

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

*Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова
Рязанский государственный университет имени С.А. Есенина*

**Тридцать седьмое пленарное
межвузовское координационное совещание по проблеме
эрозионных, русловых и устьевых процессов**



основан в 1985 г.

Рязань, 3-7 октября 2022 г.

Доклады и сообщения

Рязань, 2022

УДК 556.537(082)
ББК 26.222.06я43
М15

Тридцать седьмое пленарное межвузовское координационное совещание по проблеме эрозионных, русловых и устьевых процессов (г. Рязань, 3-7 октября 2022 г.): Доклады и сообщения. М.: МГУ. 2022. 192 с.

Сборник содержит результаты исследований учёных вузов России, Беларуси, Узбекистана, Китая, объединяемых Межвузовским научно-координационным советом по проблеме эрозионных, русловых и устьевых процессов при МГУ, представленных в виде докладов и сообщений на XXXVII пленарном совещании совета. Сборник рассчитан на специалистов в области русловых процессов, гидрологии рек, флювиальной геоморфологии, гидротехники, почвоведения, водных путей и мелиорации.

Редакционная комиссия:

профессор Р.С. Чалов, к.г.н. А.Ю. Воробьёв

(сопредседатели): *к.г.н. С.Н. Рулёва (учёный секретарь), к.г.н. С.Н. Ковалёв,
д.г.н. А.В. Чернов, к.г.н. Н.Н. Виноградова*

Печатается по постановлению Президиума

*Межвузовского научно-координационного совета по проблеме
эрозионных, русловых и устьевых процессов при МГУ
на средства научно-исследовательской лаборатории
эрозии почв и русловых процессов им. Н.И. Маккавеева
МГУ имени М.В. Ломоносова*

ISBN 978-5-00147-458-6



© Коллектив авторов, 2022
© МГУ имени М.В. Ломоносова, 2022
© Рязанский государственный университет
имени С.А. Есенина, 2022
© МНКС по проблеме эрозионных, русловых
и устьевых процессов при МГУ
имени М.В. Ломоносова, 2022

ДОКЛАДЫ

ОСОБЕННОСТИ И РЕЗУЛЬТАТЫ ПРОЯВЛЕНИЯ ОБРАЖНОЙ ЭРОЗИИ НА ТЕРРИТОРИИ РЯЗАНСКОЙ ОБЛАСТИ

По нашей оценке, основанной на результатах дешифрирования крупномасштабных космических снимков, анализа топографических карт масштаба 1:25000, а также полевых работ, овраги на территории Рязанской области в том или ином количестве фиксируются в пределах всех, выделенных ранее [Кривцов и др., 2018] геоморфологических районов и за рядом исключений подрайонов (рис. 1). В структуре эрозионной сети в каждом из них они занимают разное место (табл. 1).

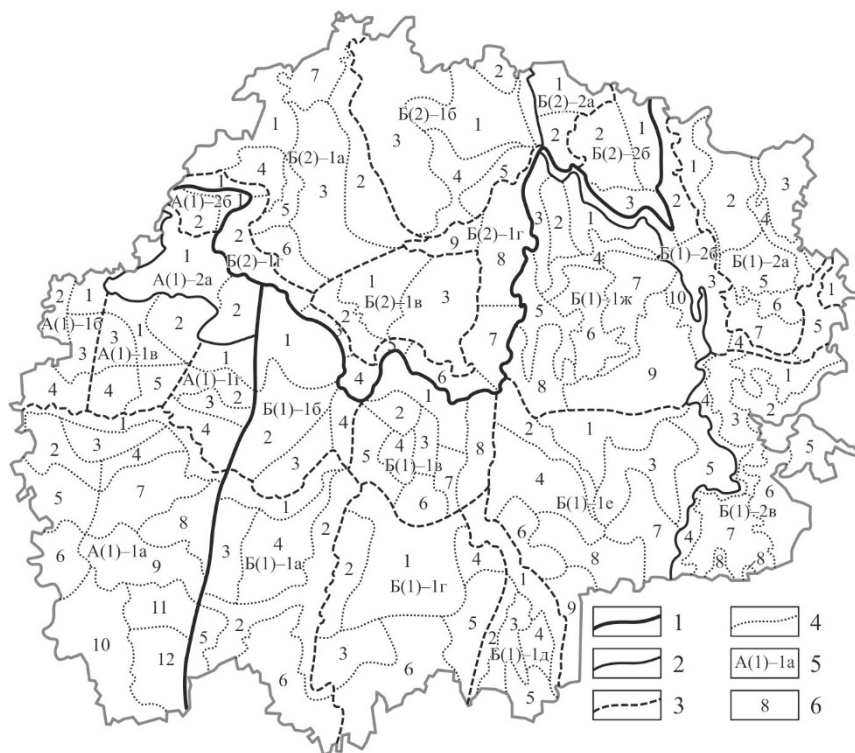


Рис. 1. Фрагмент картосхемы геоморфологического районирования территории Рязанской области на локальном уровне: 1 – границы геоморфологических подобластей, 2 – границы геоморфологических районов, 3 – границы геоморфологических подрайонов, 4 – границы геоморфологических местностей, 5 – индексы геоморфологических подрайонов, 6 – номера геоморфологических местностей.

Таблица 1 Структура эрозионной сети геоморфологических районов и подрайонов на территории Рязанской области

Районы, подрайоны, площадь; км ²	эрозионная сеть			
	долины, км/%	балки, км/%	овраги, км/%	Общая протяженность эрозионной сети, км
Верхнедонской А(1)-1; 7018,3	1659/35,0	2854/60,3	221/4,7	4734
Пронско-Донской А(1)-1а; 4402,5	1005/31,6	2000/63,0	171/5,4	3176
Михайлово-Зарайский А(1)-1б; 791,9	214/47,3	229/50,5	10/2,2	453
Михайлово-Рязанский А(1)-1в; 1065,3	268/41,1	353,5/54,1	31,5/4,8	653
Пронско-Рязанский А(1)-1г; 758,6	172/38,1	271/60,1	8/1,8	451
Рязанский А(1)-2; 1091,3	202/30,8	438/66,8	16/2,4	656
Вожский А(1)-2а; 837,6	180/36,4	303/61,3	11/2,2	494
Константиновский А(1)-2б; 253,7	22/13,6	135/83,3	5/3,1	162
Окско-Воронежский Б(1)-1; 16392,3	2604/34,4	4594/60,6	376/5,0	7574
Раново-Пронский Б(1)-1а; 2687,9	457/37,6	705/58,0	53/4,4	1215
Нижне-Пронский Б(1)-1б; 1553,5	292/36,5	470/58,6	39/4,9	801
Пара-Пронский Б(1)-1в; 1613,1	310/39,2	427/54,0	54/6,8	791
Хупта-Пара-Воронежский Б(1)-1г; 2890,3	380/25,6	1053/70,3	46/3,1	1479
Верхнепарский Б(1)-1д; 826,0	210/36,4	362/62,7	5/0,9	577
Пара-Цнинский Б(1)-1е; 3531,9	517/37,6	810/59,0	47/3,4	1374
Окско-Цнинский Б(1)-1ж; 3289,6	438/32,8	767/57,4	132/9,8	1337
Цнинско-Мокшинский Б(1)-2; 5599,6	957/52,1	859/46,8	20/1,1	1836
Ермишинский Б(1)-2а; 2150,8	315/42,3	419/56,2	11/1,5	745
Окско-Мокшинский 1-2б; 1152,4	236	-	-	236
Цнинско-Мокшинский Б(1)-2в; 2296,4	406/47,5	440/51,5	9/1,0	855
Мещерской низины Б(2)-1; 8390,3	940/71,7	364/27,8	6/0,5	1310
Пранско-Приокский Б(2)-1а; 2709,8	264/77,2	78/22,8	-	342
Тумско-Куршинский Б(2)-1б; 2511,7	388/59,5	260/39,9	4/0,6	652
Ижевский Б(2)-1в; 1305,	66/70,2	26/27,7	2/2,1	94
Окский Б(2)-1г; 1863,4	222	-	-	222
Окско-Клязьминский Б(2)-2; 1245,9	221/31,8	385/55,5	88/12,7	694
Сынтуйский Б(2)-2а; 429,4	78/40,8	89/46,6	24/12,6	191
Касимовский Б(2)-2б; 816,5	143/28,4	296/58,9	64/12,7	503
Всего	6583/39,2	9494/56,5	727/4,3	16804

В рязанской части Среднерусской возвышенности насчитывается 942 оврага, в т.ч. в пределах приподнятой ее ступени (Верхнедонской геоморфологический район) – 841, в границах сниженной ступени (Рязанский геоморфологический район) – 101 овраг. На основные ветви оврагов приходится 74% всего их количества. Длина оврагов на разных участках изменяется от первых десятков метров до 1000 м и более, и в среднем, с учетом отвершков, составляет 0,25 км, в т.ч. в пределах Верхнедонского района – 0,26 км, Рязанского – 0,16 км. Бассейну р. Оки принадлежит 741 овраг, бассейну Дона – 100 оврагов.

В рязанской части Окско-Донской равнины к настоящему времени сформировано 2149 оврагов. 1318 из них приходится на основные врезы. Наибольшее количество оврагов располагается в краевой части Окско-Цнинского геоморфологического подрайона, в краевой части сниженного

одноименного плато (638 штук), а также в пределах Пара-Цнинского геоморфологического подрайона (375 штук).

В мешерской части Рязанской области насчитывается 276 оврагов, более 258 из них располагаются в пределах Окско-Клязьминского геоморфологического района, занимающего южную часть сниженного Коврово-Касимовского плато с его Касимовским ополем [Водорезов, Кривцов, 2005]. В геоморфологическом районе Мешерской низины овраги редки. Фиксируются они лишь в пределах уступов надпойменных террас Оки, опирающихся на пойму, в т.ч. у Солотчи, на участке между селами Мурмино и Панино, и на участке от с. Ужалье до с. Юшта.

Глубина оврагов в рязанских частях Среднерусской возвышенности, Окско-Донской равнины и на Коврово-Касимовском плато изменяется от 2-3 м в их верховьях, в пределах придолинных пологонаклонных участков междуречий, до 6-10 м на выходе в балки и до 12-15 м при впадении их в речные долины. Практически все учтенные нами овраги на то или иное расстояние проникают в пределы придолинных пологонаклонных участков междуречий. Собственно склоновые овраги – достаточно редкие образования. Фиксируются они лишь по крутым бортам долин наиболее крупных рек – Прони, Вёрды, Брусны, Рановы, Пары, Цны и Мокши. Выработанные преимущественно в толще рыхлых четвертичных отложений – в покровных лессовидных суглинках и подстилающих их ледниковых, местами водноледниковых, песчаных отложениях, овраги имеют V-образную форму и крутые, от 45 до 60° склоны. Бровки склонов четко выражены в рельефе.

Полевые наблюдения в бассейнах рек Прони, Вёрды, Паники, Брусны, Сухой и Мокрой Полотебни, Рановы и Кочуровки, Жраки, Вожи, Павловки и Плетенки в пределах Среднерусской возвышенности, в долинах рек Прони, Вёрды, Пары и Цны на Окско-Донской равнине и в бассейне р. Унжи на Коврово-Касимовском плато, показали, что к настоящему времени активная фаза развития оврагов завершилась. Их склоны практически повсеместно задернованы, местами залесены. Исключение составляют стенки срыва на участках формирования мелкоблоковых оползней, площадью до 20 м² и оползней-оплывин с глубиной захвата до 0,8 м, редко более, площадью до 10 м². В днищах оврагов идет накопление материала, поступающего со склонов, вследствие чего они расширены до 2-4 м. Мощность отложений, выполняющих днища оврагов, вскрытых шурфами, изменяется от 1,0 до 3,0 м. Комплекс противоэрозионных мероприятий, проводившиеся в середине прошлого века (создание противоэрозионных валов в вершинах растущих оврагов, посадка лесополос, прекращение распашки примыкающих к склонам долин пологонаклонных участков междуречий в полосе шириной от 20 до 100 м), обусловили затухание процессов овражной эрозии.

Практически все существующие в настоящее время овраги на территории Рязанской области – антропогенно-инспирированные образования. Формирование их связано с хозяйственной деятельностью – прежде всего с

распашкой междуречий, а также выположенных участков склонов речных долин и балок, прокладкой дорог, с выпасом скота. Наиболее активно образование оврагов на данной территории происходило в XVIII-XIX веках. Значительное количество оврагов сосредоточено в пределах денудационно-тектонического уступа, отделяющего Среднерусскую возвышенность от Окско-Донской равнины.

Начиная с 1998 г. нами специально изучаются овражные системы в бассейнах ручьев Серебрянка и Чёрная речка, а также Спасского оврага, проникших на территорию городища Старая Рязань – археологического памятника эпохи раннего средневековья, расположенного на правом берегу р. Оки в краевой части Старорязанского плато. Относительная высота плато в пределах городища составляет 45-48 м. Глубина оврагов в их верховьях на городище составляет 2-3 м, на выходе за пределы городища – до 15 м. Наиболее значимые результаты получены по Спасскому оврагу. По результатам изучения отложений в его днище и в конусе выноса, с учетом датировок артефактов из культурных слоев, установлено время заложения и основные этапы его развития. Появление оврага вызвано устройством оборонительного вала и рва Северного городища. Эрозия днища рва и трансформация его в овраг происходила во второй половине XI века и после перерыва во второй половине XII века. Третий этап активного развития оврага и роста его вершин приходится на период между 1732 г. и второй половиной XIX века и был связан с распашкой поверхности городища. После того как на городище пахать перестали, продвижение вершины оврага в направлении Спасского собора прекратилось, началось активное накопление материала, сносившегося со склонов. К настоящему времени в днище оврага сформировалась толща рыхлых, горизонтально слоистых, преимущественно суглинистых отложений мощностью до 3 м. Ширина днища оврага при этом увеличилась до 3-5 м [Кривцов, Водорезов и др., 2020].

