, однако механизмы их формирования в степи остаются предметом дискуссии.

Для выяснения условий образования четковидных русел в степи было проведено исследование их распространения в бассейне реки Бузулук на южной части Окско-Донской низменности, а также в соседних бассейнах Калачской возвышенности – реках Тишанка, Акишевка и Песковатка.

Выделены два типа четок, отличающихся по размерам, местоположению в русле и степени выраженности в пределах бровок высокой или низкой поймы. Предполагается, что причины их формирования могут быть различными.

Анализ взаимосвязи между площадями водосбора и уклонами русел рек позволил выявить граничные условия, при которых формируются четковидные русла. Результаты исследования указывают на то, что четки не наблюдаются при уклонах более 1,5 м/км и при площадях водосбора более 1600 км². Однако при разделении русла на рукава четковидные русла могут образовываться при площадях до 5000 км². Изучение четок выявило, что они чаще всего встречаются в извилистых или разветвленных руслах, реже в прямолинейных. Дополнительно, четки отличаются в зависимости от их расположения в пределах высокой или низкой поймы, что указывает на различия в их возрасте и генезисе. Для учета и сравнения четок между собой предложено ввести ряд параметров, таких как длина, ширина и степень развитости. Выводы исследования подчеркивают значимость понимания процессов формирования четковидных русел для лучшего понимания гидроморфологических характеристик речных систем и их эволюции.

Дополнительно, исследование подчеркивает необходимость разработки четкой терминологии и формализации морфометрических параметров четковидных русел. Введение определения для четковидного русла и параметров его характеристики позволит более точно описывать и классифицировать такие гидроморфологические структуры.

Анализ также выявил важность учета условий водосбора, уклонов русел и их геоморфологических особенностей при исследовании процессов формирования четковидных русел. Эти данные могут быть полезны для прогнозирования и моделирования эволюции речных систем и их воздействия на окружающую среду.

В таблице приведены основные морфометрические характеристики водотоков с наличием четковидных русел.

Морфометрические характеристики рек с четковидными руслами

Название	Количество четок	Площади водосборов, выше верхней четки	Порядок реки	Средний уклон русла на участке наличия четок, м/км
Кардаил	265	216	9.6	0.37
Каравочка	26	78	8.4	1.65
Балка Круленькая	23	58	8.1	1.41
Балка Гайворонка	25	83	8.2	1.89
Кирхина	79	156	9.0	0.87
Купава	96	44	6.9	0.79
Большая Завязка	64	91	8.7	0.78
Мачеха*	103	71	8.0	0.77
Бузулук	244	123	7.8	0.26
Черная 1	6	281	8.1	Не рассчитывался
Балка Гришина	10	261	8.4	Не рассчитывался
Карман	11	693	9.7	0.61
Черная 2	97	257	8.9	0.51
Паника	20	79	7.5	0.67
Балка Солонка	46	50	7.1	0.99
Тишанка	28	313	Не рассчитывался	0.81
Акишевка	10	421		0.67
Песковатка	43	268		0.67

Полученные результаты также имеют практическое значение для разработки рекомендаций по управлению водными ресурсами и охране окружающей среды. Понимание процессов формирования четковидных русел поможет сократить риски наводнений, оптимизировать природопользование и предотвращать негативное воздействие человеческой деятельности на водные экосистемы.

Таким образом, результаты исследования четковидных русел не только способствуют расширению наших знаний о гидроморфологии речных систем, но и имеют практическое применение в управлении водными ресурсами и охране окружающей среды.

**А.Н. Кондратьев¹, Н.Р. Поваляев,
Н.И. Гордеева², А.О. Стрюцкая³**

¹ООО «Русловые процессы», г. Санкт-Петербург

²АО «Нефтехимпроект», г. Казань

³АО «ДОНГИС», г. Ростов-на-Дону

СПОСОБЫ ОЦЕНКИ ГОРИЗОНТАЛЬНЫХ (ПЛАНОВЫХ) ДЕФОРМАЦИЙ РЕЧНЫХ РУСЕЛ В НОРМАТИВНЫХ ДОКУМЕНТАХ И ПРЕДЛОЖЕНИЯ ПО ИХ УЛУЧШЕНИЮ

Выполнен анализ нормативных методов определения горизонтальных (плановых) деформаций речных русел в рамках инженерно-гидрометеорологических изысканий (ИГМИ), выявлены недочёты в нормативных методах, в частности, нет способов оценки при недостаточности или отсутствии плановых материалов. Предложен набор способов, устраняющий этот и другие недостатки.

Большинство современных нормативов по русловым процессам составлено на основе подходов ГГИ. Один из последних и наиболее используемых: СТО ГУ ГГИ 08.29–2009. Учёт руслового процесса на участках подводных переходов трубопроводов через реки. СПб.: Нестор-История, 2009. 184 с. (СТО).

В СТО представлено несколько методов оценки горизонтальных деформаций речных русел (п. 9.4, 10.10, 11.3, 11.4 и др.): совмещение разновременных картографических материалов и экстраполяция полученного смещения русла на будущее; оценка относительной ширины пояса руслоформирования; формула для свободного меандрирования при отсутствии данных по расчётному участку (формула Н.Е. Кондратьева); формула оценки деформаций при ленточно-грядовом и побочном типах русловых процессов.

Оценка относительной ширины пояса руслоформирования табулирована в табл. 11.1 СТО. Практика показывает, что приведённые там значения не всегда соответствуют природным ситуациям, и в рамках ИГМИ использовать такие значения небезопасно.

СТО не даёт способов для распространённой в ИГМИ ситуации, когда картографических материалов мало, они относительно мелкого масштаба, водоток на них не показан, показан генерализовано или такие разновременные материалы вовсе отсутствуют. Такая ситуация часто встречается на малых водотоках, которые, при этом, обычно не соответствуют типизации ГГИ, использованной в СТО: «Все возможные схемы деформаций русел равнинных рек ... следует подразделять на шесть типов, представленных на рисунке 5.1, и ленточно-грядового

типа руслового процесса, не представленного на этом рисунке» (п. 5.1 СТО). В то же время далее по тексту СТО вводятся дополнительные типы русловых процессов, что ещё больше затрудняет использование этого норматива.

Также определение типа русловых процессов предлагается проводить косвенным образом, через критерий А. Для этого в п. 5.1 по картам определяются множители критерия А, и по его значению выбирается тип русловых процессов. А далее в п. 11.3, наоборот, по типу русловых процессов рекомендуется определить ширину пояса руслоформирования как границы максимальных возможных деформаций. Типизация по критерию А предлагается только для шести типов русловых процессов, и не ясно, как быть с другими типами при данном подходе.

Исходя из вышеизложенного, предлагаем систему способов оценки горизонтальных деформаций, выстроенную по степени наличия данных, и которая применима к любому типу русловых процессов:

- При наличии разновременных плановых материалов в СТО рекомендуется экстраполировать прошлое смещение русла на будущий расчётный срок. Учитывая, что будущие размывы обычно не равны прошлым, поэтому рекомендуем на расчётный период использовать скорость смещения берега с повышающим коэффициентом.

- При разнонаправленных, переменено направленных или неясных деформациях (как, например, при русловой многорукавности) рекомендуем учитывать разнообразные потенциально возможные деформации и указывать значение максимальных размывов с учётом всех возможных неблагоприятных сценариев.

- При отсутствии исходных материалов, но наличии ограничивающих факторов, которые исключают или значительно уменьшают горизонтальные деформации, расчётный размыв на заданный период предлагаем принимать равным нулю, либо относительно небольшим.

- В случае, когда нет картографических и полевых данных, и деформации не ясны, рекомендуем принимать максимально возможные размывы в пределах ограничивающих факторов, например, по ширине дна долины, по ширине поймы или по другим морфологическим признакам.

Более подробное описание рекомендуемых нами способов представлено в статье: Кондратьев А.Н., Поваляев Н.Р. Обзор способов обоснования профиля предельного размыва речных русел // Гидротехника. 2024. № 1. С. 15–21.

Предложенная выше система способов применима независимо от типов русловых процессов, в том числе при недостатке и отсутствии

исходных материалов, в то время как существующие нормативные документы, а СТО, как один из последних, не предлагают способов оценки горизонтальных (плановых) деформаций речных русел для всего многообразия ситуаций (в том числе при отсутствии данных), а приведённые в нормативах способы вызывают вопросы для практического применения в рамках ИГМИ.

С.В. Копытов

*Пермский государственный национальный
исследовательский университет,
Пермский гуманитарно-педагогический университет*

ЭТАПЫ ОСАДКОНАКОПЛЕНИЯ ДОННЫХ ОТЛОЖЕНИЙ ОЗЕР КАМСКО-КЕЛЬТМИНСКОЙ НИЗМЕННОСТИ (ПЕРМСКОЕ ПРЕДУРАЛЬЕ) И ИХ СВЯЗЬ С ЭРОЗИОННО- АККУМУЛЯТИВНЫМИ ПРОЦЕССАМИ НА ВОДОСБОРЕ²³

Выявление флуктуаций накопления органического вещества, granulometric composition, magnetic susceptibility in the sediments of lakes in the late glacial and Holocene allows to detect relatively short-term or weakly expressed changes in paleogeographic conditions. The ratio of terrigenous and organic matter, clayey, alveolitic and sandy fractions and their change over time allow to reconstruct periods of maximum bioproductivity of aquatic ecosystems and periods of its decline, which are closely related to the fluctuations of a number of climatic parameters and the change in the balance of erosion and accumulation on the watershed.

В рамках исследований впервые для южной части Камско-Вычегодского водораздела на основе комплексных исследований донных отложений, вскрытых в керне озер Новожилово и Чёлвинское, получена высокоразрешающая запись природных событий, охватывающая отрезок позднеледниковья и первую половину голоцена (14150–5039 кал. л. н.), а также определена последовательность периодов осадконакопления.

В трех колонках донных отложений, отобранных в озерах Новожилово и Чёлвинское, было проанализировано содержание органического вещества методом измерения потерь при прокаливании (ППП),

²³ Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 23–68–10023, <https://rscf.ru/project/23-68-10023/>.

определен гранулометрический состав, выявлена динамика магнитной восприимчивости. Привязка к календарной шкале времени осуществлялась при помощи радиоуглеродного датирования. Модели роста осадка (возрастные модели) построены на основе радиоуглеродных датировок байесовским методом в пакете *Васон* среды R 4.3.2. Помимо модели «глубина–возраст» построены графики темпов (скорости) осадконакопления (см/тыс. лет) в зависимости от глубины и календарного возраста. Мощность колонок составила от 2,8 до 5,2 м.

Нижняя часть вскрытых скважиной NZH-1 отложений формировалась в позднеледниковье, скважины NZH-2 и CHOL-1 охватывают весь голоцен. На основании возрастных моделей можно утверждать, что самые высокие темпы аккумуляции отложений в позднеледниковье характерны для глубин 7,7–8,2 м в скважине NZH-1. Скорость 120–130 см/тыс. лет была характерна для периода 14000–12500 кал. л. н. Самые высокие скорости аккумуляции для раннего голоцена (10000–9400 кал. л. н.) были характерны для скважины NZH-2 – примерно 100–120 см/тыс. лет, а также для позднего голоцена (порядка 150–180 см/тыс. лет). Самые низкие скорости накопления были характерны для глубин 3,6–4,3 м – 1 тысяча лет уходила на формирование менее 50 см осадка.

На основании полученных данных можно сделать предварительный вывод об этапности заполнения котловины озера. Началу формирования озера, по-видимому, предшествовал этап преимущественно аллювиального морфолитогенеза, предположительно времени позднего пленигляциала. На это указывают не только значительное содержание песчаной фракции и медианный диаметр частиц до 200 мкм на глубине 8,2 м. Средние значения ППП были низкими и составили 14%, что соответствует органоминеральному осадку и озерно-аллювиальным условиям. Граница между периодами 1 и 2 – эрозивная, с резким повышением значений содержания органического вещества, что соответствует завершению этапа активного размыва отложений. Темпы аккумуляции на глубине 8–8,2 м слоев песка, торфа, сапропеля мощностью 1–3 см были очень интенсивными.

Первый этап озерно-аллювиального (переходного) осадконакопления пришёлся на 14150–13500 кал. л. н. (глубины 8–8,2 м) и охватывал межстадиал бёллинг-аллерёд.

Второй этап озерно-аллювиального осадконакопления характеризовался увеличением содержания органического вещества на глубине 7,7–8 м (13500–12420 кал. л. н.), что свидетельствовало о росте биопродуктивности сформировавшегося водоема. Содержание песчаной

фракции по сравнению с нижележащими слоями уменьшилось, а алевритистой, наоборот, увеличилось.

Третий этап озерно-аллювиального осадконакопления относится к позднему дриасу – раннему голоцену (12420–10700 кал. л.н., глубины 7–7.7 м). Этап характеризовался снижением аллювиального приноса.

Начальный этап преимущественно озерного осадконакопления (10700–9730 кал. л. н., глубины 6.5–7 м) характеризовался преобладанием органического осадка по данным измерения магнитной восприимчивости.

Второй этап озерного осадконакопления. Этап выделяется во всех трех колонках. В это время происходит небольшое снижение показателей ППП – средние значения падают до 80% в колонке NZH-1, до 10% и 42% в кернах NZH-2 и CHOL-1 соответственно. Этап продлился 9730–8800 кал. л. н. с накоплением плотных сапропелей со скоростями около 80 см/тыс. лет в скважине NZH-2.

Третий этап озерного осадконакопления (9730–5039 кал. л. н.) характеризовался стабильно высокими показателями накопления органического вещества. В трех колонках средние значения ППП составляют не менее 93%. На заключительном этапе развития озеро начало переживать стадию «зрелости» с относительным выравниванием поверхности дна водоема.

В.Н. Коротаев

*Московский государственный университет
имени М.В. Ломоносова*

АТЛАС «ЭСТУАРИИ И ДЕЛЬТЫ КРУПНЫХ РЕК МИРА»²⁴

За последние 10 лет группа сотрудников Географического факультета МГУ имени М.В. Ломоносова, Института океанологии и имени П.П. Ширшова и Института водных проблем РАН под научным руководством доктора географических наук В.Н. Коротаева составила и издала четыре специализированных научно-справочных атласов: 1) Атлас русловой морфодинамики Нижней Волги (Волгоград-Астрахань). М.: Изд-во Моск. ун-та, 2009. 232 с.; 2) Атлас дельты Волги: геоморфология, русловая и береговая морфодинамика. М.: АПР,

²⁴ Выполнена по ГЗ научно-исследовательской лаборатории эрозии почв и русловых процессов им. Н.И. Маккавеева МГУ имени М.В. Ломоносова.

2015. 128 с.; 3) Атлас: морфодинамика устьевых систем крупных рек арктического побережья России. М.: АПРА, 2017. 148 с.; 4) Атлас геоморфологии устьевых систем крупных и малых рек Юга и Дальнего Востока России. АПР, 2020. 150 с. В последние два года (2023–2024) составлены, но пока не изданы еще два атласа: 1) Атлас геоморфологии морских берегов и устьевых систем рек Чукотки и Корякского нагорья и 2) Атлас эстуариев и дельт крупных рек Мира: гидрология, геоморфология и история формирования.

Составители атласов долгое время занимались исследованием гидролого-морфологических процессов и геоморфологии устьев крупных рек. Были опубликованы многочисленные статьи, десятки монографий и несколько атласов-монографий. Многолетние экспедиционные исследования в устьях арктических и южных дельт позволили осознать, что изменения уровня морей и океана и режима стока рек сильно влияют на динамику побережий. Они способствуют достаточно быстрому преобразованию береговой зоны: размыву или нарастанию побережий, затоплению суши или осушению дна. Незначительное потепление климата может привести к полному или частичному распаду ледниковых щитов, что повлечет за собой катастрофическое повышение уровня океана и затопление многих густонаселенных прибрежных территорий. В этих условиях важнейшей задачей становится оценка реальной уязвимости береговой зоны и речных дельт от действия естественных климатических и антропогенных факторов. Освоение прибрежных территорий связано с определенным риском, который может быть сведен к минимальному ущербу за счет научно обоснованной системы исследования долговременной тенденции перемещения уровня океана и прогнозирования будущих миграций береговой линии.