ЛИТЕРАТУРА

Водорезов А.В., Кривцов В.А. Антропогенная трансформация рельефа на территории Рязанской области и ее роль в формировании современных ландшафтов. Рязань: Изд-во Рязан. гос. ун-та. 2005.

Кривцов В.А., Водорезов А.В., Комаров М.М. Геоморфологическое районирование территории Рязанской области на локальном уровне // Вест. Рязан. гос. ун-та имени С.А. Есенина. 2019. №3/64.

Кривцов В.А., Водорезов А.В., Воробьев А.Ю., Тобратов С.А. Особенности и результаты проявления экзогенных рельефообразующих процессов в долине р. Оки в ее среднем течении в голоцене. Рязань: Рязан. гос. ун-т имени С.А. Есенина. 2020.

ДЕФИЦИТ АНТРОПОГЕННОГО ПРЕССИНГА КАК ПРИЧИНА ВРЕДНЫХ РУСЛОВЫХ ПРОЦЕССОВ

При нынешней пропаганде *невмешательства в природные процессы* под "антропогенным прессингом" понимаются и загрязнения вод, и неграмотно внедренные в речные русла опоры мостов, причалы, переходы трубопроводов, и вместе с ними – позволяющие решать различные водные проблемы подпорные гидроузлы. И это притом, что *все* существующие водные проблемы решаются посредством подпора вод плотинами, и нет таких водных проблем, которые могли бы быть эффективно и надолго решены иначе.

Выступление Н.С. Хрущева на открытии Куйбышевской ГЭС 10 августа 1958 г. ознаменовало внезапный переворот (буквально с ног на голову) всей социально-экономической деятельности государства. Под видом переориентации электроэнергетики на будто бы "более дешевые", чем ГЭС, тепловые электростанции на угле, оно фактически замкнуло транспортно-энергетический комплекс на самообслуживание, а население — на обслуживание транспортно-энергетического комплекса. Добывать, перевозить и сжигать топливо для того, чтобы добывать, перевозить и сжигать топливо [Беляков, 2016].

В результате в стране была остановлена комплексная реконструкция рек (все построенное позднее – построено по инерции и с утратой комплексности) и введено *табу* на постройку плотин и водохранилищ.

Это *табу* внедрилось в сознание людей, порождая извращенные представления о реальности: и в наводнениях, и в маловодьях обвиняют плотины, тогда как истинная причина — не плотины, а их дефицит (табл. 1).

Таблица 1. Количество больших плотин* в разных странах (2020 г.)

Страна	Количество больших плотин, штук	Больших плотин на 1000 кв. км территории страны	Больших плотин на 1 куб. км годового стока рек
КНР	23841	2,574	9,504
США	9265	0,986	4,411
Индия	5100	1,551	2,727
Япония	3130	8,280	7,451
Россия	69	0,0040	0,0161

**Большими* обычно считают плотины высотой более 15 м. Их регистрирует Международная комиссия по большим плотинам (ICOLD-CIGB).

За два десятилетия XXI века в мире построены многие тысячи новых больших плотин: в США — около 3 тыс., в Индии — 2,5 тыс., в Японии — около 7 сотен и т.д. Некоторое уменьшение числа больших плотин в КНР объясняется оптимизацией каскадов водохранилищ на реках: некоторые

ступени каскада упраздняют с соответствующим увеличением подпора на расположенной ниже ступени. Подобное могло бы быть и в России: согласно утвержденному в установленном порядке в 1970-х гг. проекту шлюзования нижнего Дона ниже устья Северского Донца предполагалась постройка Багаевского и Аксайского гидроузлов, причем Кочетовский гидроузел должен был быть упразднен. Но поскольку коррупционно построенный в 2007 г. новый Кочетовский шлюз торжественно открывало важное государственное лицо, упразднить и затопить этот шедевр стало невозможно, створ Багаевского гидроузла перенесли значительно ниже, а Аксайский директивно предали забвению.

Массовое строительство плотин в мире будет продолжаться до тех пор, пока водохранилища не будут устроены всюду, где это возможно, и сток рек не будет ими предельно зарегулирован.

Россия не участвует в этом процессе. Больших плотин в России столько же, сколько в Польше, и даже на несколько штук больше, чем в Перу или Колумбии. А за два десятилетия XXI века здесь лишь достроили несколько больших плотин из позднесоветского долгостроя (Богучанскую на р. Ангаре, Бурейскую и Нижне-Бурейскую, Курейскую, Светлинскую на р. Вилное, Ирганайскую на р. Сулаке).

Табу на плотины и водохранилища проявляется и в российской научно-технической печати. Факт разборки где-то в Америке какой-то старой и давно неработоспособной плотины отражен едва ли не в десятке публикаций, а активное строительство тысяч больших водохранилищных плотин в КНР, США и других странах мира освещения не находит. И в учено-гидрологическом сообществе бытует извращенное мнение, что будто бы в мире (как и в России) новых плотин не строят, а старые ликвидируют для "восстановления рек".

Непрерывность каскада (нижние бьефы гидроузлов должны быть подперты нижележащими ступенями) — одно из важнейших требований при комплексной реконструкции рек, оно обеспечивает двойное регулирование расходно-уровневого режима (попуском верхнего гидроузла и подпорной отметкой нижнего) [Речная доктрина, 2015]. Непрерывность каскада соответствует самой природе реки: в 1880-х гг. начальник Волжской описной партии профессор Богуславский 1-й сравнивал Волгу с цепочкой глубоководных озер (плёсов), соединенных между собой мелководными протоками (перекатами) [Богуславский, 1887]. Невыполнение требования непрерывности каскада неизбежно ведет к развитию вредных русловых процессов.

Но укоренившееся в стране *табу* на постройку плотин и водохранилищ породило и критику "принципа непрерывных каскадов", и "обоснование" отказа от него [Авакян, Шарапов, 1977]. Не рассматривая ряд явно спорных тезисов социального и экологического характера, необходимо обратить внимание на следующее.

Утверждение, что "этот принцип, выдвинутый еще в начале 20-х годов... дает возможность полностью использовать гидроэнергетический потенциал водотока и создает наилучшие условия для эксплуатации водно-

го транспорта, которому обеспечиваются... единообразные условия плавания на всем водотоке" верно. Однако далее утверждается, что "прогресс в области строительства тепловых и атомных станций и линий электропередачи, а также быстрое развитие всех видов транспорта, в особенности трубопроводного, автомобильного и авиационного, ослабляют требования к полному использованию гидроэнергетического потенциала и создания любой ценой водных путей" и рекомендуется "не предусматривать создания заведомо неэффективных объектов, нередко намечаемых в схемах лишь для соблюдения принципа создания непрерывных каскадов" [Авакян, Шарапов, 1977].

Но от развития авиационного или трубопроводного транспорта физические законы действовать не перестали, и вредные русловые процессы в неподпертых нижних бьефах гидроузлов и в хвостах водохранилищ атомная энергетика не остановила. И именно преимущественное развитие теплоэнергетики и наиболее энергоемких видов транспорта в СССР–РФ с начала 1960-х гг. привело к замыканию транспортно-энергетического комплекса на самообслуживании и росту непроизводительных народнохозяйственных затрат. А это может быть преодолено только лишь совместным развитием системы глубоководных путей и гидроэнергетики [Беляков, 2016].

"Заведомая неэффективность объектов" определялась сопоставлением комплексных водохранилищных гидроузлов с тепловыми электростанциями без учета топливно-транспортной базы последних. Например, после отказа от "заведомо неэффективных" Калининской и Старицкой ступеней Верхневолжского каскада, осталась одна Ржевская ступень, целесообразность ее сооружения доказана не была, а в результате все проблемы, которые должны были быть решены Верхневолжским каскадом (в том числе и улучшение водоснабжения Москвы), остались нерешенными.

Вместе с тем, до установления *табу* на постройку плотин "посадки уровней" в неподпертых нижних бьефах водохранилищных гидроузлов и аккумуляция наносов в зонах выклинивания подпора были хорошо известны [Проектирование ..., 1967], и размещение подпорных гидроузлов на реках проектировалось с соблюдением непрерывности каскада. Но вследствие *табу* построенные гидроузлы, первоначально проектировавшиеся как ступени каскадов, работают изолированно, что ведет к вредным русловым деформациям в их неподпертых нижних бьефах и в зонах переменного подпора водохранилищ [Беркович, 2001].

Нижний бьеф Новосибирского гидроузла на р. Оби должен был быть подперт Батуриным гидроузлом, а в зоне выклинивания подпора Новосибирского водохранилища должен был быть расположен Каменский гидроузел с водохранилищем многолетнего регулирования (по проектным данным середины 1950-х гг.).

Из-за отсутствия Батуриного гидроузла и подпора от него в нижнем бьефе Новосибирского гидроузла идет донная эрозия, сопровождающаяся "посадками уровней". Процесс активно исследуется с 1980-х гг., но ни в

одной из множества научных публикаций нет простого и очевидного вывода, что *нижний бьеф Новосибирского гидроузла должен быть подперт*.

Между тем, после пуска первого гидроагрегата в 1957 г., Новосибирская ГЭС еще до начала 1961 г. полностью окупилась и себя, и водохранилище. За следующие 2,5 года она дала средства, достаточные для постройки Батуриного гидроузла, еще за 3,1 года — для постройки Каменского гидроузла. Будучи построенными, они бы вместе вырабатывали все больше и больше киловаттчасов, конвертируемых в поступающие владельцу ГЭС (государству) денежные доходы.

И что же — у государства нет денег на водные проекты? Нет, действует *табу* на плотины и водохранилища (табл. 1).

Разрыв Волжско-Камского каскада. По свидетельству Б.К. Александрова (1889–1973), с 1930 г. в разных должностях принимавшего самое прямое и деятельное участие в проектировании и строительстве гидроузлов Волжско-Камского каскада, изначально общей схемы каскада не было, проектирование и строительство велось "последовательно, от гидроэлектростанции к гидроэлектростанции" [Александров, 1974]. Тем не менее, благодаря профессиональному мастерству инженеров старой школы, принцип непрерывности каскада выдерживался.

Но после утверждения *табу* на плотины и водохранилища, последние две из строившихся ступеней Волжско-Камского каскада, Чебоксарская и Нижнекамская, не завершены строительством, не приняты государством в постоянную эксплуатацию, и уже около четырех десятилетий эксплуатируются при временных отметках подпора ниже проектного УМО. Налицо саботаж имеющих силу закона государственных проектов.

Вследствие этого разрушены системы, в состав которых Чебоксарское и Нижнекамское водохранилища должны были входить как неотъемлемые составные части: Волжско-Камский каскад водохранилищ разорван свободными (неподпертыми) участками Волги и Камы, а Единая глубоководная система ЕТР фактически разорвана на 3 части отсутствием потребных судоходных глубин на этих участках.

На участке р. Волги от Горьковского гидроузла до г. Нижнего Новгорода глубины обеспечиваются специальными попусками через Горьковский гидроузел, причем с течением времени нарастает "посадка уровней", и для получения требуемой глубины требуется все больший попуск. Это закономерно и обусловлено наложением двух процессов: свойственной всем водохранилищным гидроузлам донной эрозии в неподпертом нижнем бьефе, а также путевыми дноуглубительными работами, чрезвычайно активными со второй половины 1960-х гг. в предвидении заполнения Чебоксарского водохранилища до НПУ 68,0 м. В итоге уже к середине 1970-х гг. перекаты выше г. Балахны были фактически ликвидированы. На Каме ниже Воткинского гидроузла дноуглубительные работы столь активно не велись, но "посадка уровней" также имеет место.

Положительные решения о заполнении Чебоксарского и Нижнекамского водохранилищ принимались правительственными органами неод-

нократно, но они саботированы. Реальных причин для отказа от заполнения этих водохранилищ нет, и их существование в нынешнем виде наносит возрастающий с течением времени социально-экономический и экологический вред. Вместе с тем проектирование "Нижегородского низконапорного гидроузла" (ННГ) без Государственной приемки в постоянную эксплуатацию Чебоксарского гидроузла и водохранилища — противозаконно. Оба водохранилища должны быть заполнены до проектного НПУ 68,0 м, а средства, потраченные на НИИПИР по ННГ — возвращены в государственный бюджет.

Ока. Когда в середине 1990-х гг. "посадки уровней" воды в р. Оке из-за вредительской разработки русловых карьеров превысили на участке от Калуги до Коломны 1,5 м, стало ясно, что иного решения комплекса проблем р. Оки, кроме реконструкции ее в каскад водохранилищ, не существует [Беляков, Колесников, 2002]. Об этом неоднократно было заявлено публично и доведено до сведения властей, но последние не слышат: разработка карьеров продолжается, "посадки уровней" прогрессируют, отчего лимитировать глубину (и, соответственно, осадку судов, везущих в Москву добытые в русле Оки НСМ) стали уже пороги Кузьминского и Белоомутского шлюзов. И для обеспечения доставки в Москву НСМ, добытых ценою фактической гибели Оки, власти, ни с чем и ни с кем не считаясь, соорудили новые Кузьминский и Белоомутский гидроузлы с прежними параметрами, без гидроэлектростанций и мостовых переходов.

Между тем еще в начале XX в. обострившиеся проблемы Оки (наводнения, маловодья, низкое природное качество воды) закономерно привели к осознанию необходимости регулирования ее стока водохранилищами, устройства по Оке магистрального глубоководного пути с выходами в Днепр и Дон и с кардинальной реконструкцией шлюзованного (с 1878 г.) водного пути по р. Москве в Москву.