Содержание Атласа «Эстуарии и дельта крупных рек Мира» состоит из Предисловия, где дается краткий обзор терминов и определений по устьевой гидрологии и описания природного фона образования эстуариев и речных дельт (30 стр.). Большая часть работы (около 300 стр.) отводится под собственно Атлас, который рассматривает основные морфодинамические типы устьевых систем (эстуарий, дельта выполнения долинного залива, дельта выдвигания на открытом взморье, дельта выполнения устьевой лагуны и дельта выполнения лимана) на основе космических снимков и геоморфологических карт с сопроводительным научным текстом (общие физико-географические сведения, структура гидрографической сети дельты или эстуария, гидрологический режим реки и эстуария, морфодинамика дельты и история ее формирования).

Впервые в виде атласа обобщен огромный натурный и литературный материал по гидрологии, геологии, геоморфологии, русловой и береговой морфодинамике устьевых систем крупных рек Мира, который скомпонован по материкам: 1) Россия: Онега, Мезень-Кулой, Северная Двина, Печора, Обь, Енисей, Хатанга, Анабар, Лена, Яна, Индигирка, Колыма, Анадырь, Амур, Пенжина, Дон, Кубань, Волга, Терек, Днепр; 2) Зарубежная Европа: Дунай, Днестр, Западная Двина, Неман, Висла, Темза, Одер, Эльба, Везер, Эмс, Шельда, Сена, Луара, Гаронна (Жиронда), Гвадалквивир, Тахо (Тежу), Эбро, По, Рона, Тибр; 3) Северная Америка: Маккензи, Юкон, Колумбия, Миссисипи; 4) Южная Америка: Ориноко, Амазонка, Парана (Ла-Плата); 5) Африка: Нил, Сенегал, Нигер, Конго, Лимпопо, Замбези; 6) Зарубежная Азия: Амударья, Или, Хуанхэ, Янцзы, Цянтанцзян, Чжуцзян, Меконг, Ганг-Брахмапутра, Инд, Иравади, Шатт-эль-Араб; 7) Австралия: Муррей.

Атлас «Эстуарии и дельты крупных рек Мира» завершается Заключением, где дается описание современной динамики и прогноз развития устьевых систем (10 стр.). Современная береговая зона, в том числе и дельтовые побережья, большинства окраинных и внутренних морей – это территория с экономически развитыми и густо населенными районами, где резкие изменения окружающей среды обычно превосходят способность береговой зоны адаптироваться к новым условиям. За последнее десятилетие в крупных дельтах стал проявляться довольно ощутимый ущерб от вторжения морских вод, подтопления и эрозии их морского края за счет увеличения высоты приливов и частоты тропических циклонов. Из 18 наиболее крупных дельт мира, имеющих площадь дельтовой равнины более 10 тыс. км², десять таких дельт расположены в береговой зоне Евразии. При оценке степени уязвимости речных дельт от влияния климатических факторов и человеческой деятельности важным показателем становится плотность населения в устьях рек, где может быть сконцентрировано до 50% всех проживающих в береговой зоне. Продолжающееся глобальное потепление климата и медленный подъем уровня Мирового океана приведет к дальнейшему замедлению процессов современного дельтообразования, к увеличению дальности проникновения морских вод в устья рек, подтоплению приморской зоны на расстоянии 15–30 км, активизации процессов абразии и разрушению дельтовых берегов. В этих условиях важнейшей задачей становится оценка реальной уязвимости береговой зоны речных дельт от действия естественных климатических и антропогенных факторов.

А.А. Куракова

Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова

**ГОРИЗОНТАЛЬНЫЕ РУСЛОВЫЕ ДЕФОРМАЦИИ
НА РЕКАХ ЗАПАДНОЙ СИБИРИ:
РАСПРОСТРАНЕНИЕ, ФАКТОРЫ, ОЦЕНКА²⁵**

Реки и приречные территории издавна активно использовались для расселения и хозяйственной деятельности человека. В настоящее время на поймах крупнейших рек проживает почти 3 млрд человек (Best, 2019). Использование рек и их ресурсы в качестве источника питания, для добычи полезных ископаемых, судоходства, выработки электроэнергии, в сельском хозяйстве и т.д., приводит к изменению их режима и нарушению естественных процессов, становятся причиной или катализатором проявлений опасных русловых процессов.

Доступ к разновременным космическим снимкам и постоянно появляющиеся и совершенствующиеся методы их обработки с помощью ГИС-технологий дают широкие возможности для проведения ретроспективного анализа русловых деформаций на средних, больших и крупнейших реках, получения большого объема данных об их перестроениях за многолетний период, получения количественных и качественных характеристик горизонтальных деформаций.

В исследовании были рассмотрены средние, большие и крупнейшие равнинные реки Западной Сибири: Обь (от слияния Бии и Катунин до г. Салехарда), Иртыш (от гос. границы до слияния с Обью), Надым (208-0 км), Пур (395-0 км), Таз (405-0 км) и их притоки – Томь (379-0 км), Чулым (400-0 км), Кеть (556-0 км), Тым (311-0 км), Вах (771-0 км), Тромъеган (389-0 км), Аган (373-0 км), Лямин (277-0 км), Назым (91-0 км), Казым (444-0 км), Куноват (49-0 км), Полуй (397-0 км), Парабель (246-0 км), Васюган (470-0 км), Большой Юган (294-0 км), Северная Сосьва (153-0 км), Демьянка (311-0 км), Ишим (224-0 км), Тобол (434-0 км), Тура (659-0 км), Тавда (730-0 км), Конда (735-0 км), Хейгияха (89-0 км), Левая Хетта (88-0 км), Евояха (96-0 км), Русская (104-0 км). Для всех рек характерно широкое распространение размываемых берегов, что определяется свободными условиями развития русловых деформаций практически на всей рассматриваемой террито-

²⁵ Исследование выполнено при финансовой поддержке Российского научного фонда (проект № 23-77-01006).

рии и абсолютным преобладанием рыхлых, легкоразмываемых отложений, слагающих берега рек).

Для средних и большинства больших рек характерны относительно невысокие скорости размыва берегов (не более 3 м/год), на крупнейших (Обь и Иртыш) и в низовьях некоторых больших рек (Томь, Чулым, Тобол) темпы отступления берегов возрастают, достигая иногда 7 м/год и более.

В целом для Западной Сибири отмечается снижение скоростей размыва берегов с запада и юго-востока к северу и Обь-Иртышскому междуречью. Это связано с общим увеличением в этих направлениях естественной зарегулированности стока болотами и озерами, появлением вечной мерзлоты в северных районах, а также изменением внутригодового распределения стока (источника и сезона) ввиду смены режима температуры, осадков и изменением гидрогеологического строения территории.

Крупнейшие реки бассейна – Обь и Иртыш, являясь полизональными, протекают через несколько ландшафтно-гидрологических районов и характеризуются широкими диапазонами скоростей размыва берегов. Это связано с тем, что наравне с изменяющимися физико-географическими условиями формирования стока по длине рек большую роль играют такие факторы как рассредоточение стока в рукавах разветвлений, влияние коренных берегов, распространение типов русла и морфологически однородных участков, параметры их форм и т.д.

Ландшафтно-гидрологическое районирование можно использовать не только для исследования русловых процессов и их опасных проявлений, но и для решения водохозяйственных и иных практических задач.

Размывы берегов являются опасным проявлением русловых процессов, которые могут привести к аварийным ситуациям и вывести из эксплуатационного состояния коммуникации, инженерные сооружения, хозяйственные и другие объекты, расположенные на берегах и в руслах рек. Особенно большое значение оценка размывов берегов рек имеет для Западной Сибири как важнейшего нефтегазового региона страны, где отступления берегов встречаются повсеместно.

Ф.Н. Лисецкий, Е.Я. Зеленская
*Белгородский государственный национальный
исследовательский университет*

СОВМЕСТНОЕ ВЛИЯНИЕ АГРЕГАТНОГО СОСТАВА И ГУМУСИРОВАННОСТИ ПОЧВ НА ИХ ЭРОДИРУЕМОСТЬ²⁶

Активизация исследований по оценке и изменениям запасов органического углерода ($C_{орг}$) почв усиливает интерес к углероддепонирующим механизмам почвенных агрегатов. Это позволяет вновь обратиться к задаче отражения сложных взаимодействий элементарных почвенных процессов на внутригоризонтном уровне в оценке эродированности почв. Этап экспериментального и аналитического изучения многофакторной обусловленности противозерозионной устойчивости почв (и ее обратной величины – эродированности почв), который предшествовал переходу к формализованному выражению эродированности почвы от почвенно-генетических факторов в виде K -фактора в уравнении USLE, определил довольно широкий их перечень. Путем обобщения можно выделить следующие основные группы показателей: физические твердофазной части (гранулометрический и микроагрегатный состав, структура почвы, степень каменистости поверхности почвы и ее верхнего слоя), водно-физические (водопрочность агрегатов, водопроницаемость почвы), физико-химические (содержание $ОВ$, доля Ca , K , Na в ППК).

В последние 50 лет при значительном прогрессе в обосновании ряда ключевых параметров эрозионных моделей (LS , C -фактора) фундаментально фактор эродированности (смываемости) почв опирается на первоначальный выбор параметров ее определяющих. В 1970–90-е гг. было предложено более 10 формул для K -фактора. Модифицированная формула расчета K -фактора 2023 г. включает 6 составляющих, однако это те же параметры (3 градации гранулометрического состава и содержание $ОВ$), что и традиционное уравнение K -фактора 1971 г. в той части, которая представлена левой половиной известной номограммы определения смываемости почв. В этой связи неудивительно, что в результате поиска связи величин K -фактора с различными (порядка 10) физико-химическими параметрами, включая содержание $C_{орг}$, была установлена положительная корреляция лишь с содержанием частиц 2–50 мкм и водопроницаемостью, и отрицательная – с содержанием

²⁶ Выполнено при финансовой поддержке РФФ (проект № 23–17–00169).

частиц 0,05–2 мм. Агрегирующая эффективность гумуса в значимой степени зависит от гранулометрического состава почв, что находит отражение в их представленности в формулах расчета K -фактора. По современным представлениям, в составе ОВ гумус – это особая его часть, по большей части депонированная во фракциях 50–2 мкм и < 2 мкм, и потому называемая «минерально-ассоциированным органическим веществом».

При увеличении степени эродированности почв, когда гранулометрический состав, чаще всего, остается прежним, усиливается роль водно-физических и физико-химических факторов, что снижает точность оценки эродированности почв стандартными методами. При условии, что почва по 4-м и 6 кодам структуры и водопроницаемости близка к норме, допускается использовать лишь левую часть номограммы определения K -фактора, основанной на содержании ОВ и гранулометрических фракций, соотношение которых сохраняется у эродированных почв. Это обуславливает расхождение в оценках, так как экспериментально установлено, что относительная смыаемость средне- и сильноэродированных почв в 2–3(3,5) раза больше по сравнению с несмытыми почвами. Обобщенные данные о снижении содержания ОВ и урожайности культур на почвах трех категорий смытости показывают, что величины поправочных коэффициентов не идентичны, так как в эффективном плодородии почв отражается вклад иных, чем ОВ, свойств, прямо или косвенно влияющих на эродированность.

Классы структуры для номограммы определения K -фактора для USLE определяются по содержанию водопрочных агрегатов > 0,25 мм. По информативности этот показатель уступает величине средневзвешенного диаметра водоустойчивых агрегатов, который можно получить по тем же исходным данным. Однако только в нескольких формулах предложено учитывать сумму произведений массовой доли и среднего диаметра частиц.

Исследования показали, что у лесостепных целинных и старозалежных почв, структурные отдельности диаметром 1–2 и 2–3 мм из горизонта А незначительно отличаются по содержанию ОВ: 8,05 и 7,88% соответственно, но по водопрочности агрегатов различия более существенны: 81 и 76%. Между водопрочностью агрегатов (в диапазоне 52–95%) и содержанием в них $C_{орг}$ (2–7,4%) устанавливается линейная зависимость и тесная корреляционная связь при раздельном анализе агрегатов 1–2 и 2–3 мм, причем она лучше проявляется в агрегатах большей размерности, если судить по различиям в достоверности аппроксимации: $R^2=0,784$ (2–3 мм) и $R^2=0,728$ (1–2 мм). Путем

совместного анализа зависимости водопрочности агрегатов диаметром от 1 до 3 мм ($W_{1-3 \text{ мм}}$) от содержания $C_{\text{орг}}$ получено уравнение:

$W_{(1-3 \text{ мм})} = 25,776 \cdot \ln(C_{\text{орг}}) + 41,322$ ($r = 0,886$), которое показывает, что при увеличении $C_{\text{орг}}$ в указанном выше диапазоне, т.е. в 3,7 раз, величина $W_{(1-3 \text{ мм})}$ возрастает от 59 до 93% (в 1,6 раз).

Широкий спектр показателей твердой фазы пахотных почв (структурности, водоустойчивости), может адекватно отражать влияние агротехнологий. Однако анализ устойчивости почв при искусственном дождевании показал, что именно микроагрегированность, обусловленная генетическими особенностями почв, объективно отражает их смываемость. Так как коэффициент микроагрегированности основан на учете частиц и агрегатов диаметром от 50 до 250 мкм, то для целей эрозиоведения перспективно опираться на более низкий в иерархии уровень структурной организации почвы, чем макро- и мезоагрегатный состав. Агрегирующая эффективность ОВ на микроагрегатном уровне становится выраженной при его содержании $> 2,5\%$, начиная с которого благодаря гуминовым веществам начинает проявляться клеящий эффект в агрегации минеральных коллоидных частиц.

Г.В. Лобанов¹, Г.В. Чекин²

*¹Брянский государственный университет
имени академика И.Г. Петровского,*

²Брянский государственный аграрный университет

ГРАНУЛОМЕТРИЧЕСКИЙ СОСТАВ ПОЙМЕННЫХ ОТЛОЖЕНИЙ ВЕРХНЕГО И СРЕДНЕГО ТЕЧЕНИЯ р. ДЕСНА И ФАКТОРЫ ЕГО РАЗНООБРАЗИЯ

Поймы крупных рек Центральной России представляют собой ценные, но сложные в использовании сельскохозяйственные угодья. Один из главных аспектов сложности – высокое ландшафтное разнообразие пойм. На коротком расстоянии, нередко в десятки метров, сменяются гранулометрический состав отложений, особенности микрорельефа, условия увлажнения, почвы и тип растительности. На фоне высокого локального разнообразия пойменных ландшафтов общие закономерности изменения их компонентов не всегда прослеживаются явно. Вместе с тем такие закономерности представляют большой интерес как основа природно-хозяйственного районирования пойм.

Современная (голоценовая) пойма р. Десна в верхнем и среднем течении (левый приток р. Днепр) отличается большим морфологическим разнообразием. Наряду с ожидаемым, закономерным изменением компонентов ландшафта от русла к склонам долины, морфологически обособлены однородные участки пойм протяжённостью по течению от нескольких до первых десятков километров. Различия строения поймы обусловлены спецификой развития и строения долины и в, частности, особенностями современных русловых процессов. На сравнительно коротком расстоянии гидрологические характеристики потока меняются мало, поэтому одним из главных факторов дифференциации являются характеристики аллювиальных отложений (гранулометрический состав и обусловленные им прочностные свойства грунта).

Для выявления и оценки различий гранулометрического состава отложений морфологически обособленных участков поймы верхней и средней Десны обработано более 100 проб грунта. Пробы отбирались на центральной пойме, поскольку строение её обширных массивов наилучшим образом характеризует баланс наносов разных фракций в длительном промежутке времени (столетия и тысячелетия). В границах морфологически однородных участков отбиралось 2–3, реже большее количество проб.