Это нашло выражение в разработанной в 1934 г. Московско-Окским бюро Гидроэнергопроекта НКТП в контексте реконструкции Волго-Каспия "Схеме реконструкции р. Оки" [Гаврилов, 1935].

Выше Коломны предполагалось создание регулирующих водохранилищ при гидроузлах Коломенском, Калужском, Косовском, которые подводили глубоководный путь к Окско-Днепровскому соединению (Ока – Жиздра – соединительный канал – Десна – Днепр). Ниже Коломны, где Ока протекает по широкой (до десятков километров) пойме, намечалась постройка 6 гидроузлов со сравнительно невысокими напорами, от 4 до 7 м. В частности, вместо Белоомутского и Кузьминского гидроузлов проектировался один Кузьминский, но с удвоенным напором. В составе всех окских гидроузлов проектировались гидроэлектростанции.

Экспертная комиссия Госплана СССР по реконструкции р. Волги (1934 г.) признала "несомненной" высокую эффективность транспортно-энергетической реконструкции Оки в целом и, в частности, первоочередных верхнеокских гидроузлов. Энергетическая секция Комиссии утверждала, мотивируя это рядом веских причин, что "строительство окских станций следует особенно форсировать". В 1939 г. НКВД даже приступил к строи-

тельству Калужского гидроузла, но с началом войны оно было прекращено, и хотя возобновление строительства намечалось на 1949 г., оно (как и множество других гидротехнических строек НКВД) возобновлено не было. В 2017 г. в створе Калужского гидроузла построен мост объездной автомобильной дороги.

В 1950 г. Схема реконструкции р. Оки была Гидроэнергопроектом переработана, в ней между Коломенским и Калужским гидроузлами поместили Серпуховскую ступень, головной узел канала Ока – Москва. Функционально аналогичный Каналу им. Москвы, он позднее входил в первую Схему комплексного использования и охраны водных ресурсов СССР (1961 г.). В 1970-х гг., он даже был включен в Титульный список водохранилищ и каналов комплексного назначения, намечаемых к строительству до 1990 г., со сметной стоимостью 214 млн. руб. Причины неосуществления финансированного государством проекта не известны.

Отказ от комплексной реконструкции Оки не объясним. Однако ясно, что если бы Окские гидроузлы (хотя бы первоочередные, выше Коломны) были построены, современные проблемы Оки не возникли бы. В частности, разработка русловых карьеров в подпертых бьефах никакого воздействия на их уровеньный режим не оказывала бы.

Заиление Чиркейского водохранилища, образованного в 1976 г. знаменитой арочной плотиной высотой 232,5 м, о чем сообщал А.Ю. Александровский [Особенности ..., 2016], объясняется исключительно многодесятилетней задержкой ввода в эксплуатацию Ирганайского водохранилища, заполненного только в 2008 г. Расположенное выше по течению р. Сулака, оно должно было перехватывать наносы, но его не было, и наносы транзитом поступали в Чиркейское водохранилище.

Негативный опыт такого рода в СССР уже был, на нем следовало бы научиться. Так, в 1968 г. на р. Вахше взрывонабросной плотиной было образовано Байпазинское водохранилище, из которого по туннелю длиной 7,5 км вода подается в Яванскую долину. Расположенный выше Нурекский гидроузел в то время уже строился, т.к. предполагался перехват наносов Нурекским водохранилищем. Но из-за вредительски замедленного финансирования строительства его завершение (по проекту — в первой половине 1970-х гг.) отодвинулось на 10–12 лет, за которые Байпазинское водохранилище было полностью заилено, и в середине 1980-х гг. его плотину пришлось наращивать.

Создание каскадов водохранилищ на реках с большим стоком наносов для сохранения и нормальной эксплуатации уже существующих водохранилищ должно быть строго выверенным по времени и охватывать весь бассейн. При этом в верхних звеньях бассейнов (особенно это касается североопасных логов) целесообразно сооружение фильтрующих плотин.

Внедренные в русла рек руинированные или недостроенные гидротехнические сооружения. В России много рек с такими инвазиями. Они могут быть разделены на несколько групп.

1) Руины гидротехнических сооружений, построенных и эксплуатировавшихся в XIX веке, но в советское время заброшенных. Таковы, например, остатки бывшей Тихвинской судоходной системы, имевшей в своей шлюзованной части 62 ступени (деревянные плотина и шлюз) и заброшенной на основании решения Леноблисполкома от 26 августа 1965 года [Беляков, Беляков (мл.), 2007].

2) Остатки гидротехнических сооружений, построенных в 1930–50-е гг. – небольших гидроэлектростанций (колхозных, межколхозных и т.п.), в конце 1950-х гг., заброшенных и разграбленных.

3) Остатки начатых строительством в 1960–80-х гг., недостроенных и брошенных гидротехнических сооружений индустриального типа. Наиболее яркий пример — Крапивинский гидроузел на р. Томи.

Наконец, в стране имеются многие тысячи более или менее разрушенных бесхозных плотин, ранее образовавших пруды.

Во всех этих случаях "антропогенный прессинг" (подпор речных вод адекватно эксплуатируемыми плотинами) прекращен и природные процессы протекают свободно. Налицо "восстановление природной среды". Результаты этого и не известны, и не исследуются. Но для жизни людей они вредны.

ЛИТЕРАТУРА

Авакян А.Б., Шарапов В.А. Водохранилища гидроэлектростанций СССР. М.: Энергия, 1977.

Александров Б.К. Комплексное использование р. Волги // Гидротехническое строительство. 1974. № 6.

Беляков А.А. Транспортно-энергетическая водная сеть России М.; СПб.: Нестор-История. 2016.

Беляков А.А., Беляков А.А. (мл.) История, современное состояние, перспективы бывшей Тихвинской судоходной системы // Вопросы истории естествознания и техники. 2007. № 3.

Беляков А.А., Колесников Ю.М. Ока: современное состояние, проблемы, перспективы // Водное хозяйство, порты и портовые сооружения, объекты строительства на шельфе. Сб. науч. тр. М.: МГСУ, 2002.

Беркович К.М. Географический анализ антропогенных изменений русловых процессов. М.: ГЕОС, 2001.

Богуславский Н.А. Волга, как путь сообщения. СПб. 1887.

Гаврилов В.В. Реконструкция р. Оки // Проблема реконструкции бассейна реки Оки. М.-Л.: АН СССР. 1935.

Особенности функционирования гидроэнергетики России в изменяющихся внешних условиях. Под ред. А.Ю. Александровского, В.В. Клименко. М.: Энергия. 2016.

Проектирование речных гидроузлов на не скальных основаниях. М.: Энергия, 1967.

Речная доктрина Российской Федерации. Проектно-аналитический доклад к разработке доктрины. М. 2015.

О.П. Ермолаев

Казанский (Приволжский) федеральный университет

НОВАЯ ОЦЕНКА ИНТЕНСИВНОСТИ ПОЧВЕННОЙ ЭРОЗИИ НА ЕВРОПЕЙСКОЙ ТЕРРИТОРИИ РОССИИ*

Проблема количественной оценки темпов почвенной эрозии является одной из ключевых в плане сохранения продуктивности земель и обеспечения населения продовольствием. Подзоны смешанных и широколиственных лесов, а также лесостепные и степные равнинные ландшафты европейской территории России (ЕТР) – основная сельскохозяйственная житница страны, где широко развиты плодородные почвы. Этот фактор во многом исторически обусловил высокую земледельческую освоенность региона. Бассейны многих рек распаханы более чем на 70-80%. Пашнями заняты все более или менее удобные участки. Длительное и интенсивное сельскохозяйственное воздействие привело к значительной по интенсивности и площадному охвату почвенной эрозии природно-антропогенного характера, когда смыв превышает допустимые потери почвы. Вопросам количественной оценки интенсивности почвенной эрозии, а также ее пространственного развития с использованием эрозионного моделирования в пределах объектов разного уровня генерализации – от малого водосбора до континента – уделяется большое внимание. В научной литературе за последние годы наблюдается много публикаций результатов подобных исследований, носящих лавинообразный характер.

В докладе рассматривается методика и результаты оценки интенсивности эрозии почвы ЕТР на основе получения новых и современных оценок факторов эрозии: эрозионного потенциала осадков (ЭПО) и рельефа (ЭПР), почвозащитной роли растительности, запасов воды в снеге. Анализ опубликованных материалов показывает, что полученные на рубеже и в начале 2000-х гг. величины эрозионных потерь почвы ЕТР, как правило, имеют низкую пространственную детальность. Они обобщены либо на укрупненные по условиям рельефа ареалы (так называемые морфологические районы), либо на единицы административно-территориального деления, либо только на земли сельхозназначения; при этом часто вызывает вопрос реалистичности и актуальности используемых в расчетах эрозии глобальных ЦМР и других параметров [Borrelli P. et al., 2017; Литвин, 2002; Panagos et al., 2015]. В предлагаемом докладе приводятся уточненные результаты ранее полученных оценок интенсивности эрозии почв ЕТР (Maltsev, Yermolaev, 2019; Maltsev, Yermolaev, 2020). Кроме того, они даются на максимально высоком для такой большой территории (около 4 млн. кв²) уровне пространственной детальности: значения определены в каждой ячейке раstra с шагом 250 м, а затем обобщены на лучшие, с точки зрения интерпретации эрозионного процесса, геосистемные образования – бассейны малых рек. С уче-

*Исследование выполнено при финансовой поддержке Российского научного фонда (проект № 22-17-00025).

том детальности исходных данных полученные результаты соответствуют масштабу 1:500000.

Оценка интенсивности эрозионных потерь почвы за период ливневого поверхностного стока выполнялась на базе модели, даваемой универсальным уравнением потерь почвы (USLE/RUSLE), где смыв почвы (т/га в год) определяется как композиция факторов эрозии: R–фактор осадков (эрозионный потенциал дождевых осадков, ЭПО); K–фактор эродуемости (смываемости) почвы; LS–фактор рельефа; C–фактор растительности (хозяйственно-агрономический); P–фактор эффективности противоэрозионных мер нами не учитывался. Для оценки эрозионных потерь почвы от стока талых вод применялась методика НИЛЭПиРП МГУ [Ларионов, 1993] (значительно модифицированная методика ГГИ), где в качестве факторов задействованы характеристики рельефа (длина склона, уклон склона и экспозиции склона), K–фактор эродуемости почвы и C–фактор растительности в период снеготаяния, слой поверхностного склонового стока во время снеготаяния. Общая схема проведения модельных расчетов включала: расчет факторов почвенной эрозии, входящих в модель смыва от стока дождевых осадков и талых вод (ЭПР, ЭПО, запасы воды в снеге, смываемость почвы, хозяйственно- агрономический фактор); расчет эрозии почвы от стока дождевых осадков и талых вод; расчет годовой интенсивности почвенной эрозии как суммы интенсивностей смыва при талом и дождевом стоке. При этом основные усилия были направлены на получение современных и более реалистичных оценок для ЕТР двух из этих факторов: R-фактора и C-фактора с высокой степенью пространственной детальности.

В ходе исследования разработана оригинальная методика оценки ЭПО (R-фактора) для ЕТР, позволяющая на основе данных многолетних наблюдений за осадками на метеостанциях Росгидромета получать оценки R-фактора за разные временные интервалы: помесечные, годовые, средне-многолетние. Для реализации этого направления была разработана и реализована процедура выбора наиболее подходящих распределений и оценки их параметров для характеристики дождей (максимальной 30-ти минутной интенсивности, средней интенсивности дождя, энергии и эрозионности дождя) на основе анализа плювиографических данных. Затем разработана программа численной оптимизации для метода максимального правдоподобия для построения нелинейной регрессии параметров распределений на внешние факторы. Созданы статистические модели зависимости параметров распределений свойств дождей от внешних факторов с использованием метода обобщенно-аддитивных моделей (GAM). На 189 метеостанциях ЕТР со срочными данными об осадках получены помесечные и годовые модельные оценки R-фактора за 1966-2019 гг. Разработаны и реализованы методы оценки многолетних пространственных трендов R-фактора на заданный временной интервал (месяц, год) и его оперативных полей за заданный диапазон лет на основе срочных данных об осадках на метеостанциях ЕТР и построенных статистических моделей. Для ЕТР получены современные (2014-2019 гг.) оценки пространственного распределения R-фактора ливне-

вой эрозии с учетом сезонных изменений (помесечные и годовые оценки R-фактора для 2014-2019 гг.; среднемноголетние помесечные оценки R-фактора, среднемноголетняя годовая оценка R-фактора). Результаты представлены на растровых слоях в составе ГИС. Построены картографические отображения распределения R-фактора для ЕТР. Значения полученной для ЕТР современной оценки среднемноголетнего годового R-фактора варьируются в интервале от 27 до 2700, среднее значение 280, СКО 179 (МДж мм)/ (га час) в год (или 0.5, 46.1, 4.7, 3.05, соответственно, в ед. ЭПО в год). Сопоставление полученной оценки пространственного матожидания R-фактора с мелкомасштабной картой "Эрозионного потенциала осадков на территории России" [Ларионов, 1993] позволяет увидеть в целом сходные закономерности пространственного распределения фактора R на ЕТР. Таким образом, впервые выполнена оценка изменения эрозионного потенциала дождевых осадков на ЕТР за последние ~50 лет (с 1966 г. по 2019 г.). В рамках этого исследования на основе помесечных и годовых модельных оценок R-фактора за года наблюдений с 1966 г. по 2019 г. на 189 метеостанциях ЕТР исследована межгодовая и сезонная динамика R-фактора. Получены среднемноголетние значения R-фактора (годового и помесечных) для двух временных периодов: за 1966-1990 гг. и за 1991-2019 гг. и их относительное изменение (в %). Также разработан и применен метод моделирования пространственного распределения среднемноголетнего R-фактора на ЕТР, позволяющий анализировать динамику R-фактора с учетом двух ее составляющих - изменчивости суммы жидких осадков и изменения их энергетических характеристик. Получены оценки пространственного распределения среднемноголетнего годового R-фактора и среднемноголетних помесечных оценок R-фактора на ЕТР для двух периодов (1966-1990 гг. и 1991-2019 гг.) с построением соответствующих тематических карт.

Анализ изменчивости эрозионного потенциала осадков во времени и пространстве выявил статистически значимое увеличение годового R-фактора за период 1966–2019 гг. в трех природно-климатических зонах ЕТР: тундра, лесная зона, лесостепь. Усредненные по зонам оценки относительного увеличения ЭПО (в %) составили в тундре (31%), в лесной зоне (18%), в лесостепи (4%). Построены карты, отражающие величину и направленность произошедших изменений, их статистическую значимость. Пространственный анализ позволяет со статистической достоверностью говорить о наблюдаемой в региональном масштабе тенденции – долготно-секторном увеличении за последние 50 лет эрозионности дождей во всех ландшафтах северо-западной и западной части ЕТР. Другой регион с заметным ростом ЭПО находится в подзоне средней и южной тайги на востоке ЕТР (полигон Сыктывкар-Киров-Ижевск-Пермь). С меньшей долей достоверности можно говорить о некотором уменьшении эрозионности дождевых осадков в регионе Среднего Поволжья по линии Казань–Самара–Саратов–Волгоград и на востоке степной зоны Оренбуржья. Анализ вклада сезонной составляющей в тренд годового R-фактора показал, что относительно наибольшим увеличением ЭПО характеризуются майские осадки. В лесной зоне обобщение по

станциям зафиксировало увеличение ЭПО для всех теплых месяцев. В большинстве регионов интенсивного земледелия (юг лесной зоны, лесостепь и степь), где опасность почвенной эрозии высока, отмечается общая тенденция увеличения ЭПО в мае и сентябре и уменьшение в августе. По результатам полученных модельных оценок эрозионности дождевых осадков (как на станциях, так и на всей ЕТР) показано, что глобальные изменения в климатической системе на территории исследования, приводящие к временному тренду годового ЭПО за последние 50 лет, отражаются не столько в изменении количества выпадающих дождевых осадков, сколько в изменении общей энергии, свойственной этим дождям.

Методика оценки фактора растительности (С-фактора) для территории ЕТР по материалам ДЗЗ подробно изложена в ряде наших публикаций [Mukharamova et al., 2021; Ivanov et al., 2021]. Нами разработан и реализован алгоритм построения обучающих выборок по данным с территорий-аналогов. С использованием метода LSTM (рекуррентные нейронные сети с долгосрочной и краткосрочной памятью, Long short-term memory) обучен и применен алгоритм распознавания сельскохозяйственных культур (или групп культур) на пахотных землях ЕТР для 2014-2019 гг. Алгоритм обрабатывает и анализирует наборы получаемых по ДЗЗ MODIS растров NDVI, EVI за вегетационный сезон каждого года, обеспечивая вполне приемлемое качество распознавания. Разработана и реализована модель оценки С-фактора в i -й месяц j -го года в пикселях пахотных земель на основе растра распознанных сельскохозяйственных культур и получаемых по ДЗЗ растров фенологических метрик VNP22Q2, а также растров биофизического параметра растительности Fcover. При этом реализован "пессимистичный" вариант модели (в условиях отсутствия информации о методах агротехники, особенностях севооборотов, урожайности). Однако методика предусматривает возможность получать результаты для разных сценариев путем корректировки эрозионных индексов культур по периодам теплой части года и сроков основной обработки почвы. Была реализована модель оценки С-фактора в i -й месяц j -го года в пикселях непахотных земель на основе получаемого по ДЗЗ биофизического параметра Fcover. Для ЕТР в результате проведенного исследования впервые получены современные (по данным 2014-2019 гг.) оценки пространственного распределения С-фактора при дождевой (ливневой) эрозии (помесечные и годовые оценки С-фактора для 2014-2019 гг.; среднесезонные помесечные оценки С-фактора, среднесезонная годовая оценка С-фактора) с высокой пространственной детальностью (250 м). Результаты представлены на растровых слоях в составе созданной ГИС. Построены картографические отображения распределения С-фактора для ЕТР. Для ЕТР полученной оценки среднесезонного годового С-фактора варьируются в интервале от 0.0006 до 0.808, среднее значение 0.126, СКО 0.180. Для агроценозов ЕТР эти значения 0.020, 0.808, 0.401, 0.167. Для сопоставления: результат, полученный ранее для зарубежной Европы [Panagos et al., 2015] – среднее значение С-фактора 0.104, СКО 0.105, диапазон от 0.0001 до 0.526; при этом на пахотных землях среднее

0.233, а без учета почвозащитных мероприятий 0.287. Обобщенные по ландшафтными зонами показатели С-фактора имеют достаточно близкие значения, которые получены российскими учеными [Литвин и др., 2017; Эрозионо-русловые системы", 2017].

Оценка пространственного распределения С (эродируемость, смываемость почвы) для ЕТР проведена с использованием отечественной геобазы почв – ЕГРПР [<http://egrpr.esoil.ru/>]. Для части почвенных контуров (с торфяными болотными, пойменными, глеевыми типами почв) с учетом их местоположения на склонах значение К-фактора принималось равным нулю, поскольку в дальнейшем при расчете эрозии почв эти участки были исключены из обработки вследствие фактического отсутствия здесь эрозии. Результат оценки представлен на векторном и на растровом слоях в составе ГИС. Создано картографическое отображение распределения фактора К для ЕТР. Карты построены для двух систем единиц измерения фактора (в СИ и в принятой в отечественных исследованиях) для возможности сопоставления как с картами оценки К-фактора на смежных территориях по результатам зарубежных работ, так и с результатами отечественных региональных исследований. Для территории ЕТР значения полученной оценки К-фактора для подверженных эрозии почв варьируются в интервале от 0.01 до 0.083, среднее значение 0.048 (т га час)/(МДж га мм) (или от 0.61 до 4.86, среднее 2.82 (т га мин)/(0.01 (т*м) га мм)). Диапазоны значений К сопоставимы с результатами, полученными ранее для зарубежной Европы [Panagos et al., 2014], и имеют более точные значения при сопоставлении с результатами российских исследователей [Кирюхина, Пацукевич, 2001].

Так называемый топографический фактор (LS-фактор) для ЕТР вычислялся на основе ЦМР GMTED2010 (версия "Mean"). Результат также представлен в виде растрового слоя. Построены карты, отображающие распределение фактора LS для исследуемой территории с использованием разных легенд. Среднее значение фактора LS для всей территории ЕТР около 1.0 и варьируется в диапазоне от 0 до 123. Для сравнения: среднее значение LS для территории стран Евросоюза составляет 1.63 с диапазоном от 0 до 99 [Panagos et al., 2015].

Отметим, что значения параметров, входящих в модель эрозионных потерь почвы, рассчитаны для ЕТР с высокой степенью пространственной детальности, позволяющая брать не их осредненные значения по крупным территориальным выделам, а конкретные значения в локальной окрестности (ячейка растра, бассейн).

Особого внимания заслуживает оценка эрозии почвы от талого стока в силу слабой изученности этой составляющей и отсутствия количественных данных в современный период по талому смыву почв. Для этого необходимы данные по запасам воды в снеге. Как правило, чаще всего для оценки запасов воды в снеге на больших территориях обычно привлекают справочные материалы в виде мелкомасштабной карты "Максимальные запасы воды в снеге к началу весеннего снеготаяния", построенной по данным климатических справочников еще 1960-1980-х годов. Эти

данные достаточно устарели и имеют низкое пространственное разрешение (одна метеостанция приходится на 900 км²). Относительно недавно в открытом доступе в рамках программы Copernicus, реализуемой Европейским космическим агентством, появился продукт Snow Water Equivalent (SWE; источник: <https://land.copernicus.eu/global/products/swe>), получаемый по спутниковым данным и содержащий ежедневные оценки количества воды в снежном покрове за зимние периоды начиная с 2006 г. по настоящее время. Продукт SWE представлен на регулярной сетке долгот/широт в WGS 84. Пространственное разрешение составляет 0,05° (~5 км). Для определения более актуальных по времени данных о запасе воды в снеге мы создали архив файлов SWE (растровых слоев, покрывающих исследуемую территорию и содержащих в пикселях ежедневную информацию о запасе воды в снеге для зимних сезонов 2006-2021 гг.). Затем выполнили обработку этого массива информации для оценки максимальных запасов воды в снеге для каждого года, а также сделали обобщения для оценки пространственного распределения (растра) средне-многолетних максимальных запасов воды в снежном покрове ЕТР. Детальность этих данных определяется не только частотой определения запасов воды в снеге (ежесуточно), но и пространственным разрешением - около 5 км.

Результатом исследований является оценка интенсивности эрозии почв для ЕТР с использованием современных оценок пространственных распределений основных параметров смыва, сделанных для разных типов ОТЕ (ячейки растра и бассейны малых рек). Методика использует в качестве операционно-территориальных единиц анализа ячейки (250×250 м) растровой сетки, покрывающей ЕТР. В качестве метода оценки интенсивности смыва почвы за период ливневого стока применяется модель, даваемая универсальным уравнением потерь почвы (USLE/RUSLE), а для оценки интенсивности потерь почвы от стока талых вод – методика НИЛЭПиРП МГУ (ГГИ). Разработанная методика определяет набор исходных данных, необходимых для оценок факторов почвенной эрозии, входящих в модели смыва от стока дождевых и талых вод, порядок, методы и процедуры проведения расчетов для оценки факторов эрозии и итоговых показателей смыва, интерпретации получаемых результатов, построения карт для отображения результатов. Методика реализуется средствами авторского программного обеспечения, созданного с использованием языков R и Python.

Основными результатами, содержащимися в методике, являются разработанные методы и результаты оценки (помесячные, годовые, средне-многолетние) пространственного распределения R-фактора (на основе срочных данных об осадках на метеостанциях ЕТР и построенных статистических моделей) и C-фактора (на основе обработки и анализа получаемых по ДДЗЗ растров вегетационных индексов NDVI, EVI, фенологических метрик VNP22Q2, биофизического параметра растительности Fcover). Получены современные (по данным 2014-2019 гг.) оценки пространственного распределения на ЕТР интенсивности ливневого и тало-ливневого смыва почвы (т/га в год) с высокой пространственной детальностью (250 м), отражающие в масштабе исследования основные пространственные закономер-

ности этих процессов (табл. 1). Созданы соответствующие тематические цифровые картографические отображения.

Таблица 1. Количественные показатели параметров эрозии и оценка интенсивности эрозии почв на пахотных землях европейской территории России (на 2014-2019 гг.)

Ландшафтная зона	C	K	R	LS	Ag	As	A
Северотаежные	0.299	0.008	272.2	0.141	0.106	0.013	0.119
Среднетаежные	0.158	0.035	276.1	0.539	0.804	0.815	1.619
Южнотаежные	0.224	0.054	382.7	0.411	1.942	0.769	2.711
Смешанные и широколиственные	0.310	0.041	414.1	0.509	2.533	0.732	2.711
Лесостепные	0.381	0.026	405.3	0.439	1.788	0.261	2.050
Степные	0.454	0.029	501.0	0.357	2.031	0.128	2.159
Полупустынные и пустынные	0.448	0.036	297.5	0.109	0.634	0.032	0.666
Горные (Урал)	0.344	0.024	222.6	0.647	1.117	0.471	1.588
Горные (Кавказ)	0.397	0.035	991.4	1.317	12.993	1.005	13.998
Вся ЕТР (пашня)	0.401	0.031	455.5	0.410	2.100	0.297	2.397

C – фактор растительности, безразмерный (от 0 до 1); K – смываемость почвы, (т га час)/(МДж га мм); R – эрозионный потенциал осадков, (МДж мм)/(га час) в год; LS – фактор рельефа, безразмерный; Ag – интенсивность дождевого (ливневого) смыва, т/га в год; As – интенсивность талого смыва, т/га в год; A – интенсивность годового тало-дождевого смыва, т/га в год

Для европейской территории России значения полученной оценки среднемноголетней (за 2014-2019 гг.) годовой интенсивности почвенной эрозии (soil loss rates) характеризуются следующими величинами: среднее значение 1.3 т/га в год, при этом медиана 0.014 т/га в год, 95%-й квантиль равен 3.7 т/га в год, а 99%-й 15.5 т/га в год, СКО 15.3 т/га в год. В географическом пространстве в пределах равнинной части ЕТР интенсивность эрозии почв резко увеличивается на пахотных землях. Для пахотных земель ЕТР статистики годовой интенсивности почвенной эрозии следующие: среднее 2.4 т/га в год, медиана 1.2 т/га в год, 95%-й квантиль равен 8.6 т/га в год, 99%-й 19.0 т/га в год, СКО 4.7 т/га в год. Дождевая эрозия почв составляет 2.1 т/га в год, от стока талых вод 0,3 т/га в год. Несмотря на то, что пространственное распределение эрозии почв на пахотных землях носит очень изменчивый характер, можно отметить ряд характерных особенностей этого явления. Так, при генерализации данных с их обобщением по субъектам РФ в пределах равнинной части ЕТР можно выделить два характерных региона с высокой интенсивностью почвенной эрозии. Один из них расположен на западе в лесостепной и степной зонах почти долготного простираания. Здесь интенсивность смыва на пахотных землях увеличивается от 2.5-3.0 т/га в год (Брянская, Ростовская обл., Краснодарский край) до 3-5 т/га в год (Белгородская, Курская, Орловская обл.). Другой район протягивается с запада на восток-северо-восток субширотной полосой в пределах лесостепей и южной части лесной зоны. Здесь общий фон эрозии почвы на пашнях изменяется от почти 3 т/га в год (Калужская, Московская, , Нижего-

родская обл., Чувашия, Татарстан) до 3,5 6 т/га в год в Тульской, Кировской, Пермской обл., Марий-Эл, Удмуртии. В пределах Мещеры и Окско-Донской равнины, восточной части Приволжской возвышенности в лесостепных и степных ландшафтах интенсивность эрозии почв на пахотных землях снижается от 1,9 до 0,9 т/га в год (Тамбовская, Воронежская, Липецкая, Рязанская, Пензенская, Саратовская обл.). Пространственное распределение эрозионно-аккумулятивного баланса на пахотных землях ЕТР схоже с распределением интенсивности эрозии. В среднем наблюдается уменьшение как темпов смыва, так и аккумуляции при переходе от лесной зоны к лесостепной и степной. Сравнение с данными предшествующих исследований, сопоставимыми по времени (не ранее 2000 г.) и доступными как обобщения интенсивности смыва с пахотных земель в субъектах РФ [Литвин, 2017], экономических районах [Эрозионно-русовые системы, 2017] и природных зонах [Литвин, 2017; Пространственно-временные ..., 2019], а также в ряде бассейнов рек ЕТР [Чалов, 2021; Пространственно-временные ..., 2019], показало, что наша оценка современных темпов эрозии почвы на пахотных землях ЕТР в среднем в 1.5 раза ниже предшествующих. Для сопоставления: по результату, приведенному в целом для ЕТР в [Golosov et al., 2018], темпы смыва с пашни составляют 4.0 т/га в год, наша оценка - 2.4 т/га в год. Такое отличие, по всей видимости, является следствием применения разных методов оценки факторов эрозии, использованием различных операционно-территориальных единиц анализа и охватом территории. Можно, с некоторой осторожностью утверждать, что полученные оценки, возможно, являются более реалистичными с учетом того, что они сделаны с достаточно детальным для макрорегиона пространственным (250 м) и временным разрешением (2014-2019 гг.).