По результатам опробования установлено, что в составе пойменных отложений преобладают фракции мелкого песка (в среднем 31%) и крупной пыли (в среднем 36%). Однако в зависимости от участка, доля фракций значительно отклоняется от средних значений. Прежде всего – соотношением преобладающих фракций (от почти равной доли, до многократной разницы), затем – долей сравнительно более редких фракций крупного песка и глины (от долей процента до более 10%). Сведения о гранулометрическом составе участков поймы (по результатам опробования) приведены в таблице.

Различия в соотношении фракций позволяет полагать, что морфологически обособленные участки поймы имеют разную литогенную основу. Следует заметить, что различия могут быть обоснованы и неодинаковым положением точек отбора по отношению к руслу, но неоднократное опробование уменьшает неопределённость результатов.

Общее направление изменений гранулометрического состава пойменных отложений не прослеживается. Несмотря на значительную протяжённость района исследования – более 300 км, различия соседних участков более существенны, чем между верхним и средним течением. Устойчивый сдвиг к более крупным или более мелким

фракциям часто определяется шириной дна долины. Участки с относительно высокой долей глинистого материала и пыли обычно соответствуют широким невысоким поймам, на которых в половодье откладывается и сохраняется от последующего размыва мелкий материал. Напротив, большая доля крупного и среднего песка соответствует узостям долины, на которых поток половодья выносит мелкие частицы и обеспечивает сдвиг гранулометрического состава в сторону более крупных фракций.

Гранулометрический состав отложений
морфологически обособленных участков поймы р. Десна
в верхнем и среднем течении

Номер участка	Содержание фракций (мм), %				Расстояние от истока рек, км
	> 0.25	0.25–0.05	0.05–0.01	< 0.01	
1	10.9	41.5	31.6	4.1	110.8–119.5
2	1.2	62.3	21.5	3.0	119.5–125.2
3	27.6	24.6	19.0	6.0	125.2–153.6
4	1.1	26.1	38.9	6.8	153.6–160.9
5	2.1	31.9	34.2	6.6	160.9–168.9
6	1.5	13.8	36.5	12.5	168.9–182.3
7	0.7	6.6	50.8	11.5	193.4–199.1
8	14.3	22.4	33.3	6.7	199.1–205.9
9	0.6	39.2	40.3	4.7	205.9–215.1
10	3.6	16.2	35.9	9.3	215.1–222.6
11	6.3	47.6	34.0	2.9	222.6–230.3
12	3.6	39.3	25.5	6.1	230.3–242.9
13	0.4	14.3	57.7	5.2	247.9–252.9
14	4.3	31.3	40.1	5.7	272.6–278.3
15	1.9	25.4	38.5	5.9	278.3–290.1
16	0.8	32.4	32.1	6.7	295.9–308.4
17	3.0	49.4	35.3	1.7	373.7–380.2
18	2.8	31.8	39.7	5.2	445.4–456.5

На особенности гранулометрического состава в некоторых случаях влияет поступление материала с водосбора, в частности вынос глинистого материала на пойму малыми реками и крупными балками.

Таким образом, особенности пойменного аллювия, хорошо согласуются с особенностями строения долины, морфодинамики русла и могут использоваться как основа природно-хозяйственного районирования пойм.

Р.А. Медведева, О.П. Ермолаев
Казанский (Приволжский) федеральный университет

**ДИНАМИКА РАЗВИТИЯ ОВРАГОВ
В ЛЕСОСТЕПНЫХ ЛАНДШАФТАХ
БАССЕЙНА РЕКИ ОБИ АЛТАЙСКОГО КРАЯ²⁷**

Изучение овражной эрозии с использованием разновременных космических снимков позволяет получать данные о пространственной локализации оврагов и их динамики развития на большие площади без значительных материальных затрат на организацию исследования.

Территория исследования находится на левом берегу реки Оби, в пределах двух административных районов Алтайского края: на севере – Топчихинского и Усть-Пристанского районов – на юге, районов, находящихся в пределах лесостепной зоны. Средние абсолютные высоты колеблются от 200 до 300 м. Рельеф представляет собой эолово-аллювиальную (лёссовую) пологоувалистую и увалистую равнину. Придолинные склоны, расчлененные оврагами, имеют крутизну 3–6° и более. Тектоническое строение территории определяет ее положение в пределах осадочного чехла в области докайнозойской складчатости. Водораздельные пространства сложены эолово-аллювиальными отложениями (лёссовидные суглинки, илы, глины). Среднегодовая температура воздуха +1 ... +1,5°C, в январе -18°C, количество твердых осадков выпадает от 100 до 150 мм. Летом средняя температура воздуха составляет +19°C, выпадает 175 мм осадков. Средний годовой сток – 50–100 мм. Лесостепные ландшафты представлены колочно-полевыми с пахотными угодьями на черноземах обыкновенных и выщелоченных в сочетании с береговыми колками. Потенциальная подверженность эрозии территории определяется значительным плоскостным смывом и сильным линейным размывом. По данным на 1991 г. территория, занятая оврагами, составляла 20–30% от общей площади административных районов (Топчихинский и Усть-Пристанский районы соответственно). С целью охраны и поддержания плодородия земель проводились следующие мероприятия: посадка приовражных и водорегулирующих лесных полос; террасирование склонов; безотвальная вспашка; введение многолетних трав в севооборот, а также ограничение посевов пропашных культур.

²⁷ Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда (проект № 22–17–00025).

Для определения временной динамики линейного и площадного развития оврагов были выбраны ключевые участки, в пределах которых для каждой овражной формы был определен линейный и площадной прирост по двум разновременным (2002 и 2022 г.) космическим снимкам «Google».

Выбор участков обусловлен наличием: 1) разновременных снимков высокого разрешения; 2) оврагов с визуальными признаками активного развития (четко выраженный тальвег и вершина, обнаженные (незадернованные) склоны, V-образный поперечный профиль); 3) пашни в пределах выбранного участка.

Для привязки космического снимка (растра) 2002 г. был взят снимок 2022 г. с географической привязкой, полученный из программы «SAS.Планета». После регистрации растров в программе MapInfo оцифровывались бровка и тальвег каждого оврага. Далее вычислялись линейный и площадной приросты эрозионной формы.

В результате была создана геобазы данных для 40 оврагов, средняя длина которых в настоящее время составляет 152 м (с максимальным значением 748 м и минимальным 17 м). Средняя ширина изученных оврагов 22 м, при этом максимум составляет 60 м, а минимум – 6 м. Средние значения линейного и площадного прироста оврагов по всем рассмотренным ключевым участкам составили 2,5 м/год и 81 м²/год соответственно. Учитывая значительный диапазон морфометрических характеристик овражных форм, для сравнения темпов их роста были определены доли линейного и площадного прироста к длине и площади оврагов. Максимальное значение доли линейного прироста оврага в год к его длине составило 15%, а площадного – 17%. В среднем, доля линейного прироста в год к длине оврага на изучаемой территории – 2%, а площадного – 3%. Нулевой линейный и площадной приросты за весь период исследования из всех изученных оврагов имеют 10 и 2,5% оврагов соответственно.

Полученные результаты хорошо согласуются с данными Рыжова Ю.В.. Овраги на юге Восточной Сибири также характеризуются большими различиями в темпах линейного прироста (0,1–220 м/год), а средние многолетние темпы роста их вершин составляют 0,5–3,0 м/год. Однако при сравнении данных с лесостепной зоной Европейской части России можно отметить значительные различия исследуемых показателей. Средние значения линейного и площадного прироста оврагов, например, на территории Республики Татарстан и Ульяновской области не превышают 0,5 м/год и 13 м²/год соответственно.

Причины более активного развития овражной эрозии в лесостепных ландшафтах Алтайского края – это наличие легкоразмываемых

лёссовидных отложений в сочетании с высокой долей распаханности данной территории (61%). Также визуально отмечена нехватка и недостаточная эффективность противоэрозионных мероприятий. Территории пахотных земель вблизи оврагов с высокими значениями линейного и площадного прироста требуют особого внимания и организации геоэкологического мониторинга для предотвращения дальнейшей деградации почв и сельскохозяйственных угодий.

Н.Н. Назаров

Тихоокеанский институт географии ДВО РАН

МОРСКИЕ ПРИЛИВЫ КАК ФАКТОР ФОРМИРОВАНИЯ ДОЛИННЫХ ГЕОСИСТЕМ

Особенности развития морфолитогенеза в устьевых областях приливных рек являются вопросом, изучение которого сегодня становится как никогда актуальным и требующим к себе внимания со стороны представителей различных направлений географической науки. Устья рек на протяжении многих столетий являлись и сейчас являются местом концентрации как небольших поселений, так и крупнейших городов на Земле. В связи с повышением уровня Мирового океана именно устьевые области рек (УОР), включающие в себя и дельты, становятся геосистемами, в которых воздействие приливо-отливных процессов начинает отмечаться на участках рек, ранее им не подверженных.

Изучение проявлений геоморфологических процессов, участвующих в развитии речных русел и прирусловых геосистем в УОР, показало, что аккумуляция наносов в районе их верхних границ у части небольших и даже средних рек является важнейшим рельефообразующим процессом пойменно-русловых комплексов. Периодические снижения скорости течения до нулевых значений в этой части русла реки приводят к осадконакоплению части влекомых наносов и, одновременно, осаждению взвешенных наносов, перемещаемых вверх по руслу в фазу наступления большой воды. В итоге формируется «барьерное» аккумулятивное тело, которое в своем максимальном по активности проявлении может приводить к образованию долинных геосистем барьерного типа. Например, верхняя пограничная зона УОР р. Фицрой (Северная Австралия) характеризуется развитием здесь разветвления с образованием обширных песчаных островных геосистем.

В случае активного поступления взвеси в русла рек стороны приемного водоема (эстуария) при высоких уровнях приливов у некоторых рек могут формироваться локальные непротоки речных вод. Так р. Сент-Эндрюс (северо-восток США) в 1,2 км от устьевом створа оказалась отгороженной от большей части своего русла болотным массивом с системой небольших непроточных водоемов. Выше этого болотного массива река на первых километрах представлена бочажинным руслом с признаками подпруживания. Подобное развитие геосистем *барьерного* типа, делящих русла приливных рек на участки «до» и «после» верхней границы УОР, является не самым редким случаем даже у относительно крупных рек. Прерывание постоянного водотока, теряющегося в золотых песках и болотных массивах, зафиксировано в дельте р. Колорадо (Мексика), а также в устьях некоторых других рек на территориях с аридным климатом.

А.И. Петелько

Новосильская зональная агролесомелиоративная опытная станция – филиал ФНЦ агроэкологии РАН

ЛУГОМЕЛИОРАТИВНЫЕ МЕРОПРИЯТИЯ НАДЕЖНО ЗАЩИЩАЮТ ПОЧВУ ОТ ПРОЦЕССОВ ВОДНОЙ ЭРОЗИИ²⁸

Среднерусская возвышенность характеризуется высокой степенью распаханности земель, поэтому природные кормовые угодья составляют здесь небольшие площади (около 15–18%). Они расположены в основном на эродированных склонах и днищах гидрографической сети. Изреженный травостой не может эффективно противостоять эрозионным процессам. Следует отметить, что природные сенокосы и пастбища могут выполнять стабилизирующую роль в составе агроландшафтов только в том случае, когда на них будет находиться плотный высокопродуктивный травостой.

В зависимости от ботанического состава травостоя и от микрорельефа может применяться поверхностное или коренное улучшение этих угодий. Поверхностное улучшение проводят на природных кормовых угодьях, не пораженных оврагами и промоинами, с хорошим

²⁸ Выполнено по госзаданию ФНЦ агроэкологии РАН, проект № FNFE-2022–0012.

ботаническим составом травостоя (30–50% ценных трав). Сюда относятся все хозяйственные мероприятия, направленные на повышение продуктивности природного травостоя. Для этого применяют уничтожение кочек, борьбу с сорными, вредными и ядовитыми растениями, регулирование водно-воздушного режима и минерального питания, частичный подсев трав на отдельных участках с сильно изреженным травостоем.

Все эти работы не требуют больших капитальных затрат и могут выполняться своими силами в хозяйствах любых форм собственности, в том числе и фермерских. Если есть возможность улучшить травостой на естественных кормовых угодьях без его замены на искусственный, то следует отдать предпочтение более дешевому и экологически безопасному поверхностному улучшению, которое дает возможность сохранить природное биоразнообразие.

Коренное улучшение предусматривает внедрение комплекса работ, направленных на полное уничтожение естественного травостоя и на создание новых агрофитоценозов. Это наиболее радикальный способ повышения продуктивности полностью выродившихся кормовых угодий, хотя и очень дорогостоящий. Перед началом коренного улучшения на пораженных оврагами и промоинами участках балок делают выполаживание и рекультивацию с последующей засыпкой этих участков плодородным слоем почвы. Технология выполаживания действующих оврагов разработана на Новосильской ЗАГЛОС и во ВНИИ земледелия и защиты почв от эрозии.

Эта работа выполняется в основном с целью создания условий для эффективного использования машин и механизмов на овражно-балочных системах. Ее можно проводить только после строительства водозадерживающих и водоотводящих валов в вершинах действующих оврагов, чтобы сброс талых и ливневых вод попадал на участки, которые не опасны в эрозионном отношении. Лучше всех для этой цели подходят ложбины с хорошим природным травостоем, на которых проводят поверхностное улучшение. Если естественные водотоки отсутствуют, то делают специальное залужение ложбин на эродированных землях.

После завершения этой работы проводят разделку почвы и залужение земель различными травосмесями с двойным прикатыванием (до и после посева). Виды трав и травосмеси в значительной степени зависят от экспозиции склонов и от будущего использования травостоя. В последних рекомендациях для лесостепной и степной зон (1986 г.), в разработке которых принимали участие специалисты 13 научных учреждений под руководством ВНИИ земледелия и защиты почв от

эрозии, для залужения северных склонов при сенокосном использовании предлагалась следующая травосмесь (кг/га семян 1 класса): клевер луговой (6–8); люцерна синегибридная (6–8); кострец безостый (10–12); ежа сборная (8–10) и тимофеевка луговая (5–6). Для южных склонов рекомендовалась такая травосмесь: люцерна синегибридная (5–6); эспарцет песчаный (30–40); кострец безостый (10–12); овсяница луговая (8–10). В последние годы большую популярность получил козлятник восточный (корнеотприсковый бобовый вид), который также можно включать в травосмеси для залужения овражно-балочных земель при коренном улучшении.

При пастбищном использовании травостоя ВНИИ кормов (Московская область) рекомендует для фермерских хозяйств три вида травосмесей (кг/га семян 1 класса). В раннеспелую включают ежу сборную (8–10), овсяницу луговую (5–6) и тимофеевку луговую (3–4); итого 16–20 кг/га. Для среднеспелой травосмеси рекомендуются следующие виды: клевер луговой (5–6), люцерна пестрогибридная (5–6), овсяница луговая (6–8) и кострец безостый (10–12); итого 22–30 кг/га. При этом более высокие нормы высева целесообразно использовать для слабокультуренных почв и при благоприятных условиях залужения (Кутузова А.А., Зотов А.А. и др., 1993).

При наличии семян для пастбищного использования травостоя очень перспективны также клевер ползучий, лядвенец рогатый, мятлик луговой, лисохвост луговой, овсяница красная и райграс пастбищный.

Коренное улучшение по сравнению с поверхностным способствует значительному возрастанию материальных и финансовых затрат. Оно приводит также к обеднению биоразнообразия, так как с помощью любых искусственных травосмесей не удастся создать такой богатый видовой состав, который характерен для хороших луговых степей среднерусской возвышенности. Кроме того, улучшенные коренным способом участки фактически превращаются в искусственные агрофитоценозы, которые через определенное число лет будут требовать новой разделки почвы и перезалужения.

После проведения поверхностного или коренного улучшения удастся сформировать более продуктивный и плотный травостой, который хорошо противостоит эрозионным процессам. В зависимости от хозяйственных потребностей может применяться сенокосное, пастбищное или комбинированное использование улучшенных кормовых угодий. Злакобобовая травосмесь, применяемая в лугомелиорации, препятствует смыву и размыву почвы на склонах.

А. И. Петелько

*Новосильская зональная агролесомелиоративная опытная
станция – филиал ФНЦ агроэкологии РАН*

**ИЗУЧЕНИЕ АССОРТИМЕНТА
ДРЕВЕСНЫХ И КУСТАРНИКОВЫХ ПОРОД
ДЛЯ ЗАЩИТЫ ЛЕСНЫХ НАСАЖДЕНИЙ
В ЦЕНТРАЛЬНОЙ ЧАСТИ ЛЕСОСТЕПИ²⁹**

На Новосильской станции большое внимание уделялось подбору ассортимента древесных и кустарниковых пород на эродированных почвах. С этой целью был заложен опыт на правом берегу За отвершка Одинокского суходола. Крутизна склона 18–26°, экспозиция южная. Почва серая лесная на лессовидном суглинке, смытая. Культуры заложены посадкой лентами семян разных древесных и кустарниковых пород в ямки по задернованной почве с размещением посадочных мест 1,1×0,7 м. Ширина лент 7–10 м. Высаживались липа мелколистная, сосна обыкновенная, сосна веймутова, лиственница сибирская, ель обыкновенная, береза повислая, клен полевой, ясень обыкновенный, вяз обыкновенный, тополь бальзамический, яблоня лесная, груша лесная, ольха черная, ива козья, бузина красная, акация желтая, жимолость обыкновенная. Лучшим ростом и состоянием из всех высаженных пород характеризуется лиственница, сосна, ель, береза, тополь, показатели роста которых соответствуют Ia бонитету (таблица). Древоστοи хвойных пород к тому же имеют и высокую товарность: все деревья в них представлены только деловыми. Почти не уступает в росте быстрорастущим породам и липа, которая сильно отставала от них в первые годы жизни.

Ольха представлена исключительно суховершинными деревьями. Однако тот факт, что даже и в таком состоянии ее деревья по высоте соответствуют I бонитету, свидетельствует о том, что эта порода в более молодом возрасте характеризовалась быстрым ростом, но оказалась на хорошо дренированных берегах гидрографической сети.

Ива козья полностью выпала из состава насаждений вследствие своей недолговечности. Она характеризовалась быстрым ростом в первые годы жизни; формирует широкую, раскидистую крону, затеняя и

²⁹ Выполнено по госзаданию ФНЦ агроэкологии РАН, проект № FNFE–2022–0012.

угнетая расположенные близко другие породы. Полностью выпал и клен полевой.

Деревья вяза сильно отстали в росте от других древесных пород. Их высота находилась в пределах 4–6 м при диаметре 3–4 см. И только у днища отвершка, на опушке, имеется несколько деревьев вяза высотой 10–12 м при диаметре около 16 см. Показатели роста ясеня несколько лучше, чем у вяза, но и он уступает породам первого яруса в высоту в 2 раза, по диаметру – в 2,5–3,0 раза. Груша и яблоня сильно угнетены, имеют изреженную крону. Слабо плодоносят только опущенные деревья.

Показатели роста древесных пород на гидрографической сети.
Возраст – 52 года

Порода	Средняя высота, м	Средний диаметр, см	Количество деревьев		Бонитет
			всего, шт./га	в том числе деловые, %	
1	2	3	4	5	6
Лц	26	28,8 ± 1,84	1170	100	Ia
Св	24	31,3 ± 2,51	1120	100	Ia
С	22	21,5 ± 0,90	2000	78,9	Ia
Е	21	20,1 ± 1,40	1110	100	Ia
Б	24	21,8 ± 1,01	1600	43,2	Ia
Т	24	27,2 ± 1,94	840	100	Ia
Лп	19	20,5 ± 0,94	1290	56,8	I
Оа.ч.	20	19,7 ± 0,89	560	0	I
Яс	12	9,0 ± 1,62	430	0	III

Примечание. Таблица составлена Н.Е. Новиковым.

Кустарники представлены преимущественно порослевым поколением, сильно угнетены, но сохраняют хорошую порослевозобновительную способность.

Из всех высаженных пород хорошее естественное возобновление дали только ель и сосна веймутова.

А.Р. Полякова, С.С. Мухарамова, О.П. Ермолаев
Казанский (Приволжский) федеральный университет

**ПРОСТРАНСТВЕННО-ВРЕМЕННОЙ АНАЛИЗ
ПРЕДВЕСЕННИХ ЗАПАСОВ ВОДЫ В СНЕГЕ
КАК ФАКТОРА ТАЛОГО СМЫВА ПОЧВ
В АЗИАТСКОЙ ЧАСТИ РОССИИ³⁰**

Особого внимания заслуживает оценка эрозии почвы от талого стока в силу слабой изученности этой составляющей, отсутствия количественных данных в современный период по талому смыву почв и подверженности большей части территории РФ влиянию эрозии от стока талых вод. Интенсивность талого смыва почвы зависит от слоя склонового стока в период снеготаяния, который в свою очередь зависит от запасов воды в снеге к началу весеннего снеготаяния и может быть вычислен с использованием продукта SWE.

Для оценки запасов воды в снеге на исследуемой территории (азиатская часть РФ южнее 60-й параллели) в качестве источника информации использован продукт Snow Water Equivalent (SWE), получаемый по спутниковым данным и содержащий ежедневные оценки количества воды в снежном покрове за зимние периоды, начиная с 2006 г. по настоящее время с пространственным разрешением ~5 км. Такое пространственное разрешение на порядки выше тех данных, которые можно получить по существующей сети метеостанций. SWE доступен на сайте программы Copernicus (<https://land.copernicus.eu/global/products/swe>), реализуемой Европейским космическим агентством. Методология оценки SWE основана на сочетании спутниковых данных микроволнового радиометра с данными о высоте снежного покрова на метеорологических станциях. Продукт SWE охватывает все территории суши между 35° и 85° с. ш., за исключением горных регионов, ледников и ледниковых щитов. Этот продукт был получен (скачан) из открытого архива Copernicus и подготовлен для дальнейшей обработки и анализа. Всего 11609 растровых слоев, покрывающих исследуемую территорию и содержащих в пикселях ежедневную информацию о запасе воды в снеге для зимних сезонов 2006 – 2021 гг.; общий объем данных – около 13,5 Гб.

Разработана методика обработки и анализа этого массива информации с целью определения в пикселях территории исследования мак-

³⁰ Работа выполнена при финансовой поддержке РНФ (проект № 2217–00025).

симального значения запаса воды в снеге к началу весеннего снеготаяния в заданный год. Методика реализована с помощью авторской программы в статистической среде R. С ее использованием для каждого года в пикселях территории по ежедневным данным определено максимальное значение запаса воды в снеге к началу весеннего снеготаяния. Получена современная среднемноголетняя (для периода 2015–2021 гг.) оценка пространственного распределения этого фактора. Ее значения варьируются в интервале от 0 до 300 мм, 99% квантиль равен 220 мм, 90% значений варьируются в интервале от 51 до 192 мм, среднее значение 122 мм, медиана 121 мм.

В южной части Западно-Сибирской равнины среднемноголетние значения запасов в снеге плавно увеличиваются с юго-востока на северо-запад и достигают максимальных значений ~200 мм на Кетско-Тымской равнине. Средние значения от 60 до 90 мм наблюдаются почти вдоль всей южной границы РФ в пределах Западно-Сибирской равнины: предгорья Южного Урала (Зауралье), южная часть Западно-Сибирской равнины в пределах Челябинской области, юго-восточная часть Ишимской равнины, Барабинская низменность, Кулундинская равнина. Значения запасов воды в снеге в южной части Средне-Сибирского плоскогорья увеличиваются с юга на север с двумя эпицентрами с востока и запада вдоль 60 параллели, где они превышают 200 мм: в месте впадения р. Витим в р. Лену и в центральной части Енисейского кряжа. Средние значения от 60 до 90 мм наблюдаются в районе Лено-Ангарского и Приангарского плато в Предбайкальской впадине.

В Саяно-Алтайской горной стране есть области как высоких значений от 200 мм (хр. Кузнецкий Алатау, северная часть Восточного Саяна, центральная часть Западного Саяна), так и низких значений от 30 до 90 мм (долина рек Чуи, Хемчика, Малого Енисея, Тес-Хемы, устье реки Абакана, средняя часть Восточного Саяна).

От Байкальской горной страны и Алданского нагорья до границы с Монголией и КНР значения плавно уменьшаются и достигают значений менее 30 мм в районе Нерчинского хребта, в долинах рек Онона, Шилки, Аргуни. Низкие значения от 30 до 60 мм наблюдаются в долинах рек Селенги, Уда, Хилок, в районе Олёмкинских становика, Витимского плоскогорья, а также горных хребтов: Яблонового, Черского, Борщовочного, Урюмканского, Амурско-Зейской и Зейско-Буреинской равнин. Средние значения от 60 до 90 мм имеют место в южной части Предбайкальского плато, Малханского хребта, Икатского хребта, Витимского нагорья, северной части Олёминского становика, хребта Тукуринга, долины реки Амур в месте слияния рек Шилки и Аргуни,

Верхнезейской равнины, восточной части Амурско-Зейской и Зейско-Буреинской равнин, долины рек Буреи, Амура от Благовещенска до Хабаровска, долины р. Амгуни в верхнем и среднем течении, от Амурского залива до оз. Ханка по границе с КНР.

Значения запасов воды в снеге уменьшаются от хребта к предгорьям в горной системе Сихотэ-Алиня, а максимальные значения выше 200 мм присутствуют почти на всем Камчатском п-ове, п-ов Кони, п-ов Кьягина, в долине р. Кавы, в районе пролива Невельского на о. Сахалин.

За период 2015 – 2021 гг. максимальные запасы воды в снеге резко увеличиваются с 281 мм в 2015 г. до 458 мм в 2021 г. со максимумом до 736 мм в 2020 г. Средние же значения меняются не так существенно – с 120 до 133 мм. В докладе пространственно-временные закономерности запасов воды в снеге в этом макрорегионе России иллюстрируются набором цифровых карт. Полученные результаты позволили определить здесь современную интенсивность эрозии от стока талых вод за период 2015–2021 гг.

К.Н. Прокопьева^{1,2}, У.А. Конева¹, С.Р. Чалов¹

*¹Московский государственный университет
имени М.В. Ломоносова*

²Институт водных проблем РАН

РУСЛОВЫЕ ПЕРЕФОРМИРОВАНИЯ ДЕЛЬТ КРУПНЕЙШИХ АРКТИЧЕСКИХ РЕК ВОСТОЧНОЙ СИБИРИ³¹

Устья рек представляют собой «пограничную» зону между речным бассейном и приемным водоемом, где сталкиваются между собой противоположно направленные потоки вещества и энергии: с одной стороны, связанные с реками, а с другой – с морскими факторами. Изменения климата в арктическом регионе влияют на различные природные процессы, в том числе меняется русловой режим дельт. Насыщенные льдом отложения многолетнемерзлых пород подвержены термическим процессам в криолитозоне: термоэрозия, термоденудация и термоабразия, а также механическим воздействием водного потока. Такие процессы ярко выражены в крупнейших дельтах Восточной Сибири – рек Енисея, Лены и Колымы.

³¹ Выполнено при финансовой поддержке РНФ (проект № 23–17–00065).

Анализ интенсивности разрушений берегов в дельтах выполнен на основе дешифрирования спутниковых снимков Landsat с пространственным разрешением 30. Для дельты Енисея выбраны снимки Landsat 7 от 02.08.2000 (расход воды в замыкающем створе Игарка 19100 м³/с) и Landsat 8 от 23.07.2022 и 29.07.2022 (с расходами 22000 м³/с и 19700 м³/с, соответственно); для дельты Лены – Landsat 7 от 27.06.2000 (расход по г.п Кюсюр 37900 м³/с) и Landsat 8 от 17.06.2021 (38200 м³/с), а также снимки Landsat 7 от 08.07.2001 (6893 м³/с) и Landsat 8 от 23.07.2022 и 25.07.2022 (6470 м³/с и 6160 м³/с) – для реки Колыма (расходы по г.п. Колымское).

В основе методики лежит классификация спутниковых снимков методом наибольшего подобия. Для этого использовался восторенный инструмент геоинформационной системы ArcGIS *Maximum Likelihood Classification*, который выполняет классификацию по методу максимального подобия для набора каналов растра и создаёт классифицированный растр в качестве выходных данных. На основе полученных в ходе классификации двух снимков участков размыва, составлена сетка размером 5×5 км для Лены и Колымы и 6×6 км для Енисея. Интенсивность размыва рассчитывалась в относительных единицах как отношение площади размыва к площади речного русла внутри ячеек регулярной сетки (% разрушенного берега от площади территории). В дельте Енисея общая площадь береговых разрушений составила 8,08 км² за 22 года. Относительный показатель интенсивности русловых переформирований колеблется от 0% для участков, где русло стабильно, до 7,62%. Количественное распределение участков разрушений берегов показывает, что большая часть территории дельты горизонтальным деформациям не подвержена (93 участка со значением параметра, равным нулю), либо подвержена слабо протекающим процессам разрушений берегов, так как 88% территории дельты имеют значение относительного параметра размыва менее 1%.

Интенсивность разрушений берегов в дельте р. Лена составляет 65,5 км² за 21 год и изменяется на разных участках русла и частях дельты. Наименьшие значения до 5% характерны для большей части дельты площадью 12,8 тыс. км². Экстремальные значения интенсивности размыва выявлены лишь на отдельных участках. В частности, до 15% русла подвержено переформированиям в нижних частях Трофимовской и Оленекской протоки: в частности, в Трофимовской протоке на 6-километровом отрезке у о. Собо-Сисё площадь размыва составила 0,58 км² за 20 лет. В среднем это соответствует средней интенсивности отступления берега 4,74 м/год и максимальной величине отступления – до 15 м/год.

В дельте Колымы за 21 год величина русловых переформирования составила 16,2 км². Значение относительного показателя размывов колеблется от 0 до 21,1%. Меньше участков, в которых значение относительного показателя равно 0, что говорит о более интенсивном проявлении русловых переформирований. В среднем оно составляет от 1 до 1,5%.

Таким образом, интенсивность русловых переформирований максимальна в дельте Колымы. Во всех дельтах отмечается увеличение интенсивности разрушений к морскому краю дельты. Морской край дельты Енисея защищён от морского воздействия из-за её расположения в узкой губе. Дельта Лены испытывает довольно сильное влияние термоабразионных процессов из-за своей степени выдвинутости в море. Распределение относительного показателя переформирований в дельте Лены очень разнообразно, определяясь, с одной стороны, геологическим строением – ограничивающими условиями развития русловых деформаций при подходе рукавов (Быковской и Оленекской проток) к коренным берегам, а с другой – приуроченностью максимальных разрушений к участкам крупных обнажений многолетнемерзлых пород, которые широко распространены по берегам Оленекской и Трофимовской проток.

А.Ю. Сидорчук

Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова

ТРАНСФОРМАЦИЯ ПРОДОЛЬНОГО ПРОФИЛЯ РЕКИ ПРИ ИЗБЫТОЧНОМ ПОСТУПЛЕНИИ НАНОСОВ СО СКЛОНОВ³²

Геоморфологические последствия отложения наносов в русле реки необычайно высоки в районе Восточного мыса Северного острова Новой Зеландии. Здесь основными источниками как крупных, так и мелких отложений являются крутые голые неустойчивые склоны, сложенные трещиноватыми аргиллитами с достаточно интенсивным просачиванием грунтовых вод. Основными процессами являются множественные оползни и линейная эрозия при выходе грунтовых вод. В естественных условиях, под лесом, реки региона, крупнейшие из кото-

³² Выполнено по плану НИР (ГЗ) научно-исследовательской лаборатории эрозии почв и русловых процессов им. Н.И. Маккавеева МГУ имени М.В. Ломоносова.