Для ЕТР также впервые выполнена оценка современных темпов эрозионных потерь почвы с обобщением на бассейны малых рек (53865 бассейнов) как по всей их территории, так и отдельно для пахотных земель в пределах бассейна. Усредненные на бассейн значения годовых темпов эрозии почв имеют следующие статистические характеристики (по выборке всех бассейнов ЕТР): среднее 1.1 т/га в год, медиана 0.02 т/га в год, 95%-й квантиль равен 3.4 т/га в год, 99%-й 18.1 т/га в год, СКО 8.1 т/га в год. Если учитывать только пахотные земли в пределах бассейна, то статистически следующие: среднее 2.7 т/га в год, медиана 1.6 т/га в год, 95%-й квантиль 7.2 т/га в год, 99%-й 14.5 т/га в год, СКО 13.3 т/га в год.

Результаты исследований, как в картографическом отображении, так и в форме геобазы данных интегрированы в ранее созданной нами геопортал открытого доступа "Речные бассейны Европейской части России" [<http://bassepr.kpfu.ru>].

ЛИТЕРАТУРА

- Кирюхина З.П., Пацукевич З.В.* Эродруемость пахотных почв России в период ливневого стока // Почвоведение. 2001. №9.
- Ларионов Г.А.* Эрозия и дефляция почв. М.: Изд-во Моск. ун-та. 1993.
- Литвин Л.Ф.* География эрозии почв сельскохозяйственных земель России. М.: Академкнига. 2002.
- Литвин Л.Ф., Кирюхина З.П., Краснов С.Ф., Добровольская Н.Г.* География динамики земельной эрозии почв на европейской территории России // Почвоведение. 2017. № 11.
- Пространственно-временные закономерности развития современных процессов природно-антропогенной эрозии на Русской равнине. Казань: Изд-во АН РТ. 2019.
- Чалов С.Р.* Речные наносы в эрозионно-русовых системах. Автореф. дис. ... докт. географических наук. М. 2021. 358с.
- Эрозионно-русовые системы / Под ред. Чалова Р.С. и др. Москва: Инфра-М, 2017. 702 с.
- Golosov V., Koiter A., Ivanov M., Maltsev K., Gusarov A., Sharifullin A., Radchenko I. Assessment of soil erosion rate trends in two agricultural regions of European Russia for the last 60 years // J. Soils Sediments. 2018. № 12 (18).
- Ivanov M.A., Mukharamova S.S., Yermolaev O.P.* Mapping croplands with a long history of crop cultivation using time series of modis vegetation indices // Uchenye Zapiski Kazanskogo Universiteta. Seriya Estestvennyye Nauki. 2021. Vol .162. Is.2.
- Kirill Maltsev, Oleg Yermolaev.* Assessment of soil loss by water erosion in small river basins in Russia // Catena. 2020. Vol. 195.
- Maltsev K.A., Yermolaev O.P.* Potential Soil Loss from Erosion on Arable Lands in the European Part of Russia // Eurasian SoilScience. 2019. Vol. 52. Is.12.
- Mukharamova S., Saveliev A., Ivanov M., Gafurov A., Yermolaev O.* Estimating the soil erosion cover-management factor at the European part of Russia // ISPRS International Journal of Geo-Information. 2021. Vol. 10. Is.10. Art. №645.
- Pasquale Borrelli, David A. Robinson, Larissa R. Fleischer, Emanuele Lugato, Cristiano Ballabio, Christine Alewell, Katrin Meusburger, Sirio Modugno, Brigitta Schütt, Vito Ferro, Vincenzo Bagarello, Kristof Van Oost, Luca Montanarella.* Panos Panagos an assessment of the global impact of 21st century land use change on soil erosion // Nature Communications. 8:2013.
- Panagos P., Borrelli P., Poesen J., Ballabio C., Lugato E., Meusburger K., Montanarella L., Alewell C. The new assessment of soil loss by water erosion in Europe // Environ. Sci. Policy. 2015. № 54.

РУСЛО ВЕРХНЕЙ ОКИ: ИСТОРИЯ И СОВРЕМЕННОСТЬ*

Формирование речного русла — сложный процесс взаимодействия водного потока и поверхности земли, зависящий от целого набора геологических и географических факторов, который река получила "в наследство" от предыдущих эпох, а также от деятельности человека в прошлом и настоящем. Естественные факторы, определяющие изменения речных русел в пространстве и во времени определяют морфологию дна долины, уклон и форму продольного профиля реки, состав русловых отложений и речных наносов, условия развития русловых деформаций. Одни факторы, например геологическое строение, практически постоянны на протяжении всей истории реки, другие довольно существенно меняются в течение разных периодов, как гидрологический режим. Деятельность человека в густонаселенных и освоенных регионах часто является решающим фактором в модификации русла реки, определяя тенденции его развития и возможности практического использования.

К рекам, испытывавшим сильное влияние деятельности человека на протяжении нескольких веков, относится р. Ока. Наиболее сильным было влияние человека в верхнем течении реки, которое по гидрологическим данным охватывает участок от истока до слияния с р. Москвой. В данной работе основное внимание уделяется этому участку, а также верхней части нижней Оки до района г.п. Половское. Верхняя и нижняя Ока разделены каскадом русловых водохранилищ, образованных двумя низконапорными плотинами: Белоомутской и Кузьминской, построенных к 1913 г. Каскад является продолжением Москворецкой шлюзованной системы, созданной в конце XIX века для улучшения судоходных условий нижнего течения р. Москвы. В пределах бьефов плотин в межень течение практически отсутствует, а в половодье, благодаря исходной конструкции плотин, поток свободно проходил через каскад. В 2010-х гг. плотины были реконструированы, и условия прохождения половодья изменились.

Главные черты гидрологического режима реки сохраняются в течение сотен лет. Ока относится к рекам с восточноевропейским типом гидрологического режима с высоким весенним половодьем, значительной долей снегового питания, продолжительной летне-осенней и зимней меженью. В последние три десятилетия отмечаются зимние подъёмы уровня, вызываемые таянием снега и выпадением жидких осадков в периоды оттепелей. Средний модуль стока составляет 5,5 л/км². Средний многолетний расход на исследованном участке увеличивается вниз по течению более чем на два порядка — с 3 м³/с на г.п. Вендерево до 550 м³/с на г.п. Половское. Для реки характерен быстрый подъём уровня воды в период половодья и относитель-

но медленный спад. Однако в последние три десятилетия наблюдался не только быстрый подъём, но и быстрый спад уровней. В верхнем течении весеннее половодье отличается большой амплитудой уровней. Их амплитуда вначале нарастает вниз по течению и достигает максимальной в Калуге (18 м), затем она уменьшается и после Белоомута становится относительно постоянной. Низшие уровни чаще всего наблюдаются во второй половине лета.

Средние максимальные расходы меняются от 750 до 5000 м³/с. Максимальный расход 10 %-ой обеспеченности составляет в Белеве 2170, в Калуге 5040, в Кашире 5150 м³/с. Минимальные расходы 90 %-ой обеспеченности увеличиваются от 18,5 до 90,2 м³/с.

В бассейнах рек, расположенных в равнинной части юга лесной, лесостепной и степной зон ЕТР, к которым относится бассейн р. Оки, в изменениях зимнего и летне-осеннего стока наблюдается длительная маловодная фаза со времени начала гидрометрических наблюдений (конец 1880-х гг.), сменившаяся в период со второй половины 1970-х — середины 1980-х гг. фазой повышенной водности; изменения стока весеннего половодья характеризуются сменой длительной фазы повышенной водности на маловодную [Научно-прикладной..., 2021].

За последние десятилетия наблюдаются существенные изменения речного стока [Исмайллов, Муращенкова, 2019]. Так, уменьшились объемы половодного стока и максимальные расходы воды весеннего половодья [Семенов и др., 2008, Алексеевский и др., 2013]. Этому способствовали более раннее начало половодья, его небольшая высота, зимние паводки. Наименьший максимальный расход воды 750 м³/с более чем за 120-летний период наблюдений отмечен на р. Оке у г. Калуги в 1997 г. Средний за последние 18 лет максимальный уровень в г. Кашире значительно ниже, чем многолетний максимум, и в последние 3 года лишь незначительно превышает средний многолетний годовой уровень. Отмечается сдвиг сроков начала весеннего половодья в сторону более ранних дат, соответственно увеличивается и продолжительность половодья. Изменение максимальных расходов составляет для Оки и ее притоков 20-40 % (например, уменьшение максимальных расходов Оки в Белеве — 45%). При этом доля межени стока в годовом объеме стока увеличилась на 30-50%. Водность рек в период межени в 1970-2005 гг. была на 25-50 % выше, чем за предшествующий многолетний период 1935-1969 гг. [Алексеевский и др., 2013]. Подземная составляющая стока увеличилась на 20-30%. Доля стока летне-осенней межени увеличилась в верхнем течении на 10%. Особенно увеличился зимний сток, что связано с повышением зимней температуры воздуха и, как следствие, увеличением повторяемости зимних оттепелей и повышением инфильтрационных потерь в бассейне реки. В верховьях реки (г.п. Вендерево и г.п. Костомарово) с 1950 г до начала 2000-х гг. увеличения стока не отмечалось, но на следующих по течению гидропостах (Калуга, Кашира, Половское) с 1935 г до середины 2010-х гг. отчетливо проявилось увеличение как среднегодовых, так и минимальных расходов.

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

Продольный профиль реки имеет отчетливую логарифмическую форму с крутым уклоном в верховьях и относительно пологим на значительном протяжении реки. Профиль описывается уравнением $H = 26.37 \ln L_s + 267.45$, где H – отметка водной поверхности, м над у.м.; L_s – расстояние от истока, км. Точка наибольшего прогиба профиля располагается между г.п. Белев и г.п. Калуга на расстоянии около 300 км от истока, что составляет 1/5 длины реки. Этот факт отражает значительную степень выработанности продольного профиля, который характерен для рек, прошедших длительную историю выработки своего профиля. Верховья реки находятся в зоне интенсивного развития естественных эрозионных процессов, обусловленных устойчивым тектоническим поднятием, слабой прочностью поверхностных пород, климатическими особенностями. Степень выработанности и неровность продольного профиля можно охарактеризовать индексом уклона (SL_0), предложенным Дж. Хаком [Hack, 1973]. Он вычисляется как произведение частного уклона между двумя точками на расстоянии от нижней по течению точки до истока (начала профиля). Изменения индекса вдоль реки связано в целом с различиями строения долины, поступающими наносами, рельефом. Степень выработанности и наличие неровностей обнаруживаются на основе отношения локального индекса к общему индексу. Последний вычисляется для реки или ее участка как отношение полного падения к натуральному логарифму длины реки $SL_t = H_t / \ln L_t$. Главные черты продольного профиля р. Оки были рассмотрены в работе [Беркович и др., 2016]. Вычисления отношения SL_0/SL_t для реки или ее отрезка дают возможность выделить аномалии по отношению к выработанному логарифмическому профилю. Значения отношения менее 2 означают отсутствие аномалий, величины отношения 2-10 характеризуют аномалии 2-го порядка – крупных форм руслового рельефа, влияющих на уклон. Аномалии первого порядка (более 10) характерны для крупных ступеней продольного профиля, связанных со строением долины и русла. В целом продольный профиль Оки отличается большой степенью выработанности. Средняя величина отношения SL_0/SL_t равна 1,0, аномалии не превышают 6,0 и относятся к второму порядку.