рых Ваипу и Ваипаоа, меандрировали и врезались. Транспортирующей способности потоков хватало для перемещения наносов, поступающих со склонов. Антропогенное воздействие, в основном вырубка леса, привело к усилению поступления наносов со склонов. Совокупная площадь этих голых склонов невелика по сравнению с площадью речного бассейна, но с них начали поступать крупные слабоокатанные наносы (в основном щебень) в количествах, превышающих транспортирующую способность потоков. Измерения на гидрологических станциях на притоках р. Ваипаоа и в ее основном русле показывают общую аккумуляцию крупных наносов и общее увеличение отметок дна русел рек. На малых реках с площадью водосбора менее 5 км² отметки дна русла выше в паводки и ниже в межень, при общей тенденции к аккумуляции. В основных реках с площадью водосбора 20–30 км² и более тенденция обратная: отметки дна русел уменьшаются в паводки и увеличиваются в межень, также с общей тенденцией к аккумуляции. Крупнейшие паводки сопровождаются значительной эрозией русла, что может прервать аккумуляцию наносов в русле на несколько лет.

Этот процесс можно описать с помощью математической модели эволюции продольного профиля реки, в верховья которой в больших количествах поступает со склонов щебень. Начальный продольный профиль реки Ваипаоа и изменение площади водосбора вдоль линий тока для верхних 20-километрового участка реки (выше ущелья) получены с цифровой модели рельефа Северного острова Новой Зеландии с разрешением 25×25 м пиксель. Зависимость объема поступающих склоновых отложений от гидрологических условий построена по данным исследований Фулера с соавторами (Fuller et al., 2011). Используются измерения стока воды на водомерном посту Канаканая (площадь водосбора 1560 км²) за период 1980–2024 гг.

Динамика эрозионных и аккумулятивных процессов хорошо описывается с помощью уравнения деформации (Экснер, 1925). Если расход влекомых наносов записать с помощью формулы Гришанина (1979), в которой куб скорости потока заменен на произведение удельного расхода воды q на уклон водной поверхности $-\partial z / \partial x$, то уравнение деформации приводится к адвективно-диффузному уравнению вида:

$$\frac{\partial z}{\partial t} = a \frac{\partial}{\partial x} q(x) (U(x) - U_{cr}) \frac{\partial z}{\partial x}$$

где U – скорость потока, U_{cr} – её критическая величина при начале движения наносов, a эмпирический коэффициент, величину которого можно оценить по данным наблюдений, z, x, t – координаты по высоте,

длине и времени соответственно. Для удельного расхода воды и скорости потока получены зависимости от общего расхода воды.

Расчеты показывают, если подавать склоновые наносы на верхние 1,5 км продольного профиля пропорционально расходу воды, то происходит общая аккумуляция наносов на расчетном участке и формируется хордовая терраса. Максимум осадконакопления приходится на область в 5 км ниже истока реки, эта область характеризуется максимальным прогибом начального продольного профиля. Если поступление наносов со склонов прекращается, начинается медленная регрессивная эрозия накопленных отложений.

Перенос наносов по рекам Восточного мыса Северного острова Новой Зеландии вызывает не только вертикальные, но и горизонтальные деформации русел. Многолетние изменения процесса седиментации на конкретном створе реки приводят к квазипериодическим изменениям ширины русла, пересчитанной на один и тот же расход. В периоды маловодья русла рек заполняются наносами вследствие отложения как взвеси, так и влекомых наносов. По мере заселения мелководья растительностью ширина и пропускная способность русла уменьшаются. Во время мощного паводка пропускной способности русла не хватает для пропуска всего стока, что приводит к размыву отложенных наносов с обоих берегов, и ширина русла быстро увеличивается. В следующую межень процесс отложения возобновляется, и ширина русла уменьшается до следующего мощного паводка. Эти импульсы эрозии и отложения взвешенных отложений не меняют долговременную морфологию русла реки, средняя ширина русла остается стабильной.

В.В. Сурков

Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова

ЗАТОПЛЕНИЕ ПОЙМЫ Р. ОБИ В НИЖНЕМ БЬЕФЕ НОВОСИБИРСКОГО ГИДРОУЗЛА³³

Ширина поймы средней Оби на участке от Новосибирской ГЭС до с. Уртам изменяется от 3,5 до 16 км. Пойма имеет две генерации – современную прирусловую, ложбинно-островную, и древнюю «наложен-

³³ Выполнена по госзаданию (№ 121051100166–4) Научно-исследовательской лаборатории эрозии почв и русловых процессов им. Н.И. Маккавеева МГУ имени М.В. Ломоносова.

ную», занимающую 60–80% площади днища долины. Последняя характеризуется наличием в её отложениях регионального горизонта погребённых почв, в тыловых массивах – торфяников. Прирусловая пойма шириной 1–3 км состоит из крупных островных массивов, в том числе причленившихся к берегу. Её относительная высота 4,4–5,5 м; в сужениях до 6,5 м. Ухвостья островов и их периферийные части понижены (3,5–5 м). Амплитуда рельефа на ложбинно-островной пойме 3–4,5 м; глубокие старичные ложбины здесь встречаются через каждые 200–300 м; рельеф старых луговых островов – Поросского, Большого Серебрякова, Лукашина, – плавный; глубина ложбин на них не превышает 1,5 м.

Высокая (5,5–7,5, местами до 8,5 м) ровная «наложенная» пойма, луговая или застроенная дачными посёлками, лишь местами протягивается вдоль основного русла реки. Её широкая (3–7 км) притеррасная часть понижена (2,5–5 м): это плоская лугово-болотная поверхность, местами (между р. Чаус и с. Почта, между с. Дубровино и с. Батурино), с мелкогребнистым рельефом амплитудой 2–4 м, созданным протекающими здесь малыми реками – Тючкой, Вьюной. Среди болот на 10–15 м возвышаются останцы 1-й террасы, покрытые сосновым лесом.

После строительства гидроузла выше с. Дубровино на бывших отмелях возникли низкие (2–4,5 м) поймы и молодые острова. Их формирование продолжается и сейчас, но рост в высоту ограничен максимальным уровнем, который не может превышать 4,8 м при сбросе воды с плотины больше 4900 м³/с. В черте г. Новосибирска ниже плотины на пойме, даже на низкой, сейчас застроены все свободные участки.

Фиксируемое (с 1894 г.) затопление поймы Оби ниже г. Новосибирска имеет два периода: до создания Новосибирского гидроузла (1957–1959 гг.) и после. После сооружения гидроузла площадь затопления сократилась на 65%, с 1,1 тыс. км² до 0,4 тыс. км², сейчас оно возможно только на прирусловых островных массивах. Выше с. Батурино притеррасная «наложенная» пойма, ограждённая от русла более высокими массивами, вышла из зоны затопления, что подтверждается усыханием болот, озёр и деградацией гидроморфных комплексов. Пойма на левом берегу протоки Симан (шириной 10 км) – Батуринские болота с останцами 1-й террасы (Осиновая Грива, Пухлый Остров, Малый Бор и др.), – уже давно не затапливается, за исключением нижней части, у с. Еловки, несмотря на небольшие отметки её поверхности (2–4 м над меженичным уровнем). Пойма здесь очень широкая; даже экстремально высокого (11 м) половодья 1920 г. «не хватило» для её затопления.

Тенденции затопления поймы после строительства гидроузла разные. Если выше с. Дубровино, где после сооружения ГЭС фиксируется врезание русла, продолжительность затопления сокращается на всех

уровнях, то ниже, где врезания русла пока не отмечено, наряду с сокращением затопления высоких и средних (от 4 м и выше) уровней отмечается рост затопления низкой (1-3 м) поймы, что связано с сезонным перераспределением стока Новосибирским гидроузлом. Современный меженный уровень, затапливаемый ниже с. Батурино сейчас круглогодично (353 дня), в конце XIX века затапливался всего на 260 дней, в 30-50-е годы XX века – на 280 суток. Затопление ложбин, низких пойм, зарастающих побочней и осередков (1,5 м над современным меженным урезом) – здесь увеличилось на 60% – со 130–139 дней до 210. На прирусловой пойме это увеличение ускорило рост низких пойм; низкие тыловые поймы, например, в устье р. Таган и вдоль Симанской протоки, превращаются в болота с мелководными разливами.

До строительства ГЭС разливы имели сложную картину. Прирусловая ложбинно-островная пойма (на уровне 5 м над меженным) затапливалась полностью 5–7 лет из 10, высокая «наложенная» гряда – 2–3 раза в десятилетие, но не более 5 суток. Низкие притеррасья уходили под воду почти ежегодно на 2–3 месяца. Высокие половодья отмечались в 1895, 1898 (7 м), 1908 (8,4 м), 1916 (7,6 м), 1920 (10,9 м), 1941 гг. Затопляемость поймы постепенно возрастала: с конца XIX к 40-м гг. XX в. она увеличилась на 20%.

Ниже сужения поймы у с. Скала поток половодья растекался по Почтовскому левостороннему расширению. Здесь долина реки поворачивает вправо, и это обстоятельство, вследствие инерции потока, способствовало увеличению оттока вод половодья на левобережную пойму, в системы речек Кашлам и Выюна в её тыловой части. У с. Дубровино происходил слив осветлённых пойменных вод в русло. Ниже с. Дубровино пойменный поток следовал по р. Уень параллельно руслу Оби, и сливался с левобережной поймы на нижнем крыле вынужденной Камешковской излучины, перед Батуринским сужением поймы. Ниже с. Батурино поток вновь направлялся на левобережную пойму, растекался по ложбинам о-ва Симан и сливался в реку у с. Вороново. Ниже с. Вороново происходил отток воды в правобережную пойму; русловой и пойменный потоки проходили параллельно, последний концентрировался на пониженной притеррасной пойме в долине р. Таган. После сооружения Новосибирского гидроузла транзитный поток на пойме не возникает. Вода выходила на «наложенную» пойму только три раза – в 1966, 1969-м и в 2015 гг. (подъём уровней на 5,5–7 м, продолжительность затопления 2–5 дней). Также была затоплена прирусловая ложбинно-островная пойма, вода заливала притеррасные понижения у с. Почта, ложбины на о-ве Симан, долину р. Уень, низкую притеррасную пойму у с. Уртам и Кожевниково.

Если половодья 1966 и 1969 гг. остались без последствий (пойма была свободна от застройки), то затопление поймы 11–15 мая 2015 г. нанесло большой ущерб коттеджным и дачным посёлкам; что ещё раз подтверждает опасность застройки поймы, даже если водный режим реки зарегулирован. Вода в 2015 г. в Новосибирске поднялась всего на 5,5 м выше меженного уровня (до отметки 96,53 м), в 1969 г. она поднималась на 7 м, в 1920 г. – на 10,9 м. Обычно подъём воды в Оби ниже ГЭС сейчас не превышает 4 м, что недостаточно даже для затопления островов. Средняя продолжительность затопления на этом уровне сократилась с 60 дней (до строительства ГЭС) до 5–6, максимальная – со 130 до 25, вероятность – с ежегодной до 3–5 раз в десятилетие. Но ниже отметки 4 м продолжительность затопления быстро увеличивается. У с. Кругликово средняя продолжительность затопления низких пойм на уровне 3 м уже 52 дня, на уровне 2 м – 80, хотя в отдельные годы (2002, 2008, 2012) вода не выходит за пределы меженного русла, а её уровень не поднимается выше зарастающих побочной и осередков (1,8 м). В целом, после сооружения гидроузла затопление поймы стабилизировалось на низком уровне, определяемым режимом работы ГЭС. Высокая (более 5 м) пойма и (выше с. Батурино) большая часть притеррасных понижений находятся вне зоны разливов; средняя (3–5 м) затопливается периодически на относительно короткое время, низкая пойма (2–3 м) ниже с. Батурино покрывается водой почти ежегодно на длительный (до 100 суток) срок.

**А.М. Тарбеева, А.А. Камышев, А.А. Куракова, В.В. Сурков,
И.В. Крыленко, Н.М. Михайлова, Н.Н. Иванова**
*Московский государственный университет
имени М.В. Ломоносова*

РАСПРОСТРАНЕНИЕ, ГИДРОЛОГИЧЕСКИЙ РЕЖИМ И МОРФОЛОГИЯ ЧЕТКОВИДНЫХ РУСЕЛ МАЛЫХ РЕК СТЕПНОЙ ЗОНЫ ЕВРАЗИИ³⁴

Четковидные русла – достаточно распространенный тип русел малых рек, однако механизмы и факторы их возникновения, а также закономерности динамики почти не исследованы. Четковидные русла характерны для рек двух природных зон – криолитозоны, где их образование связывают с вытаиванием полигонально-жильных льдов, и

³⁴ Выполнено при финансовой поддержке РНФ (проект № 23–27–00008).

степей, где описаны разные механизмы их образования: неравномерное заиление, палеокриогенные, суффозионно-карстовые процессы и проч.

На основе полевых наблюдений в Оренбургской и Волгоградской областях РФ, а также в Казахстане, анализа доступных космических снимков высокого разрешения и опубликованных данных, были проанализированы закономерности распространения, морфологии, а также основные факторы формирования четковидных русел рек в степях.

Анализ космических снимков показал, что расширения русла – четки – имеют разную степень выраженности, что затрудняет их картирование. На отдельных участках четки имеют правильную округлую форму и следуют друг за другом с равными интервалами. Но на других участках они могут быть единичными, например, приуроченными к вершинам излучин, иметь разнообразие размеры и форму. При этом выделяются территории, где четки встречаются часто, и где они отсутствуют.

В степной зоне четки характерны для рек с площадями водосбора от 50 до 10 000 км² и уклонами до 1,5 м/км, тогда как для рек криолитозоны аналогичные значения существенно ниже. Самые верховья рек обычно заполнены наносами (балки) и не имеют четковидного строения. Большинство четок наблюдается на реках, с наличием реликтовых макроформ русла. Чаще всего четки встречаются в извилистых руслах (например, р. Кардаил, приток р. Бузулук), а также в старицах на участках развития реликтовой пойменной многорукавности. Большинство четок не выходит за пределы днищ реликтовых макроформ. Единичные четки выражаются в бровках высоких уровней поймы и террас. Наиболее ярко выраженное четковидное строение имеют старицы. На наиболее крупных реках четки характерны для пойменных протоков и стариц, тогда как они отсутствуют в основном русле (нижнее течение р. Бузулук, р. Ишим у Астаны, р. Большой Кумак у Орска).

Четки характерны для рек с низкими темпами русловых деформаций, тогда как для рек с активной динамикой русла четки не характерны. На исследованных нами реках с четковидным строением аккумулятивные формы (осередки, побочки), также, как и значительные по протяженности незадернованные участки берегов отсутствуют. Четки часто приурочены к участкам рек, подверженных заилению. Вдоль сужений русла протягиваются густые заросли тростника, в которых скорости потока половодья резко падают, происходит аккумуляция наносов, что приводит к образованию

низкой (до 1 м) поймы, состоящей из слежавшегося наилка и отмерших частей тростника. Оцененные радиоцезиевым методом темпы накопления наилка на низкой пойме р. Купавы за постчернобыльский период превышают 1 см в год. При этом в расширениях русла, нередко расположенных в вершинах излучин, что соответствует расположению древних плесов, глубины достигают 4–5 м и заиление почти отсутствует. По стрежню потока в сужениях русла, где скорости достигают 1,5 м/с, местами наблюдается слабое врезание в коренные породы.

Для залесенных участков степных рек, где отсутствуют заросли тростника, четки не характерны, что может указывать на существенную роль неравномерного зарастания и заиления русла в формировании четок. В то же время в старицах на низких террасах (например, на р. Кардаил в районе хут. Киквидзе), четки следуют друг за другом, и частота их расположения превышает нормальную частоту расположения плёсов (5–7 ширины русла), что говорит о том, что они не являются остатками плёсов, а имеют иной генезис.

Таким образом, четки характерны для рек с малой мощностью потока – небольшими уклонами и площадями водосбора, характеризующихся низкими темпами динамики русла. Все исследованные чётковидные русла в степях имеют следы снижения водности, характеризующиеся наличием реликтовых макроформ русла – макроизлучин, пойменных протоков – реликтов пойменной многоруканности. Наличие четок в старицах в пределах террас говорит об их значительном возрасте. Формирование чётковидных русел в степях происходило при больших площадях водосбора по сравнению с современными реками криолитозоны. Значительная часть четок в пределах современного русла с активной динамикой разрушена, и они сохраняются лишь в старицах. Остается нерешенным вопрос о генезисе исходных глубоких плёсов для формирования четок, где частота расположения четок превышает нормальную для данной ширины русла частоту расположения плёсов, в том числе на участках древних стариц в пределах низких террас. В настоящее время также происходят процессы, способствующие образованию четок: на участках между глубокими расширениями русла – четками – происходит сужение русла путем формирования вдоль него низкого уровня поймы за счет накопления наилка и зарастания. Существенную роль в этом процессе играет тростник. При этом сами четки заиливаются медленно, сохраняя глубины до 4–5 м.

Л.Н. Трофимец¹, Е.А. Паниди², А.О. Баркалов¹, Н.А. Туманов¹

¹Орловский государственный университет имени И.С.Тургенева

²Санкт-Петербургский государственный университет

**РАСЧЕТ ОБЪЕМА ПОЧВЫ,
СМЫТОЙ С ЛОЖБИННЫХ ВОДОСБОРОВ
ЗА ПРЕДЕЛЫ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОГО ПОЛЯ,
С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ КАРТ ПЛОЩАДИ СБОРА
И ДИАГРАММ ПОСЛОЙНОГО ПО ГЛУБИНЕ
РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ЦЕЗИЯ-137
(ПО ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫМ ДАННЫМ)³⁵**

Для оценки выноса смытой почвы за пределы сельскохозяйственного поля требуется проведение достаточно трудоемких работ. В принимающих балках необходимо сделать ряд разрезов, чтобы установить объем доставленной в балку почвы. Объем тела аккумуляции может быть оценен также по результатам аэрофотосъемки. Такой прием использовала Н.Н. Бобровицкая в 80-х годах прошлого века. Суть его сводилась к отрисовке на аэрофотоснимке тела аккумуляции, оценке мощности этого тела и расчету объема смытой в весенний период почвы. Если нет данных аэрофотосъемки, но есть космические снимки сверхвысокого разрешения (разрешением 0,5 м /пиксель), цифровая модель рельефа и данные послойного отбора проб почвы по глубине на каком-то участке тела аккумуляции, то можно попытаться дать оценку (с определенной степенью погрешности) объема доставленной за пределы поля почвы, смытой в результате водной эрозии.

На примере экспериментального участка сельскохозяйственного поля, расположенного на склоне южной экспозиции в бассейне верхней Оки (в Орловском районе Орловской области) авторы попытались оценить объемы вынесенной за пределы поля почвы, основываясь на результатах послойного (через 2 см) измерения по глубине активности цезия-137 в точках, расположенных по периметру экспериментального участка. Цезий-137 выступал маркером глубины слоя почвы, датированного 1986 годом. Полевые исследования проводились в 2022–2023 гг. Масштаб исследований – 1:10000. Оценка аккумуляции смытой почвы осуществлялась для устьевых участков ложбин (на выходе с поля). Измерения слоя намытой (смытой) почвы производились в 10 точках. Из 10 точек 4 точки оказались в зоне аккумуляции, 6 – в зоне смыва. К

³⁵ Работа выполнена при финансовой поддержке РФФ (проект № 22–27–00755).

расчету были приняты 4 точки. В табл. 1 приведены рассчитанные объемы доставки почвы с водосборов ложбин на их устьевые участки, расположенные за пределами сельскохозяйственного поля. Возникший вопрос, как рассчитать «тело аккумуляции», площадь которого при умножении на мощность слоя намытой почвы дала бы объем почвы, смытой с водосбора ложбины, авторы решили следующим образом. Площадь определяли с использованием карты площади сбора, построенной в ГИС. К расчету принимали значения площади сбора для смежных пикселей (выше и ниже точек пробоотбора).

Таблица 1

Интенсивность доставки смытой почвы с водосбора ложбин

Точка	Площадь сбора (водосбора ложбины), м ²	Площадь тела аккумуляции, м ²	Слой намытой почвы, м	Объем намытой почвы, м ³ (плотность почвы 1100 кг/м ³)	Смыв с водосбора ложбины (т/га в год) за 1986–2023 гг.
1	2	3	4	5	6
26923.1	9100 (0,91 га)	10951-9100=1851	0,44	814 (895400) 895,4 т	26,6
26923.2	6382 (0,64 га)	6728-6382=346	0,34	118 (129800кг) 129,8 т	5,5
21423.2	697 (0,07 га)	800-697=103	0,32	33 (36300) 36,3 т	14,1
21423.5	10100 (1,01га)	11616-10100=516	0,36	186 (204600) 204,6 т	5,5

В табл. 2 приводятся результаты двух вариантов расчета площади тела аккумуляции (для точки 26923.2). В варианте 1 площадь тела аккумуляции рассчитывалась как разность между площадью сбора основной ложбины ниже точки (6728) и площадями двух ее притоков (притоки «впадают» в ложбину между площадями основной ложбины 6382 и 6728). Площади притоков, соответственно, равны 3783 и 2538. Во втором варианте площадь тела аккумуляции рассчитывалось как разность площадей сбора основной ложбины выше и ниже точки (6728 и 6382). Погрешность расчета по двум вариантам составила 20%. Погрешность находится в пределах ошибки определения удельной активности цезия-137 на гамма-спектрометре Гамма Плюс.

Таблица 2

Расчет доставки смытой почвы в точку 26923.2

Точка	Площадь сбора (водосбора ложбины), м ²		Площадь тела аккумуляции, м ² .	Слой намывтой почвы, м	Объем намывтой почвы, м ³ (плотность почвы 1100 кг/м ³)	Смыв с водосбора ложбины (тонн с 1 га в год) за 1986-2023гг.
	6382	6728				
26923.2 Вариант1	6382	6728	6728-3783- 2538=407	0,34	138,4	6,5
26923.2 Вариант2	6382	6728	6728- 6382=346		130,6	5,5

Вывод. Расчет смытой с водосборов ложбин почвы можно осуществлять, используя данные послыного отбора проб почвы по глубине в устьевых участках ложбин и данные величин площадей сбора, рассчитанных в ГИС, для точек на карте площади сбора, расположенных выше и ниже анализируемой точки пробоотбора.

Т.В. Туругина¹, М.В. Шмакова²

¹ *Институт наук о Земле РАН*

² *Государственный гидрологический институт
г. Санкт-Петербург*

РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТА ПО ИНИЦИАЦИИ ПРОЦЕССОВ ВОДНОЙ ЭРОЗИИ НА ЛЕСНОМ СКЛОНЕ

Введение. К основным показателям почвенной эрозии относятся объемы смыва почво-грунтов, изменения уровня эродируемых земель, интенсивность развития новых ландшафтных форм, например, развитие овражно-балочной сети, формирование конусов выноса и так далее. Вследствие большой изменчивости характеристик ландшафтных неоднородностей подстилающей поверхности при исследовании процессов почвенной эрозии целесообразно уделить внимание анализу общих закономерностей этих процессов. Механизмы водной почвенной эрозии помимо вышеуказанного предполагают и изменение состава вымываемых частиц грунта от вершины к подножию склона, следовательно, происходят и изменения крупности продуктов смыва. В исследованиях в области водной эрозии отмечается увеличение процента

содержания крупных частиц к подножию склона (Маккавеев, 1955). В этом случае при равномерном уклоне вклад крупных частиц будет увеличиваться, а доля мелких фракций, наоборот, уменьшаться. Последнее объясняется увеличением мощности склонового потока по направлению уклона, и, как следствие, увеличением транспортирующего потенциала потока. В результате этого, в процесс смыва вовлекаются более крупные фракции, вклад которых уменьшает процентное содержание мелких частиц.

Целью настоящей работы является анализ результатов эксперимента по инициации процессов склоновой эрозии на лесном склоне в результате дождевания последнего (Ленинградская область).

Описание эксперимента. В мае 2023 года сотрудниками Государственного гидрологического института и Института озероведения РАН был проведен полевой эксперимент по воспроизведению процессов почвенной эрозии на лесном склоне в поселке Ильичево Ленинградской области. Почвы этого региона сформированы на толще песков примерно 10–20 м, а гумусовый слой почвы имеет незначительную мощность 10–20 см. Растительный покров характерен для Северо-Запада РФ. Склоны холма поросли сосной, различными видами кустарниковых растений (вереск, брусничник, черничник, толокнянка), а также многими видами мхов и лишайников.

Для проведения эксперимента был выбран небольшой участок склона длиной 10 метров и шириной в 1 метр. Склон довольно крутой с уклоном 41°. На склоне хорошо выражены линии стекания дождевой и талой воды. Дождевальная станция была установлена на расстоянии 10 метров от подножия холма. Ее расход воды составил 0,3 л/с. В течение двух часов дождевальная станция равномерно орошала весь экспериментальный участок. Вдоль склона по линиям стекания через 1 метр были диагонально поставлены приемники продуктов смыва так, чтобы верхние приемники не перекрывали дождевой поток для расположенных ниже по склону. Таких «ловушек» было установлено 9. Перед началом эксперимента была проведена деликатная очистка экспериментального участка от лесного мусора (листьев, шишек и т. д. без повреждения почвенного слоя). Также была отобрана проба грунта на вершине участка. В процессе дождевания в силу особенностей микро-рельефа наблюдалось формирование двух ручейковых потоков от вершины к подножию склона. Продукты смыва, поступившие в «ловушки», были проанализированы в Лаборатории наносов ГГИ с целью определения их массы и гранулометрического состава.

Выводы. Результаты анализа гранулометрического состава продуктов смыва при дождевании лесного склона показали, что, при срав-

нительно однородном литологическом составе грунтов размываемой склоновой поверхности, распределение крупности склоновых отложений отражает теоретически обоснованные закономерности – увеличение доли крупных фракций к подножию. Но при значительных различиях литологического состава грунтов, изменения гранулометрического состава склоновых отложений от вершины к подножию не объясняются только увеличением силы потока. Наиболее вероятными причинами, объясняющими распределение гранулометрического состава отложений на склонах сложного литологического строения, являются разный состав и неодинаковая связность и подвижность продуктов выветривания. Суммарное количество вещества, смытого за время проведения эксперимента (2 часа) с поверхности склона, площадью 10 м² составило 21,2 г.

Р.С. Чалов

*Московский государственный университет
имени М.В. Ломоносова*

О РОЛИ РАССРЕДОТОЧЕНИЯ СТОКА ПО ПОЙМЕННЫМ ПРОТОКАМ И ЗАТОПЛЕНИЙ ПОЙМЫ В ГИДРОМОРФОЛОГИИ РЕЧНЫХ РУСЕЛ³⁶

В многоводные фазы водного режима на реках с широкопойменным руслом происходит затопление поймы, в пределы которой уходит значительная часть стока. По имеющимся в литературе данным в многоводные годы доля пойменной составляющей достигает 30–80% общего расхода воды в реке, причем она возрастает на реках, пойма которых расчленена пойменными протоками – относительно маловодными (каждая протока) ответвлениями, создающими пойменную многорукавность. Суммарно такие протоки забирают из русла до 30% расхода воды. Такое рассредоточение стока и отвлечение его части в пределы затопленной поймы (на реках без пойменной многорукавности – только на пойму) вызывает снижение величины удельного расхода воды (относительно ширины днища долины – пойма + русло), водности основного русла или реки в целом при ее разветвлении на рукава, что неизбежно сказывается на русловом режиме реки и гидролого-морфологических зависимостях, связывающих параметры русловых форм с показателями стока (руслоформирующи-

³⁶ Выполнено при финансовой поддержке РНФ (проект № 23–17–00065).

ми, среднемаксимальными, 30-дневной обеспеченности, среднегодовыми расходами).

Однако именно это сторона затопления поймы и отвлечения расхода воды в пойменные протоки остается вне сферы внимания, и они оцениваются в основном как факторы регулирования стока. В отношении влияния на русловые процессы затопление поймы рассматривается обычно с точки зрения взаимодействия пойменного и руслового потоков как условия формирования и режима перекатов. Так, Маккавеев Н.И. (1964) выделял «перекаты на сливе» (происходит перелив воды из русла в пойму, вследствие чего происходит снижение транспортирующей способности потока и аккумуляция наносов) и «перекаты на сбеге», возникающие вследствие подпора руслового потока стекающей с поймы воды), а по отношению к перекатным участкам – при сужении днища долины, вызывающего подпор потока выше по течению, и при его расширении, снижающего водность руслового потока. Делается также акцент на аккумуляцию наносов на затопленной пойме, вследствие чего с поймы в русло стекает осветленная вода, что увеличивает транспортирующую способность руслового потока, и ниже по течению русло приобретает плесовый характер.

На рассредоточение стока воды по затопленной пойме и отвлечение его в пойменные протоки – не только условие формирования перекатов; они сказываются в развитии самого русла, его морфодинамическом типе, параметрах форм русла – разветвлениях и излучинах, режиме их многолетних деформаций. Считается, что большие и крупнейшие реки с широкопойменным руслом разветвляются на рукава, средние и малые – меандрируют (Великанов, 1958). Это положение справедливо при прочих равных условиях. Но русло р. Оби при многократном увеличении стока в верхнем течении (от слияния Бии и Катунь до устья р. Томи) преимущественно разветвленное, в среднем же течении (до устья р. Ваха) меандрирует. Для р. Иртыша в среднем течении (от госграницы до устья р. Тары) русло разветвленное, а далее до слияния с р. Обью – меандрирующее, образующее крутые петлеобразные излучины. При этом параметры излучин не зависят от водности реки, несмотря на ее рост вниз по течению (Завадский, 2001). На Оби ниже устья Томи происходит резкое расширение поймы, возрастает ее затопляемость, а ниже устья р. Кети – и расчленение пойменной многоорукавностью. При этом ширина поймы, количество и размеры пойменных протоков по длине реки неоднократно изменяются в 2–3 раза. На пойму в половодье уходит в среднем до 30% стока, колеблясь в очень широких пределах в зависимо-

сти от местных условий. Ниже слияния с р. Иртышом после 320-километрового участка с одиночными разветвлениями и односторонней поймой шириной 10–15 км происходит ее увеличение до 30–60 км (у устья р. Северной Сосьвы), превышая более чем в 20 раз ширину русла. Следствие этого является формирование вплоть до устьевой области раздвоенного русла (в районе устья Северной Сосьвы – 5 рукавов), причем пойменное межукавье расчленяется десятками пойменных протоков. В результате водность рукавов раздвоенного русла изменяется на всем их протяжении от 60 до 4–5%, что проявляется в морфологии русел, параметрах форм и постоянном их изменении.

На среднем Иртыше (до устья р. Тары) разветвления формируются во врезанном и адаптированном (с узкой поймой) русле, но ниже по течению, где русло становится широкопойменным, но пойма высокая, периодически и кратковременно затопляемая, – меандрирующее. Если учесть рассредоточенность стока по пойменным протокам и вследствие затопления поймы, и на Иртыше, и на Оби восстанавливается зависимость параметров форм русла от показателей водности, но только руслового потока.

В отличие от Оби и Иртыша на средней и нижней Лене пойма сравнительно неширокая (от 3-4 до 5-7 ширин русла при суммарной ширине русла, составляющей 1/3 ширины днища долины)), раздвоенное русло отсутствует, а повышенная сосредоточенность расхода воды в русле обуславливает формирование на всем протяжении параллельно-рукавных разветвлений, причем суммарная (в бровках поймы) ширина русла изменяется от 3-5 км до 26 км ниже устья р. Вилюя).