По геолого-геоморфологическим условиям, которые определяют специфику формирования русла и реакцию на антропогенные нарушения, участок исследований делится на три отрезка. Они также различаются по ландшафтному облику и истории экономического освоения реки. Самое верхнее положение занимает отрезок реки в верховьях, на котором река пересекает северный склон Среднерусской возвышенности (исток – устье р. Угры). Эта часть бассейна на протяжении сотен тысяч лет была областью сноса материала, что обусловлено поднятием Воронежской антеклизы. Долина реки местами врезана в коренные породы. Заметную роль в формировании долины сыграли четвертичные оледенения, оставившие древние морены. Русло часто врезанное, прямолинейное и слабо извилистое. Средний уклон реки на этом участке составляет 0,28‰, максимальный достигает 0,8-1,1‰. Характерно, что средняя величина отношения SL_0/SL_t на отрезке со-

ставляет 1,2, встречаются лишь отдельные аномалии со значениями более 2 через каждые несколько десятков километров, что указывает на высокую степень выработанности продольного профиля.

Руслообразующие наносы отличаются крупным составом, горизонтальные деформации ограничены. В русле мало искусственных сооружений: это - построенная в 1928 г низконапорная водоподъемная плотина в г. Орле, обеспечивавшая водоснабжение ТЭЦ и существующая поныне, несколько мостовых переходов, в том числе в г. Орле и г. Белеве. Река на участке несудоходная, хотя в конце XIX века в период половодья суда поднимались до г. Орла. Вместе с тем наибольшее влияние на русло, вероятно, оказали эрозионные процессы в бассейне. Бассейн располагается в лесостепи и отличается древним сельскохозяйственным освоением. Освоение бассейна сопровождалось уничтожением лесов и распашкой земель. За XVI–XVIII века площадь лесов в бассейне сократилась с 53 до 22%. Одновременно увеличивалась распаханность территории, достигшая 70%. Лесистость бассейна выше Белева и Орла не превышает 4 % и только к г. Калуге увеличивается до 17 %. Это способствовало развитию эрозии почв и росту стока наносов, а во второй половине XIX в. – росту овражной сети в бассейне. Таким образом, сельскохозяйственное освоение территории многократно усилило естественные эрозионно-аккумулятивные процессы в бассейне Оки

На этом участке формируется основной сток взвешенных наносов. Согласно работам ВНИИГ [Исследование..., 2013], еще в 1950-1960-е гг. объем стока наносов в г. Калуге составлял до 75 % стока наносов в устье Оки. Начиная с 1970-х гг. это соотношение уменьшилось до 40-50%. На протяжении последнего столетия происходило усиление эрозии почв в верховьях реки и сноса продуктов эрозии в реки. При этом росла систематическая аккумуляция наносов в речной системе.

Современные модули стока наносов со склонов в верховьях Оки на Среднерусской возвышенности превышают 400 т/км² в год [Голосов, 1989]. По течению рек сток наносов трансформируется, преобладающая часть наносов оседает в верхних звеньях гидросети; вниз по течению Оки модули стока наносов уменьшаются и в г. Калуге составляют 7-8 т/км²-год. Анализ изменений стока наносов за 40-летний период наблюдений второй половины XX столетия [Семенов, Семенова, 2008] свидетельствует, что в стоке взвешенных наносов на реках бассейна Оки не отмечалось существенных изменений. Суммарный среднегодовой сток взвешенных наносов во второй половине XX столетия до середины 70-х годов уменьшался, а затем его изменения стали незначимыми.

Высокий смыв должен был на протяжении столетий приводить к накоплению наносов в днищах речных долин. Н.И. Маккавеев [1955] приводит данные Л.С. Берга о том, что за последние 3000 лет интенсивность повышения отметок дна долины верхней Оки и ее притоков составляла около 1 мм в год. Гидрологические наблюдения показали, что в Орле с конца 1880-х гг. до 1950 г минимальный уровень воды повысился на 60-70 см, а затем оставался неизменным. Также неизменным, с колебаниями 10-12 см

от года к году в последние 20 лет оказался минимальный уровень Оки на г.п. Костомарово, расположенном в 3 км ниже г. Орла. Напротив, на г.п. Белев, расположенном в 140 км ниже Орла, с конца XIX в. до начала XXI в. происходило плавное повышение минимального уровня, составившее 40 см; вероятно, это связано с развитием эрозионных процессов в бассейне крупного правого притока р. Зуши. Однако, в последние 20 лет минимальные уровни понизились на 60 см, что обусловлено умеренным врезанием. Причиной врезания, возможно, является трансформация русла реки ниже г. Калуги, где оно преобразовано русловыми карьерами. Известно, что выше руслового карьера часто формируется уступ продольного профиля дна, который отступает против течения. На продольном профиле водной поверхности, построенном по данным топографических карт конца 1970-х – начала 1980-х гг. (25-30 лет после начала массовой добычи), заметно увеличение уклона вниз по течению на отрезке 40 км выше г. Калуги. Это соответствует скорости распространения регрессивной эрозии в 1,5-2,0 км в год. Учитывая эту величину, за следующие 40 лет эрозия могла бы продвинуться на 60-80 км и достичь г.п. Белев.

Второй отрезок располагается между г. Калугой и г. Коломной, где река, приобретая меридиональное направление, протекает по границе Среднерусской возвышенности и Москворецко-Окской равнины. Долина реки становится асимметричной с крутым правым коренным берегом и террасированным пологим левым. Местами в основании правого берега и в русле обнажаются скальные породы. Современная долина верхней Оки заложилась после ухода днепровского ледника и формировалась в процессе колебаний стока воды и наносов в периоды последующих оледенений и межледниковий. В русле мощность песчано-галечных отложений достигает 9 м. Ширина русла с поймой – 300-700 м, увеличиваясь вниз по течению до 1,0-1,5 км. Русло довольно узкое – 200-300 м, в основном прямолинейное неразветвленное или образует врезанные и вынужденные излучины. Пойма развита фрагментарно, ее ширина не превышает 1 км. Коэффициент извилистости составляет от 1,25 до 1,5. Руслообразующие наносы представлены крупнозернистыми песками с примесью гравия крупностью 0,7–1,0 мм. Часто пески подстилаются глинами. Средний уклон реки уменьшается и равен 0,05–0,07‰.

В исходном состоянии русло верхней Оки ниже г. Калуги отличалось своеобразным русловым рельефом: чередование достаточно глубоких плесов и мелководных перекатных участков, отчасти связанное с формами русла – вынужденными излучинами. На прямолинейных участках, которые преобладают на данном отрезке, перекаты формировались преимущественно там, где распространены относительно крупные грунты, выходы коренных пород и щебнистая отмостка. Это обусловило ступенчатость продольного профиля дна и водной поверхности в межень. Так, согласно нивелировкам 1937-39 гг., средняя величина отношения $SL_0/S L_t$ на отрезке составляла около 3,0 с колебаниями в диапазоне 0,4-11, обнаруживая наличие ряда

аномалий, связанных с русловым рельефом, и даже отдельных аномалий первого порядка (между гг. Серпуховом и Каширой).

Этот участок реки многие годы и десятилетия подвергался механическим нарушениям руслового рельефа. Крупная городская инфраструктура, путевые работы, добыча нерудных материалов – все это сосредоточено на 250-километровом участке. Калуга, Серпухов, Кашира, Коломна относятся к древним городам России, основанным в XII-XIV веках, они являются крупными промышленными центрами с развитой инфраструктурой. С древности Ока служила важным путем сообщения. В XVIII–начале XIX веков Калуга была одним из самых больших речных портов России. В начале XX столетия граница регулярного судоходства находилась в 70 км выше Калуги. Однако с течением времени она постепенно перемещалась вниз по течению Оки и сейчас формально находится у г. Калуги (1109 км от устья)

Поддержание судоходных условий на верхней Оке всегда было сложным, что связано с наличием большого числа перекатов, крупным составом донных грунтов, резким сравнительно коротким половодьем и продолжительной низкой летне-осенней меженью. Однако по гидравлическим и гидролого-морфологическим условиям при проведении соответствующих мероприятий максимально возможная глубина на верхней Оке, согласно расчету, может быть достигнута в Калуге – 120 см, в Кашире и Коломне – 150 см. С 1970-х гг. и до 2012 г. гарантированная глубина находилась в пределах расчетной и составляла 75 см у Калуги и 130 см у Коломны. Поддержание таких глубин требовало выполнения землечерпательных работ на перекатах. В 1980-е гг. средний годовой объем землечерпания составлял в среднем 2,5 млн. м³ в год или 13 тыс. м³ на 1 км русла, местами достигая 20-50 тыс. м³ на 1 км. С 2012 г. вследствие уменьшения финансирования путевых работ и снижения интенсивности судоходства гарантированная глубина была снижена по всему участку и стала составлять на участках Калуга-Алексин – 65 см, Алексин-Коломна – 100 см. Соответственно в два-три раза сократились объемы эксплуатационного землечерпания.

Благодаря судоходной освоенности участка и непосредственной связи его с г. Москвой через Москворецко-Окскую систему в послевоенный период активно развивалась добыча нерудных материалов (песка и гравия), используемых для строительства. Разработка русловых карьеров явилась ведущим фактором механического нарушения и трансформации русла. Будучи начата в конце 1940-х гг. в незначительных объемах, к 1990 г. она в среднем составляла на участке от Калуги до Коломны 2,1 млн. м³ в год, и этот объем на порядок величины превышал годовой сток руслообразующих наносов. Только за первые 40 лет из русла было изъято 47,1 млн. м³ песчано-гравийного материала, что увеличило объем меженного русла на участке на 80%. Около 16 млн. м³ было извлечено в бьефе Белоомутского гидроузла. Разработка русловых карьеров всегда сопровождается эрозией как регрессивной, так и трансгрессивной. Причиной первой служит резкое увеличение уклона и скорости течения на верхней кромке карьера, второй – отложение наносов в карьере и возникновение дефицита наносов ниже его. Исследова-

ния показали, что в карьерах участка ежегодно откладывается несколько десятков тысяч кубических метров песчаного и илистого материала, который формируется благодаря эрозии. Средняя на участке величина эрозии между крупными карьерами в последние 20 лет оценивается в 0,6-1,0 м, но местами достигает 1,5-2,0 м.

В настоящее время объемы добычи заметно снизились по мере истощения запасов, хотя на отдельных месторождениях она продолжается, но ее объемы на превышают 100-200 тыс. м³ в год, что примерно соответствует стоку руслообразующих наносов. Суммарный проектный объем добычи песчано-гравийных материалов на участке от Калуги до Белоомута в 2007 г составлял 3,4 млн. м³, сейчас – ещё меньше.

Нарушение русла привело к трансформации продольного профиля. В главных чертах она фиксируется показаниями гидрологических постов. В современных условиях исходная неравномерность уклона увеличилась на фоне среднего уклона 0,064‰, так как в результате механических нарушений возникли протяженные техногенные плесы и при этом сохранились участки с сохранившимся естественным русловым рельефом, включая перекаты. Техногенные плесы представлены сериями отработанных и частично занесенных русловых карьеров, слившихся между собой за 70-летнюю историю освоения русла Оки, а также действующими карьерами. Их суммарная длина превышает 1/3 длины участка, а глубина достигает 15 м. Они находятся в районах гг. Алексина, Серпухова, Каширы, Коломны. В то же время русловой рельеф на перекатах трансформирован в ходе дноуглубительных и выправительных работ. Если обратиться к анализу общего индекса уклона, то среднее значение SL_0/S_{L_t} на участке, согласно нивелировке 1991 г., незначительно снизилось по сравнению с исходным (1937 г), но при широком диапазоне колебаний (2-34.) Вероятно, это связано с тем, что в течение 1950-1980-х гг. наряду с добычей выполнялись достаточно крупные дноуглубительные работы на перекатах, сгладившие их естественный рельеф и уменьшившие уклон на перекатах. По данным нивелировок 2015-2020 гг. среднее значение SL_0/S_{L_t} почти не изменилось по сравнению с исходным, однако диапазон колебания значений еще более расширился: от 0,05 до более 70. Это означает возросшую контрастность рельефа русла и продольного уклона. Следует отметить, что объемы землечерпательных работ на перекатах в 2000-2010-х гг. сократились на порядок. В условиях продолжающейся посадки уровней перекаты становятся более выраженными.

Исходная направленность развития продольного профиля была неодинакова по длине участка. Так, в конце XIX – начале XX веков минимальные уровни медленно понижались на 1-1,5 см в год, что совпало с фазой пониженной водности. К началу массовой добычи понижение уровня составляло 10-60 см. Резкое понижение уровней воды, которые обычно сопровождают разработку русловых карьеров, обусловленное за пределами техногенным увеличением площадей поперечного сечения и глубинной эрозией, проявилось ниже г. Калуги со второй половины XX века, несмотря на

увеличение меженного стока. Наиболее интенсивно оно развивалось в конце XX века, позднее замедлилось (табл.). Скорость понижения уровня – 3-6 см в год и за 70 лет составила 130-240 см.

Таблица. Понижение минимального уровня р. Оки

Км от устья	Пункт	Понижение (-) и повышение (+) уровней, м за периоды, годы					Сумма изменений, м	
		1887-1930	1931-1949	1950-1974	1975-1990	1991-2021	до начала добычи	за период добычи
1100	Калуга	-0,16	+0,06	-0,61	-0,23	-0,51	-0,10	-1,35
970	Серпухов	-0,13	-0,36	-0,94	-0,55	-0,92	-0,49	-2,41
920	Кашира	-0,72	+0,10	-0,91	-0,57	-0,77	-0,62	-2,25
700	Рязань	-0,83	-0,11	+0,43	-0,26	-1,06	-0,51	-1,32

Третий участок, где геолого-геоморфологические условия резко меняются, располагается ниже устья р. Москвы. Ока здесь входит в пределы Мещерской равнины, где глубина долины уменьшается, а ширина увеличивается до нескольких десятков километров. Равнина отличается слабым эрозионным расчленением. Долина Оки приобрела современный облик к началу днепровско-московского межледниковья. В эпоху московского оледенения в долине Оки происходило накопление песчаных озерно-аллювиальных осадков, которые поступали в долину вместе со сбросом талых ледниковых вод по долинам левых притоков Оки. В то же время естественным фоном развития русла нижней Оки было прогибание Мещерской низменности, которая в четвертичном периоде была ареной водно-ледниковой аккумуляции.