Приведенными примерами влияние затопления поймы на русловой режим рек не ограничивается, но и они показывают необходимость выполнения специальных исследований. К сожалению, несмотря на введение понятия «пойменно-русловые комплексы» (Чернов, 2009), вопросы влияния поймы на морфодинамику русла при его применении не затрагиваются.

Р.С. Чалов¹, А.В.Чернов¹, А.Н. Махинов²
*¹Московский государственный университет
имени М.В. Ломоносова*

²Институт водных и экологических проблем ДВО РАН

ВРЕЗАНИЕ РУСЛА И НАПРАВЛЕННАЯ АККУМУЛЯЦИЯ НАНОСОВ НА СРЕДНЕМ И НИЖНЕМ АМУРЕ³⁷

На среднем и нижнем Амуре вертикальные русловые деформации характеризуются различной направленностью и интенсивностью, но, если в среднем течении (между устьями рек Зеи и Сунгари) участки с аккумуляцией наносов чередуются с участками врезающегося русла, то для всего нижнего течения характерна аккумуляция наносов. Анализ кривых соответственных уровней и морфологических признаков показал, что в разных частях среднего течения вертикальные деформации русла характеризуются различной направленностью, что находит отражение в рельефе дна долины, морфологии и динамике русла. Всего на среднем и нижнем Амуре выделяется шесть участков, отличающихся по направленности и интенсивности вертикальных деформаций. Верхние два участка находятся в пределах Зейско-Буреинской равнины. Первый из них протягивается от устья Зеи до устья Буреи. Для него характерна двусторонняя ступенчатая пойма, свидетельствующая о врезании реки.

На втором участке – от устья Буреи до с. Пашково происходит направленная аккумуляция наносов. Высота поймы снижается до 3–4 м над меженным уровнем; она становится одноярусной, ее прирусловая часть выше тыловой. В устьях притоков (Урил, Улагахэ, Ганукан) формируются озера подтопления – приустьевые разливы, русло становится разветвленным с преобладанием сложных форм многоорукавности. По мере приближения к Малому Хингану разветвленность русла уменьшается, отражая снижение темпов аккумуляции. В пределах Малого Хингана (третий участок долины) русло Амура врезанное, слабоизвилистое, беспойменное, либо скальное, либо выстилается крупногалечной отмосткой. Двукратное увеличение уклонов и стеснение потока скалами обеспечивает рост скоростей, вынос наносов за пределы врезанного участка и слабое врезание русла в скальное ложе. Некоторые скалы, выходящие на дне реки, создают макроформу в виде «водослива с широким порогом» (Союзный «перекат»).

³⁷ Выполнено при финансовой поддержке РФФ (проект № 23–17–00065).

Ниже Хинганского сужения, на четвертом участке незначительной протяженности река выходит из ущелья в долину с широкой поймой, происходит смена врезанного русла широкопойменным, глубинная эрозия сменяется вниз по течению направленной аккумуляцией.

На пятом участке (до с Вятского ниже г. Хабаровска) река аккумулирует наносы. Переход от врезания потока к аккумуляции зафиксирован в «ножницах» пойменных ступеней и надпойменной поверхности (озерно-аллювиальной равниной): происходит слияние ступеней в единую одноярусную пойму, одноуровненную с равниной.

Ниже с. Вятского Амур выходит за пределы Среднеамурской низменности, и шестой участок характеризуется четковидностью дна долины (расширения поймы чередуются с врезанным руслом), но вертикальные деформации и в сужениях, и в расширениях заключаются в аккумуляции наносов, в том числе при пересечении рекой отрогов Сихотэ-Алиня и Мяо-Чана. Морфологически русло здесь врезанное, но в устьях притоков развиты приустьевые разливы (озера).

Выйдя из гор, Амур течет вдоль восточного края Удиль-Кизинской низменности. Аккумуляции наносов вновь возрастает. Отличие заключается в относительно большем развитии приустьевых озер на притоках, имеющих очень большие размеры, часто соединяющимися с мелководными озерами, образовавшимися в понижениях поймы, подтопленных грунтовыми водами или сохранившимися после паводков (Круглое, Пальмука и др.). Русло сильно разветвленное, с островами разных размеров, причем основной фон образуют очень большие пойменно-островные массивы сложной формы, связанные с раздвоенным руслом реки. Таково разделение русла на равные по водности рукава Старый и Новый Амур длиной 60 км при ширине межрукавья до 12 км. Среднемаксимальная высота поймы находится ниже относительно характерных отметок воды по сравнению с поймой Среднеамурской низменности. Поэтому она затапливается чаще и на более продолжительное время.

Таким образом, на большей части среднего и нижнего Амура происходит систематическая аккумуляция наносов. Только при пересечении Малого Хингана она прерывается врезанием русла. Она доказывается балансом наносов по длине реки, анализом кривых $Q=f(H)$ и морфологическими признаками (приустьевые разливы на притоках, превышение уровня воды в межень над тыловыми частями поймы). На нижнем Амуре общий темп аккумуляции оценивается в среднем в 0,56–1,2 мм/год, что соответствует ежегодному накоплению в русло и на пойме около 6 млн т наносов. Морфологическими проявлениями этого процесса являются: мощная пойменная фация аллювия (до 8 м),

подошва которой лежит ниже среднемноголетнего уровня воды в реке; образование приустьевых разливов (озер подтопления) на притоках нижнего Амура, в том числе на участках врезанного русла, т.е. в устьях горных рек, более низкое положение тыловой поймы по сравнению с уровнем воды в реке. Наиболее крупные озера в низовьях притоков Амура совмещают в себе приустьевые разливы и озера, образовавшиеся вследствие затопления тыловых частей амурской поймы. Площадь наиболее крупных озер (Катар, Дабанда, Петропавловское, Болонь, Хумми, Кизи, Удыль и др.) достигает 300 км².

Длительная и интенсивная аккумуляция наносов определяет морфологию и динамику русла Амура. Специфической разновидностью является раздвоенное русло, в котором основные рукава характеризуются вторичными разветвлениями. Аккумуляция наносов способствует развитию пойменной многоорукавности, расчленяющей даже узкую пойму на участках врезанного русла.

С.Р. Чалов, О.А. Лошков

*Московский государственный университет
имени М.В. Ломоносова*

**НОВЫЕ ДАННЫЕ О РАСПРЕДЕЛЕНИИ
ВЗВЕСЕЙ В РУСЛОВОМ ПОТОКЕ:
РЕЗУЛЬТАТЫ НАТУРНЫХ ЭКСПЕРИМЕНТОВ
С ЛАЗЕРНЫМ ДИФРАКТОМЕТРОМ LISST**

Современные технологии открывают новые возможности глубокого познания природных процессов. К таковым относится транспорт взвесей, изучение которого с помощью портативных оптических датчиков мутности и космических снимков позволил выявить целый ряд ранее неизвестных закономерностей.

Еще более сложные картины распределения взвесей в русловом потоке открываются с помощью лазерных дифрактометров, помимо мутности воды измеряющих крупность взвесей. Измерение гранулометрического состава взвесей с помощью лазерной дифракции в настоящее время получило широкое распространение в лабораторных приборах. Однако натурное измерение в потоке реализуется только в серии приборов LISST (сокр. от Laser in-situ Scattering and Transmissometry). Принцип работы прибора LISST-200X заключается в следующем: мощность создаваемого лазерного луча измеряется специ-

альным датчиком (LREF); затем луч поддается коллимации (COL), то есть создается параллельно идущий поток излучения. Далее лазерный луч проходит через пропускающее стекло (TW) попадает в среду (SV), где рассеивается на частицах под разными углами. Светофильтр используется для подавления дневного света, причём углы после рассеяния частицами не изменяются. После этого рассеянные отфильтрованные лучи попадают в фокальную плоскость приёмного объектива, где установлена фокусирующая линза (FL), которая перенаправляет лучи на кольцевой детектор (RD), представляющий собой набор кремниевых 60-градусных дуг, охватывающих небольшой диапазон углов рассеяния, а кольцевидная форма используется для достижения стабильности инверсии. Происходит преобразование набора измерений рассеяния света под многими углами в гранулометрический состав.

Зимой-весной 2024 г. проведено тестирование прибора LISST-200X и выполнены натурные эксперименты, заключающиеся в непрерывном измерении крупности взвесей D (мкм) и объемной мутности (S_v , мкл/л) воды в течение 7 дней одновременно с измерением уровня расхода воды в нижнем течение р. Сетуни (1 км выше впадения реки в р. Москву). Сетунь – малая река Московской агломерации, имеет сильно урбанизированный бассейн с площадью застройки до 30 % от площади водосбора. Дискретность измерений составляла 10 секунд, уровней и расходов воды – 30 минут. Суммарное время полевых работ составило более 49 часов, за которые было получено 15521 измерение, после первичного анализа было оставлено 15143 измерений.

Эксперименты с прибором LISST на р. Сетуни проведены при средней крупности взвесей при измерениях от 25 до 100 мкм; основную часть взвешенных наносов (до 50%) составляли частицы от 10 до 50 мкм. Объемная мутность менялась в интервале от 50 до 1400 мкл/л. В ходе экспериментов выявлены 14 значимых увеличений в концентрации взвешенных частиц продолжительностью до 2 часов, сопровождавшихся изменениями крупности взвесей, т.е. были зафиксированы короткие плюмы. Проведенный статистический анализ факторов формирования указанных изменений мутности и крупности взвесей показал, что эти увеличения не объясняются ни дождевыми осадками, ни колебаниями расхода и уровня воды. Сделан вывод об антропогенном происхождении указанных плюмов: для р. Сетуни характерны непродолжительные сбросы высокозагрязненных, в том числе взвесями, вод, от различных точечных источников, которые далее трансформируются по длине русловой сети. Сопоставление изменений мутности и крупности взвесей показало отрицательный гистерезисный вид связей $D=f(S_v)$. Во всех случаях на фоне увеличения мутности круп-

ность взвесей D была меньше, чем на спаде мутности воды (в конце прохождения плюма). Такой вид связи позволил сделать вывод о режиме распределения частиц разной крупности, поступающих от точечных источников загрязнения, по длине руслового потока. Очевидно, наблюдается гидравлическая сортировка взвесей: в потоке в зоне распространения поступивших взвесей быстрее распространяются более мелкие взвеси, в то время как более крупные транспортируются в русловом потоке в тыловой части зоны повышения мутности. Разница в средней крупности взвесей на подъеме и спаде мутности воды достигает 30 мкм.

Полученный результат характеризует ранее неисследованный феномен транспорта взвесей – гидравлическую сортировку взвешенных наносов по крупности по длине русловой сети, и представляется крайней важной как для мониторинга антропогенного воздействия, так и развития теории речных наносов.

А.Н. Червань¹, Д.М. Курлович¹, А.С. Семенюк¹, Х. Вен Гуанг²

¹Белорусский государственный университет (г. Минск, Беларусь)

*²Хуачжунский университет науки и технологий
(г. Ухань, Китай)*

УЧЕТ МОРФОМЕТРИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК МЕСТНОСТИ В СВЕРХВЫСОКОМ РАЗРЕШЕНИИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ АЛГОРИТМОВ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ ДЛЯ ПРОТИВОЭРОЗИОННОЙ ОРГАНИЗАЦИИ АГРОЛАНДШАФТОВ

На основании результатов использования нейронных алгоритмов по увеличению пространственного разрешения цифровых моделей рельефа (ЦМР) проведена оценка влияния детальности ЦМР на результаты эрозионного моделирования и сформированы соответствующие методические приемы. Поиск и обоснование репрезентативных участков осуществлялись на основе: вертикального расчленения рельефа, крутизны склона, проявления экстремальных геоморфологических процессов, сельскохозяйственной освоенности земель, интенсивности проявления эрозии на сельскохозяйственных землях. Оценка факторов выполнялась по административным районам Беларуси. В качестве исходных использовались карты Национального атласа Беларуси, результаты морфометрического анализа рельефа и сопутствующие тематические базы данных. Принималось во внимание морфометрическое районирование Бе-

ларуси, разработанное Д.М. Курловичем, на основе абсолютной высоты (м), глубины расчленения рельефа (м/км²) и её густоты (м/км²), крутизны склонов. Согласно этому районированию территория Беларуси разделяется на 5 областей и 60 районов.

Область Полоцкой низины (8% территории) охватывает региональный гипсометрический уровень одноименной низины с окружающими ее на западе небольшими по площади грядовыми равнинами. Рельеф здесь преимущественно мелко расчленен по вертикали и слабо расчленен по горизонтали, преобладают очень пологие склоны.

Область Центрально- и Восточно-Белорусских возвышенностей и равнин занимает региональный гипсометрический уровень Белорусской гряды (32% территории). Рельеф здесь средне- и мелкорасчлененный по вертикали и слаборасчлененный по горизонтали, по площади доминируют очень пологие склоны.

Область низин бассейна р. Немана охватывает региональный гипсометрический уровень Неманской и Вилейской низин (5% территории Беларуси). Преобладает рельеф мелкорасчлененный по вертикали, умеренно расчлененный по горизонтали с очень пологими склонами.

Область Предполесских равнин занимает 25% территории республики и охватывает равнины, представляющие собой региональный гипсометрический уровень, занимающий промежуточное положение между возвышенностями Белорусской гряды и низинным Полесьем. Рельеф здесь мелкорасчленен по вертикали и слаборасчленен по горизонтали, доминируют по площади очень пологие склоны.

Область Полесской низины охватывает региональный гипсометрический уровень одноименной низины (30% территории). Рельеф очень мелкорасчлененный по вертикали, умеренно расчленен по горизонтали, доминируют по площади очень пологие склоны.

Выбор административных районов для размещения репрезентативных участков был выполнен на основе сопряженного анализа карт вертикального расчленения рельефа, крутизны склонов, экстремальных геоморфологических процессов, эрозии почв и сельскохозяйственного освоения земель.

Сформированная структура базы геоданных включает тематические блоки геоморфологических, почвенных, климатических, растительных и агротехнологических характеристик репрезентативных участков. Их актуализация в геоинформационном формате данных предполагается на следующих этапах – будут определены объемы и ареалы водной и ветровой эрозии и других видов деградации почв на репрезентативных участках.

Увеличение пространственного разрешения ЦМР производилось по трем типам нейронных алгоритмов: билинейная интерполяция, бикубическая интерполяция и чересстрочная развертка. Билинейная интерполяция (bilinear interpolation) использует для определения значения ячейки выходного растра значения четырех ячеек, ближайших к центру выходной ячейки. Выходное значение представляет собой среднее этих четырех значений, вычисленное с учетом веса, определяемого расстояниями от центра выходной ячейки до центров соответствующих входных ячеек. Принцип действия бикубической интерполяции (bicubic interpolation) аналогичен билинейной, за исключением того, что среднее значение искомой ячейки с учетом веса, зависящего от расстояния, вычисляется по 12 ближайшим ячейкам.

Чересстрочная развертка (interlace) – метод хранения и отображения изображений, при котором информация о каждом пикселе хранится и отображается построчно, но, в отличие от построчной развертки, каждая строка начинается с разных позиций.

Данные нейронные алгоритмы были опробованы для трех масштабных уровней преобразованной ЦМР – с увеличением в 4, 8 и 16 раз.

Для определения влияния детальности ЦМР на результаты эрозионного моделирования на примере растров, полученных на территорию репрезентативного участка № 2 (д. Курсевичи Поставского района) была рассчитана статистика по ячейкам. Полученные для растров значения максимального и среднего значений LS-фактора и среднеквадратического отклонения представлены в таблице. В качестве контрольных значений использовалась статистика по ячейкам растра LS-фактора, рассчитанного по исходной ЦМР без использования нейронных алгоритмов.

Анализ таблицы показывает, что из полученных с помощью нейронных алгоритмов изображений наиболее информативными оказались растры с наименьшим увеличением (в 4 раза). При значительном увеличении пространственного разрешения (в 8 и в 16 раз) средние значения LS-фактора уменьшаются в 2 и 4 раза соответственно по сравнению с 4-кратным увеличением. Это происходит вследствие того, что с увеличением детализации эрозионные формы рельефа с высокими значениями LS-фактора занимают меньшее число ячеек по сравнению с мелкомасштабными изображениями, а большая часть остальных ячеек принимает значения, близкие к нулю.