Для этого участка реки характерна очень широкая пойма, которая сформировалась в голоцене в процессе меандрирования русла. Рязанский участок поймы р. Оки подробно рассмотрен в работах Рязанского государственного университета (Кривцов, Воробьев, 2014; Воробьев, Пузаков, 2017; Воробьев, 2018). На участке практически нет ограничений развития горизонтальных деформаций, пойменные берега сложены преимущественно песками, суглинками, алевролитами, которые при существующих гидравлических характеристиках потока легко размываются. Русло меняло свое положение из-за прорывов и спрямлений меандр, повсеместно прослеживаются староречья разного возраста, вплоть до нескольких сотен лет.

Извилистое русло абсолютно преобладает, коэффициент извилистости составляет 1,8-1,9. Средняя скорость размыва берегов излучин Оки в конце XX в. составляла 2,4 м/год, максимальная – 4 м/год. Подмываемые берега занимают в сумме около 40 % общей протяженности берегов. Средняя длина фронта размыва – 1,7 км, высота поймы – 5-8 м.

В конце 1930-х гг. продольный профиль водной поверхности между Кузьминской плотиной и г.п. Половское в межень отличался небольшой выпуклостью. Средний уклон на участке равен 0,047 ‰. Руслообразующие наносы преимущественно песчаные, их средний диаметр – 0,4-0,5 мм. Сопоставление приведенных данных показывает, что русло реки на участке отличается небольшой устойчивостью, а, значит, высоким потенциалом деформаций и реакции на нарушения. Благодаря Москворецко-Окской шлю-

зованной системе на участке обеспечены достаточно большие глубины судового хода и ликвидированы затруднительные в XIX веке перекаты, препятствовавшие бесперебойному судоходству, в частности между гг. Коломной и Рязанью. За пределами бьефов Белоомутского и Кузьминского гидроузлов для поддержания глубин выполнялись землечерпательные работы. В 1973-1992 гг. средний ежегодный объем дноуглубительных работ на участке от Кузьминской плотины до с. Половского составлял 12 тыс. м³ на 1 км русла или чуть больше 1,3 млн. м³. В 1993-2012 гг. объем эксплуатационного землечерпания не превышал в среднем 250 тыс. м³. Допустимая глубина судового хода на Рязанском участке составляет, согласно расчету, 210 см. До начала 1990-х гг. в бьефах гидроузлов и на Рязанском участке поддерживалась гарантированная глубина 200 см. К настоящему времени гарантированная глубина уменьшена до 170 см.

С середины 1970-х гг. ведется разработка русловых месторождений песка от Кузьминского гидроузла до с. Половского, где на нескольких месторождениях (Коростовском, Шумашинском, Льговском и др.) было извлечено более 27,5 млн. м³ песка. Средний годовой объем добычи с 1973 по 1992 гг. превышал 1,6 млн. м³. Позднее годовой объем добычи уменьшился и к середине 2010-х гг. приблизился к 1 млн. м³.

Естественные изменения гидрологического режима и деятельность человека привели к трансформации русла, которые отразились в изменении уровней воды и продольного профиля водной поверхности в целом. С конца XIX в. до конца 1930-х гг. минимальный уровень на г.п. Рязань быстро понижался, и к 1939 г. понизился более, чем на 1,0 м. Это совпало с периодом пониженной водности межени конца XIX – начала XX веков. Впоследствии, к началу 1980-х гг. уровни воды повысились примерно на 80 см. Это также укладывается в естественные тенденции – наступление многоводного периода меженного стока. С начала 1980-х гг. тенденция хода минимальных уровней резко изменилась. Несмотря на продолжение периода повышенной водности, уровень воды понизился на 1,3 м (табл.). Это однозначно связано с развитием русловой добычи песчано-гравийных материалов, хотя отмечается запаздывание реакции уровней на 4-5 лет по отношению к началу добычных работ.

Анализ русловых карт и нивелировки водной поверхности позволили выявить некоторые особенности формирования русла. Продольный профиль реки близок к выработанному. Средняя величина отношения SL_0/SL_t в условно естественном состоянии на конец 1930-х гг. составила 2,6 с диапазоном колебаний от 0,1 до 5,8, что отражает наличие серьезных аномалий второго порядка, связанных с крупными русловыми формами – перекатными участками. Характерно, что по данным нивелировки 1993 г. (в разгар добычи и землечерпательных работ на перекатах) отношение SL_0/SL_t несколько уменьшилось (до 2,04), сузился также диапазон изменения (0,18-4,8), произошло сглаживание руслового рельефа, отразившееся в распределении уклонов водной поверхности. Согласно нивелировке 2003 г., когда объемы добычи и дноуглубления уменьшились, отношение SL_0/SL_t еще

уменьшилось (до 1,97) при диапазоне колебаний от 0,12 до 4,8. Это указывает на продолжающееся выравнивание руслового рельефа, несмотря на наличие ряда техногенных плесов глубиной 6-8 м, что связано с высоким потенциалом восстановления подвижного русла.

Сравнение карт русла позволило оценить вертикальные деформации русла за период с конца 1930-х до начала 2000-х гг. – за 60 лет, в течение которых нарушения руслового рельефа менялись. Так, если сопоставлять карты, приведенные к единому уровню сравнения, обнаруживается, что по всему участку, кроме отрезка, прилегающего к Кузьминской плотине, за период до начала массовой разработки карьеров (1938-1973 гг.) наблюдалась небольшая аккумуляция наносов слоем 19 см (до 1,5 см в год). При этом на участке отложилось около 4 млн. м³ наносов. Только на небольшом отрезке ниже Кузьминской плотины произошел незначительный размыв, который в сумме к 2003 г составил 13 см. Естественным фоном трансформации гидрологического режима было увеличение водности межени и соответствующего роста уровней воды. Это подтверждается ходом среднегодовых и минимальных уровней на г.п. Половское (645 км от устья), которые в 1939-1992 гг. выросли на 40-60 см.

В 1973-2003 гг. на большей части участка отмечается механическое понижение дна за счет добычи песка, составившее в среднем 1,8 м – величину соизмеримую с посадкой минимального уровня на г.п. Рязань. Местами оно превышало 2,5 м. Средняя глубина на участке увеличилась с 1939 по 2003 гг. более, чем на 2,0 м. Объем удаленного материала на участке длиной 108 км превысил 30 млн. м³. Это выразилось в понижении водной поверхности на участке от 680 км до старой плотины Кузьминского гидроузла (754 км), т.е. там, где расположены крупнейшие русловые карьеры – Костинские, Коростовские, Шумашинские, Льговские и др. Отсутствие нивелировок в годы после детальной работы МГУ в 1993 г и связи уровней Рязанским РВП 2003 г. не позволяет точно оценить более поздние деформации продольного профиля, однако, данные гидропостов показывают, что понижение отметок водной поверхности продолжилось и отмечены как на г.п. Рязань, так и на г.п. Половское, где оно составило около 0,5 м за 2003-2021 гг.

Заключение

Русло верхней Оки развивается в условиях разнообразных нарушений, обусловленных деятельностью человека. В верховьях реки нарушения являются косвенными по отношению к руслу – сельскохозяйственное освоение территории бассейна и связанное с развитием эрозии почв повышение дна и минимальных уровней. Однако, можно полагать, что естественные процессы формирования русла здесь практически не нарушены, т.к. размеры деформаций за последние полтора столетия (несколько десятков см) составляют лишь крайне малую часть как общего врезания (50 м), так и полного падения между истоком и г. Калугой. Об этом говорит и сглаженность продольного профиля.

Между г. Калугой и устьем р. Москвы преобладают прямые нарушения русла в виде разработки русловых карьеров большой глубины. В ре-

зультате русло трансформировано, увеличилась его пропускная способность, а также транспорт русловых наносов. Естественный ход процессов резко нарушен, и морфология русла изменились. Понижение дна в среднем составило до 1/5-1/7 полного падения реки. Естественные условия сказались на ступенчатости продольного профиля, связанной с геологическим строением.

В районе Рязани нарушения носят подобный характер, однако из-за естественных условий Мещерской низменности и меньшей устойчивости реакция русла более сглаженная.

ЛИТЕРАТУРА

Алексеевский Н.И., Фролова Н.Л., Антонова М.М., Игонина М.И. Оценка влияния изменений климата на водный режим и сток рек бассейна Волги // *Вода: Химия и Экология*. 2013.

Воробьев А.Ю. Локальные деформации русла Оки в ее среднем течении // *Вест. Рязан. гос. ун-та*. 2018. № 4(61).

Воробьев А.Ю., Пузаков С.В. Динамика боковой эрозии на вогнутых берегах излучин реки Оки в ее среднем течении в 19-20 веках и на современном этапе // *Вест. Рязан. гос. ун-та*. 2017. № 3(56).

Голосов В.Н. Влияние антропогенных факторов на сток взвешенных наносов в бассейне р. Оки // *География и природные ресурсы*. 1989. № 3.

Исмайлов Г.Х., Мураценкова Н.В. Анализ и оценка поверхностных водных ресурсов бассейна реки Оки // *Тр. МСХА им. К.А. Тимирязева Природообустройство Гидравлика и инженерная гидрология*. 2019. № 5.

Исследование водного режима и русловых процессов реки Ока и разработка научно обоснованных предложений по улучшению гидрологической и водохозяйственной обстановки реки Ока. ОАО ВНИИГ им. Б.Е. Веденеева. Санкт-Петербург. 2013

Беркович К.М., Злотина Л.В., Турыкин Л.А. Особенности развития продольного профиля реки Оки в условиях антропогенных нарушений русла // *Геоморфология*. 2016 № 3.

Кривцов В.А., Воробьев А.Ю. Особенности пространственной организации и формирования локальных морфологических комплексов в пределах поймы реки Оки на ее рязанском участке // *Вест. Рязан. гос. ун-та*. 2014. № 1(42).

Маккавеев Н.И. Русло реки и эрозия в ее бассейне. М.: Изд-во АН СССР. 1955.

Научно-прикладной справочник. Многолетние колебания и изменчивость водных ресурсов и основных характеристик стока рек Российской Федерации. СПб.: ООО "РИАЛ". 2021.

Семенов В.А., Семенова И.В., Шмелев П.П. Природно-климатическая и антропогенная обусловленность изменений гидрографической сети, стока наносов и загрязнения русел рек юга Нечерноземной зоны России // Двадцать третье пленар. межвуз. координац. совещ. по проблеме эрозион-

ных, русловых и устьевых процессов. Доклады и сообщения. Калуга: КГПУ. 2008.

Hack J.T. Stream-profile analysis and stream-gradient index // *Journal Research of United States Geological Survey*. 1973. Vol. 1.

А.Ю. Воробьев, А.Н. Варнаков

Рязанский государственный университет имени С.А. Есенина

ПОТЕНЦИАЛЬНЫЕ ВОЗМОЖНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ПОЛЕВЫХ ГЕОМОРФОЛОГИЧЕСКИХ МЕТОДОВ ДЛЯ ИНДИКАЦИИ СПОСОБНОСТИ КРУПНЫХ И МАЛЫХ РЕК К САМООЧИЩЕНИЮ

Аккумуляция и эрозия в эрозионно-русловых системах крупных равнинных рек может происходить на различных иерархических уровнях, но пойменные части речных долин обычно признаются [Эрозионно-русловые ..., 2017] как участки с преобладающими тенденциями осадконакопления. Объем депонирования твердофазного материала особенно возрастает на широких поймах, и рельеф днища долины р. Оки в ее среднем течении весьма благоприятен для массового осаждения взвеси во время весенних половодий. Пойменные сужения чередуются здесь с расширениями, в которых локализовано неопределенное число малых аккумулярующих емкостей. Обновление рельефа центральной поймы происходит не ежегодно, но и в годы с развитием полноценной паводковой волны оно обычно отличается пространственной неоднородностью. Участвовавшие в 2010-е гг. аномально низкие весенние половодья на уровне осенних паводков, традиционно обособляемых в гидрографе рек восточноевропейского типа, обеспечивают аккумуляцию аллювия только в прирусловой зоне осадконакопления окской поймы. Известно, что седиментация наносов на нестабильной границе русла и поймы осуществляется в соответствии с местными гидравлическими характеристиками паводочного потока. Но свойства самой паводочной волны моделируются гидроклиматическими условиями речного бассейна при снеготаянии – периоде активного транспорта вещества и энергии во всей эрозионно-русловой системе.

Сложность процесса развития форм прируслового рельефа обусловлена нелинейностью отклика рельефообразования на воздействие активных его факторов. Очевидно, что весенние половодья в условиях поймы средней Оки являются главными рельефообразующими событиями. Между тем сигнал для мобилизации морфолитодинамики, инспирируемый снеготаянием, доходя до конкретного участка поймы, проходит через многочисленные "фильтры" геоморфологической, ландшафтной и антропогенной природы. По этой причине определение вклада каждого фактора, оказывающего влияние на вещественный состав пойменно-русловых осадков и на скорость их накопления, становится сложной задачей. Целесообразно сосредоточиться не на механизме седиментации процесса, а на анализе ре-

зультата эрозионно-аккумулятивных процессов – пойменном рельефе. Именно этот принцип лежит в основе большинства стационарных исследований в области динамической геоморфологии, в том числе, наших полевых и камеральных работ в пределах поймы средней Оки. Многолетний мониторинг аллювиальной аккумуляции на литодинамически активных прирусловых ее участках осуществлялся [Воробьев и др., 2001] с помощью редко используемого в отечественной практике стационарных наблюдений подхода – метода седиментационных ловушек.