Статистика по ячейкам растров LS-фактора, рассчитанного по исходному и преобразованным цифровым моделям рельефа

Тип нейронного алгоритма	Увеличение детальности, раз	Максимальное значение LS-фактора	Среднее значение LS-фактора	Среднеквадратическое отклонение
Билинейная интерполяция	4	3,45	0,04	0,08
	8	2,76	0,02	0,04
	16	2,12	0,01	0,02
Бикубическая интерполяция	4	6,97	0,04	0,10
	8	6,09	0,02	0,05
	16	12,77	0,01	0,04
Чресстрочная развертка	4	5,85	0,04	0,08
	8	6,30	0,02	0,05
	16	5,18	0,01	0,03
Исходная ЦМР без преобразований		10,26	0,38	0,84

Таким образом, с увеличением детальности ЦМР с помощью рассмотренных нейронных алгоритмов эрозионные формы рельефа локализуются в ограниченном пространстве. При этом небольшие перепады значений LS-фактора на основной территории теряются и стремятся к нулю. В результате работы нейронных алгоритмов получаются более четкие и контрастные изображения, что позволяет точнее определять наиболее уязвимые участки сельскохозяйственных земель, нуждающиеся в первоочередном проведении противоэрозионных мероприятий.

М.В. Шмакова

Институт озераедения РАН (СПб ФИЦ)

**СТОК НАНОСОВ РЕКИ ОБЬ
В УСЛОВИЯХ ИЗМЕНЯЮЩЕГОСЯ КЛИМАТА**

Частные водосборы р. Оби в среднем и нижнем течении расположены в различных физико-географических зонах и им соответствуют различные условия формирования твердого и жидкого стока. При этом текущие изменения климата приводят к изменению водности реки и перераспределению ее стока в течение года, а на

водосборной площади, расположенной в зоне вечной мерзлоты, принципиально меняются и условия формирования стока. За весь период наблюдений, согласно линейным трендам, скорость изменения среднегодовых расхода воды и расхода взвешенных наносов на г/м створе р. Обь – г. Колпашево составляют $(-9) \text{ м}^3/(\text{с}\cdot\text{год})$ и $(-6) \text{ кг}/(\text{с}\cdot\text{год})$, соответственно; на г/м створе р. Обь – г. Салехард – $(+11) \text{ м}^3/(\text{с}\cdot\text{год})$ и $(+1) \text{ кг}/(\text{с}\cdot\text{год})$, соответственно.

Однако для второго климатического периода (1991–2020 гг.) в сравнении с базовым (1961–1990 гг.), сток р. Обь – г. Колпашево практически не изменился, тогда как расход взвешенных наносов уменьшился на 55 %. Сток р. Обь в створе г. Салехард также не претерпел значимых изменений (1 %), а расход взвешенных наносов увеличился на 12 %. При этом количество годовых слоев осадков на метеостанциях г. Колпашево и г. Салехард выросло примерно на 10 %, а температура воздуха повысилась более, чем на 1°C .

Хронологический график среднегодовых расходов воды, максимальных среднемесячных и среднегодовых расходов взвешенных наносов в створе р. Обь – г.п. Колпашево показал, что скорость уменьшения максимальных среднемесячных расходов взвешенных наносов составляет $-42 \text{ кг}/\text{с}\cdot\text{год}$, а уменьшение этой величины во втором климатическом периоде по отношению к базовому составило 64 %.

Столь выраженное уменьшение расхода взвешенных наносов в среднем течении р. Оби объясняется значительным уменьшением сельскохозяйственной активности на водосборной площади, которое пришлось на перелом тысячелетий. Так, в 2000 г. в регионе пашни засеяли на 40 % меньше, чем в 1991 г. (Ильиных В.А., 2013). Увеличение же стока наносов в низовьях исследуемого водотока определяется усилением процессов термоэрозии на многолетне-мёрзлой подстилающей поверхности водосбора.

Д.Н. Якимович¹, С.В. Васюков², В.В. Сироткин³

¹Чувашский государственный аграрный университет

²Федеральная служба государственной регистрации, кадастра и картографии по Чувашской Республике

³Казанский (Приволжский) федеральный университет

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ СПЕКТРОГРАММ ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПОЧВЕННЫХ ПАРАМЕТРОВ (НА ПРИМЕРЕ СВЕТЛО-СЕРОЙ ЛЕСНОЙ И ТЕМНО-СЕРОЙ ЛЕСНОЙ ТИПОВ ПОЧВ)

Цель исследования – определение зависимости между типом почвы и типом спектрографической кривой.

В результате выезда на заранее определенные полигоны были взяты почвенные пробы на территории четырех полигонов (Цивильский район, Чувашской Республики): 2 полигона на территории деревни Первое Чемерчеёво и 2 полигона на территории деревни Тебикасы.

Тип почвы был определен на основании данных почвенных карт (табл.1).

Таблица 1

Данные исследуемых полигонов

Номер полигона	Название полигона	Тип почвы
1	Первое Чемерчеёво 1	Темно-серая лесная слабосмытая
2	Первое Чемерчеёво 2	Серая лесная среднесмытая
3	Тебикасы 1	Орошаемая светло-серая лесная слабосмытая
4	Тебикасы 2	Орошаемая светло-серая лесная слабосмытая

Для взятия почвенных проб был использован бур-проботборник (с последующим определением гидрофизических и агрохимических параметров в лицензированной лаборатории ФГАОУ ВО «Чувашский ГАУ») (табл.2).

Таблица 2

Гидрофизические и агрохимические данные, полученные из лаборатории

Номер полигона	Влажность	Гумус	Фосфор	Калий	pH
1	13,3±0,7	5,96±0,60	207,3±41,5	113,9±17,1	5,0±0,1
2	13,2±0,7	2,36±0,47	109,2±21,8	122,6±18,4	4,8±0,1
3	5,5±0,4	2,25±0,45	12,6±4,4	147,6±22,1	5,1±0,1
4	11,5±0,6	1,42±0,28	133,3±26,7	219,7±32,9	5,0±0,1

Для получения спектрограмм был использован спектрорадиометр HandHeld 2 (табл.3).

Таблица 3

Пики (в нм) и их яркость (в скобках, в DN) на различных участках

Номер полигона	Участок 1	Участок 2	Участок 3	Участок 4	Участок 5	Желоб
1	360–380 (500)	460 (2000)	560–600 (2500)	750 и 780 (2200)	840 (1300)	760 (800)
2	440–520 (1400)	580–600 (3300)	620 (3000), 660 (2600), 700 (2700)	740,780 (3000)	840 (1300)	760 (1300)
3	450–520 (1200)	580–700 (2400, 2300, 2100)	720 (2200)	740, 760 (2900)	840 (1800)	760 (1000)
4	450–520 (1000)	560–680 (2100– 1600)	700 (1800)	740, 760 (2300)	840 (1300)	760 (800)

Анализ показал, что на 1-м и 2-м полигонах отмечается подъем пиков на втором и третьем участках. На 3-м и 4-м полигонах – на четвертом участке. Исходя из этого, можно выявить следующую закономерность между типом почвы и спектрограммой, которая не была выявлена в предыдущих исследованиях по данному направлению: в темно-серой почве наблюдается движение пиков сверху вниз, а в светло-серой почве – движение пиков снизу вверх.

Для развития данного направления исследований необходимо увеличение количества точек наблюдения для определения дальнейшей зависимости между типом спектрографической кривой и гидрофизическими и агрохимическими показателями.

**Sha Lou^{1,2}, Yuwen Zou¹, Shuguang Liu^{1,2}, Zhirui Zhang¹,
Xiaosheng Zhou¹, Feng Zhou¹**

¹*Department of Hydraulic Engineering, Tongji University, Shanghai, China*

²*Key Laboratory of Yangtze River Water Environment, Ministry of Education, Tongji University, Shanghai, China*

**DISTRIBUTIONS OF HEAVY METAL CU IN WATER
COLUMN AFFECTED BY VEGETATION UNDER
UNIDIRECTIONAL FLOWS AND REGULAR WAVES³⁸**

The process of heavy metal contamination in wetlands is becoming increasingly prevalent due to rapid urbanization. Heavy metals deposited in the sediment can be re-released into the water under disturbances, leading to significant impacts on the water environment and ecosystem. The release of heavy metals in wetlands is a complex phenomenon involving the intricate interplay of physicochemical and biological mechanisms. To gain insights into the adsorption-desorption processes of Cu under the influence of hydro-sediment dynamics, indoor experiments were conducted in this study, considering the presence of mimic vegetation at a short-term scale. The biological processes were not explicitly considered in these experiments. At the initial stage, the temporal trends of particulate (Cu_P) and dissolved (Cu_D) Copper concentrations were both characterized by initial increments followed by stabilization and continuous escalation. Vertically, the stable concentrations of Cu_P and Cu_D increased with the presence of vegetation and the enhancement of hydrodynamics. To analyze the kinetic processes of heavy metal migration at the water-sediment interface influenced by mimic vegetation under different hydrodynamic conditions, we utilized several equations, including the pseudo-second-order kinetic equation, double constant rate equation, Elovich equation, and parabolic diffusion equation. The pseudo-second-order kinetic equation can best simulate the Cu release process, with R^2 ranging from 0.98 to 0.99. In order to enhance the accuracy of our predictions, we introduced the Stem-Reynolds number (Re_d) into the original pseudo-second-order kinetic equation to account for the influence of mimic vegetation on the re-

³⁸ This study was funded by the National Natural Science Foundation of China (42072281, 41602244), Shanghai Innovation Action Plans (22230712900, 22ZR1464200, 20230742500), Top Discipline Plan of Shanghai Universities-Class I (2022-3-YB-03), and Interdisciplinary Project in Ocean Research of Tongji University (2022-2-YB-01).

lease of heavy metals. As a result of this improvement, the release processes of *Cu* were better predicted using the updated equations. The error between the improved equation and the actual measured value is reduced to less than 10%. These improved methods are suitable for both unidirectional flow and wave conditions affected by mimic vegetation, and they offer vital parameters for numerical simulations of heavy metal transport in riverine or coastal wetlands. This research contributes to a better understanding of the complex processes governing heavy metal dynamics in wetland environments and provides valuable insights for effective environmental management and protection.

СОДЕРЖАНИЕ

Доклады

- Петров Н.Ф., Никонорова И.В., Гуменюк А.Е.,
Никитина О.В., Мулендеева А.В.
**Устойчивость склонов долин рек различных порядков в Чувашии
и ее связь с русловыми и эрозионными процессами**4
- Бик Ю.И., Бучельников М.А., Кофеева В.Н.
**Методологические принципы создания искусственных нейронных
сетей для решения гидроэкологических задач**15
- Голубцов Г.Б., Чалов Р.С.
Условия формирования речных островов и их типизация21
- Коркин С.Е.
**Эрозионные и русловые процессы среднего Приобья
(по стационарным наблюдениям)**29
- Рысин И.И., Григорьев И.И., Пермяков М.А.
**Аномальные проявления овражной эрозии и русловых процессов
на территории Удмуртии**.....36
- Никонорова И.В., Ильин В.Н., Ильина А.А., Никитин А.А.
**Исследование экологического состояния родников Чувашской
Республики и пути их оптимизации**46
- А.И. Петелько
**Противоэрозионная организация территории для сельскохозяй-
ственных предприятий в лесостепной зоне**.....53

Научные сообщения
(авторский алфавитный указатель)

Автономов А.Н.	57, 98	Занозин Вик.В.	111
Айбулатов Д.Н.	58	Зеленская Е.Я.	131
Балобина А.А.	77	Земцов В.А.	116
Баркалов А.О.	156	Иванов М.А.	113
Бармин А.Н.	111	Иванова Н.Н.	89, 153
Барьшников Г.Я.	60	Инишев Н.Г.	116
Барьшников С.Г.	60	Исаев Д.И.	118
Беляков А.А.	64	Кадыров А.С.	77
Бик Ю.И.	66	Казаков А.Г.	104
Большаков Д.В.	68	Камышев А.А.	119, 153
Ботавин Д.В.	72, 74	Карягин Ф.А.	57, 98
Бургов Е.В.	77	Кондратьев А.Н.	122
Буряк Ж.А.	71	Конев В.В.	92
Бучельников М.А.	66	Конева У.А.	146
Варёнов А.Л.	72, 74	Копытов С.В.	124
Васюков С.В.	172	Корогаев В.Н.	126
Вен Гуанг	167	Кофеева В.Н.	66
Вершинин Д.А.	116	Крыленко И.В.	153
Воробьев А.Ю.	77	Курлович Д.М.	167
Воронина Ю.Е.	78	Куракова А.А.	129, 153
Гаврилов О.Е.	98	Ларина Е.М.	118
Гайфутдинов А.М.	81	Лисецкий Ф.Н.	131
Гайфутдинова Т.В.	81	Лобанов Г.В.	133
Гареев А.М.	83	Локтеев Д.С.	77
Гафуров А.М.	85, 87	Лошков О.А.	165
Глейзер И.В.	104	Максимов С.С.	98
Голосов В.Н.	89	Матвеева Н.В.	87
Гордеева И.И.	122	Махинов А.Н.	163
Григорьев И.И.	92	Медведева Р.А.	136
Гусаров А.В.	94	Миронов А.А.	57, 98
Дедова И.С.	96	Михайлова Н.М.	72, 74, 153
Димитриев А.В.	57, 98	Мурашко А.Ю.	64
Егоров Д.А.	106	Мухарамова С.С.	144
Егоров И.Е.	102, 104	Назаров Н.Н.	138
Ермолаев О.П.	85, 136, 144	Никонорова И.В.	106
Жидкин А.П.	89	Паниди Е.А.	156
Жуков И.А.	58	Петелько А.И.	139, 142
Завадский А.С.	68, 109	Поваляев Н.Р.	122
Занозин В.В.	111	Полякова А.Р.	144

Прокопьева К.Н.	146	Чалов С.Р.	146,165
Решетников М.А.	78	Чалова А.С.	72, 74
Рысин И.И.	92	Чекин Г.В.	133
Самохин М.А.	109	Червань А.Н.	167
Семенюк А.С.	167	Чернов А.В.	163
Сидорчук А.Ю.	148	Шакирянов М.Р.	81
Сироткин В.В.	172	Шарифуллин А.Г.	94
Ситнов А.Н.	78	Шестова М.В.	78
Стрюцкая А.О.	122	Шмакова М.В.	158, 170
Сурков В.В.	109, 150, 153	Якимович Д.Н.	172
Тарбеева А.М.	72, 74, 119, 153	Feng Zhou	174
Трофимец Л.Н.	156	Sha Lju	174
Туманов Н.А.	156	Shuguang Liu	174
Турутина Т.В.	158	Xiaoshtng Zhou	174
Турыкин Л.А.	72, 74	Yuwen Zon	174
Чалов Р.С.	160, 163	Zhirui Zhang	174

ДЛЯ ЗАМЕТОК

Научное издание

**Тридцать девятая Всероссийская
с международным участием
межвузовская научная конференция
по проблеме эрозийных, русловых
и устьевых процессов
Межвузовского научно-координационного совета
при МГУ имени М.В. Ломоносова**

Доклады и сообщения

Печатается в авторской редакции

*Ответственность за достоверность цитат, имен, названий и иных сведений,
а также за соблюдение законов об интеллектуальной собственности
несут авторы представленных статей.*

Согласно Закону № 436-43 от 29 декабря 2010 года
данная продукция не подлежит маркировке

Подписано в печать 28.08.2024. Формат 60×84/16.
Бумага газетная. Печать офсетная. Гарнитура Times.
Усл. печ. л. 10,46. Уч.-изд. л. 10,18. Тираж 200 экз. Заказ № 991.

Отпечатано в соответствии с представленным оригинал-макетом
в типографии Чувашского госуниверситета
428015 Чебоксары Московский просп., 15