Натурные наблюдения седиментационных процессов на крупных реках Европы и США начались еще в середине прошлого столетия. За рубежом до сих пор выходит немало работ (вплоть до отдельных монографий [Voss, 2017]), освещающих результаты подобных исследований, перспективы и затруднения, возникающие при их проведении. В ходе нашего многолетнего стационарного мониторинга аллювиальной аккумуляции получены данные о фракционном составе свежих осадков, содержании в них органического вещества и мощности слоя наносов на ловушках. Последние достаточно просты в установке и эксплуатации, представляя собой обычные коврики из разных материалов, закрепленные на поверхности поймы, подстилающей половодный поток. Оработанная методика [Воробьев и др., 2021] установки ловушек и анализа свойств наилка позволила перейти к количественным оценкам скорости осадконакопления, заиления береговой зоны и обогащения наносов детритом. За период 2014-2019 гг. перед половодьем каждого года в пойме Оки устанавливалось более 150 ловушек, ежегодно более половины из них закреплялось в прирусловой пойме. Исследования продолжаются по сей день – к началу 2022 г. общее число снятых ловушек на пойме Оки и поймах ее притоков превысило 600.

Начиная с 2014 г., на средней Оке фиксировалась неустойчивость и общий дефицит весеннего стока, обеспеченность половодий по уровням была не менее 70-75%. В связи с этим, наиболее представительная информация о динамике рельефообразования получена именно для прирусловой поймы со стабильной доставкой свежих наносов бассейнового и руслового генезиса. На графиках, усредняющих данные о седиментации каждого года, заметно, что содержание органического вещества в аллювии приречной зоны осадконакопления увеличивалось при измельчении его гранулометрического состава. Прослеживается связь между интенсивным накоплением тонкодисперсного материала и пониженными значениями максимальных расходов Оки – например, 2014 и 2019 гг. отличались слабовыраженными половодьями, многие отмели после спада воды были покрыты слоем илистых суглинков. Заиление и накопление детрита на прирусловой пойме Оки отмечалось нами в окрестностях многих крупных населенных пунктов Рязанской области – городах Рязани и Касимове, поселках Елатье, Солотче и Спаске-Рязанском, крупных селах Константиново, Щербатовка, Вышгород и многих других. Отметим, что в середине XX века многие геологи и геоморфологи отмечали [Лазаренко, 1964] песчаный состав кровли руслового аллювия в местах установки наших ловушек, причем частицы размерностью

0,05-2 мм доминировали в отложениях всей прибрежной полосы. При этом русловые осушки зачастую плавно переходили в слабо задернованные прирусловые валы, также сложенные разнозернистыми песками, что позволяет заключить о высокой активности прируслового рельефообразования в то время.

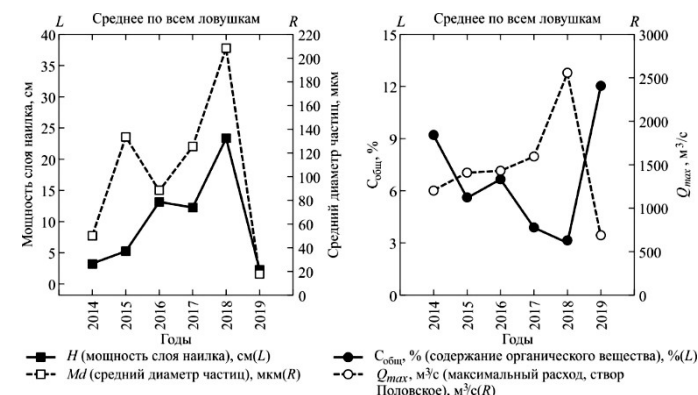


Рис. 1. Некоторые усредненные литологические параметры наилка прирусловой поймы средней Оки и максимальная водность половодий в 2014-2019 гг.

Вместе с тем поступление органических и минеральных частиц в русловую поток осуществляется не только при естественной литодинамике эрозионно-русловых систем, но и на фоне антропогенного привноса вещества. Как уже отмечалось выше, к староосвоенной пойме средней Оки примыкает множество населенных пунктов с развитой промышленностью и многочисленными источниками загрязнения окских вод. Водоотведение промышленных и бытовых стоков является насущной проблемой для рязанского участка русла Оки (743-661 км от ее устья). Воды главной реки и ее притоков здесь относятся к классу опасности 4а, на фоне общего снижения и перераспределения стока по сезонам в 2010-е гг. [Воробьев и др., 2021] наблюдается стагнация качества вод на уровне "грязный". Очевидно, что избыточное загрязнение вод может приводить к осаждению техногенной взвеси на участках наших стационарных наблюдений, но методика подобных комплексных эколого-геоморфологических исследований остается еще не отработанной. В частности, достоверно неизвестно, как качество вод связано с загрязнением отложений в зоне контакта русла и поймы Оки и какие показатели субстрата и водных масс следует при этом связывать друг с другом.

В системе факторов антропогенной нагрузки [Веницианов и др., 2014] следует выделять те, которые потенциально могут оказывать наибольшее неблагоприятное воздействие на участки прирусловых пойм Окского бассейна с условно естественным механизмом обновления наносов.

Основной интерес представляют последствия изменения гидрохимического и вещественного состава потока (сброс стоков), хотя и теплофизические факторы заслуживают отдельного внимания, особенно на малых реках окрестностей Рязани – Листвянке, Плетенке, Воже, Раке. Загрязнение именно таких водных объектов перспективно в контексте межотраслевых эколого-геоморфологических исследований, по крайней мере, на начальном их этапе. Пойменные же осадки собственно Оки слишком "интегральны" - формируются под воздействием множества природных факторов. Последние способны затушевывать вклад сточных вод в загрязнение поймы, особенно при их существенном разбавлении во время половодья. Учитывая профиль местных промышленных производств, представляется, что в отличие, например, от исследований [Веницианов и др., 2014] качества воды реки Пры (еще одного притока Оки), на реках окрестностей областного центра особое внимание следует уделить содержанию нефтепродуктов и тяжелых металлов в водах и русловых отложениях.

Комплексная методика оценки загрязнения прируслового рельефа окской поймы должна быть направлена, в первую очередь, на установление равновесных концентраций экотоксикантов в донных отложениях, водных массах и приречных осадках на седиментационных ловушках. Такой подход с позиций русловедения теоретически обоснован [Эрозионно-русловые ..., 2017], ибо мы в данном случае рассматриваем самостоятельные члены уравнения баланса наносов – русловую морфодинамику, пойменную аккумуляцию и поступление наносов с водосбора. Подобные межотраслевые исследования потребуют установки ловушек до весеннего половодья, а во время него – ежедневный отбор проб воды на гидрохимические показатели и измерения гидравлических параметров потока. После спада половодья предусматривается отбор донных наносов и снятие ловушек, после чего изъятый субстрат и пробы воды анализируются в лабораторных условиях. Установление связи концентраций экотоксикантов в частях пойменно-русловой подсистемы возможно через индикаторный подход (например, нормированный ИЗВ). Точный перечень анализируемых параметров пойменных и донных наносов, а также проб воды в настоящее время нами не составлен. Очевидно, его содержание будет зависеть от экологической обстановки в пределах того или иного бассейна малой реки и информации об исходном загрязнении его русла, которую предоставляют специальные электронные ресурсы [Автоматизированная ..., 2022].

На следующем этапе, при переходе к пространственному загрязнению прирусловой поймы реки Оки, уже будут известны соотношения транспорта и аккумуляции загрязнителей, полученные на основе материала по малым рекам. Оценка роли точечных источников загрязнения в аккумуляции техногенных осадков на поймах рек, особенно малых, представляется достаточно простой – следует устанавливать ловушки с определенным шагом от источника водоотведения для выявления ареалов максимального поступления экотоксикантов. Идентификация вклада управляемых и неуправляемых источников диффузного загрязнения является более сложной зада-

чей, хотя и, на наш взгляд, выполнимой для малых рек окрестностей Рязани. В данном контексте можно говорить о загрязнении не просто береговой зоны или земельных участков, а рельефа, что предполагает новое понимание роли последнего в поддержании устойчивости транссупераквальных ландшафтов. Прикладное значение таких потенциальных исследований может находиться в рамках практики природоохранного мониторинга, поскольку речь, так или иначе, идет о расчетах загрязнения природоохранной зоны водных объектов.

ЛИТЕРАТУРА

Автоматизированная информационная система государственного мониторинга водных объектов // Режим доступа: <https://gmvo.skniivh.ru/>, ограниченный. - Загл. с экрана. - Яз. рус. (дата обращения: 14.03.2022).

Веницианов Е.В., Аджиев Г.В., Щеголькова Н.М. Загрязнение и самоочищение малых рек: процессы, мониторинг, охрана // Экосистемы малых рек: биоразнообразие, экология, охрана. Т. 1. Филигрань. 2014.

Воробьев А.Ю., Кривцов В.А., Кадыров А.С. Современная динамика накопления и состав аллювия прирусловой поймы реки Оки. Аккумуляция аллювиальных отложений в прирусловых поймах // Уч. записки Казан. унта. Сер. Естественные науки. Т. 163, кн. 4. 2021.

Лазаренко А.А. Литология аллювия равнинных рек гумидной зоны (на примере Днепра, Десны, Оки) / Тр. ГИН. Вып. 120. 1964.

Эрозионно-русловые системы М.: ИНФРА-М. 2017.

Voss J.C. Deposition patterns and rates of mining contaminated sediment within a sedimentation basin system, S.E. Missouri Missouri State University, Springfield. 2017.

М.М. Иванов, В.Н. Голосов, Н.Н. Иванова

Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова

ИСТОРИЯ И ПЕРСПЕКТИВЫ ИССЛЕДОВАНИЙ ЭРОЗИОННО-АККУМУЛЯТИВНЫХ ПРОЦЕССОВ В БАССЕЙНАХ РЕК, ПОДВЕРГШИХСЯ ИНТЕНСИВНОМУ ЧЕРНОБЫЛЬСКОМУ ЗАГРЯЗНЕНИЮ, НА ПРИМЕРЕ Р. УПЫ*

Балансовый подход при изучении формирования стока наносов является эффективным, но довольно трудозатратным методом. Недостаток или полное отсутствие мониторинговых данных приводит к тому, что балансовый метод часто является единственным способом оценить объемы и определить источники потоков наносов в речных бассейнах со значимым антропогенным воздействием. Пространственные рамки и временной интервал для оценки баланса наносов зависят от поставленных целей, и он

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

может быть масштабирован практически до любых размеров с той степенью детализации, которую позволяют имеющиеся технические средства и ресурсы. Однако оценку баланса наносов не следует рассматривать в качестве альтернативы постоянным стационарным наблюдениям.

Построение долгосрочных прогнозов трансформации поля загрязнения и возникновения новых экологических рисков невозможно без подробного изучения механизмов и путей латеральной миграции радионуклидов в составе стока наносов [Golosov, Walling et al., 1999; Golosov, Panin et al., 1999; Panin et al., 2001; Walling, 2003; Konoplev, Golosov et al., 2016; Golosov, Ivanov, 1920]. Следовательно, масс-балансовая оценка миграции загрязнителей, ассоциированных с наносами, является той задачей, для решения которой определение баланса наносов является вполне подходящим инструментом.

Интенсивное радиоактивное загрязнение речных бассейнов в значительной мере актуализирует данный подход. Крупные радиационные аварии такие, как Чернобыльская или Фукусимская катастрофы, являются, с одной стороны, серьёзным экологическим вызовом [Beresford, Fesenko et al., 2016], а, с другой, открывают широкие методические перспективы комплексных исследований эрозии и аккумуляции наносов, где ^{137}Cs , включая глобальные выпадения после бомбовых испытаний, выступает одновременно как объект изучения и как удобный трассер.

На территории современной России наиболее детальные исследования перераспределения наносов и миграции связанного с ними ^{137}Cs осуществлялись на протяжении более 25 лет в бассейне р. Упы. В последнее десятилетие работы в бассейне р. Упы проводилась параллельно с исследованиями в зоне Фукусимского загрязнения. В качестве одной из целей данных проектов было сопоставление трансформации радиоактивного загрязнения в контрастных ландшафтно-климатических условиях.

Бассейн р. Упы площадью около 9500 км² расположен в северной части Среднерусской возвышенности в пределах Тульской области. По классификации Коппена-Гейгера эта территория относится к зоне Dfb, для которой характерен холодный климат без сухого сезона с теплым летом [Голосов, Иванов и др., 2021]. Годовой слой осадков уменьшается с северо-запада на юго-восток с 630 до 592 мм, причём в тёплое время года в среднем выпадает порядка 460 мм жидких осадков. Почвенный покров в пределах междуречных пространств представлен выщелоченными и оподзоленными чернозёмами, а также тёмно-серыми лесными почвами. Почвообразующей породой являются карбонатные лессовидные суглинки [Мамихин, Голосов и др., 2016]. Характерной чертой территории являются плоские приводораздельные поверхности, занимающие наибольшие площади в верховьях рек. Склоны междуречий преимущественно пологие, выпуклые, длина их может достигать до нескольких сотен метров. Большая по площади южная часть бассейна с высокой долей распаханых территорий в земельном фонде была сильно загрязнена после аварии на ЧАЭС в апреле 1986 г. Максимум радиоактивного загрязнения отмечается в центральной части бассейна р.

Плавы, левого притока р. Упы, и протягивается сравнительно узкой полосой к востоку и западу, образуя так называемое "Плавское радиоактивное пятно". Замыкающим створом для верхней части бассейна р. Упы служит Щёкинское водохранилище, которое было создано в конце 1940-х г. для нужд Щёкинской ГРЭС (рис. 1).

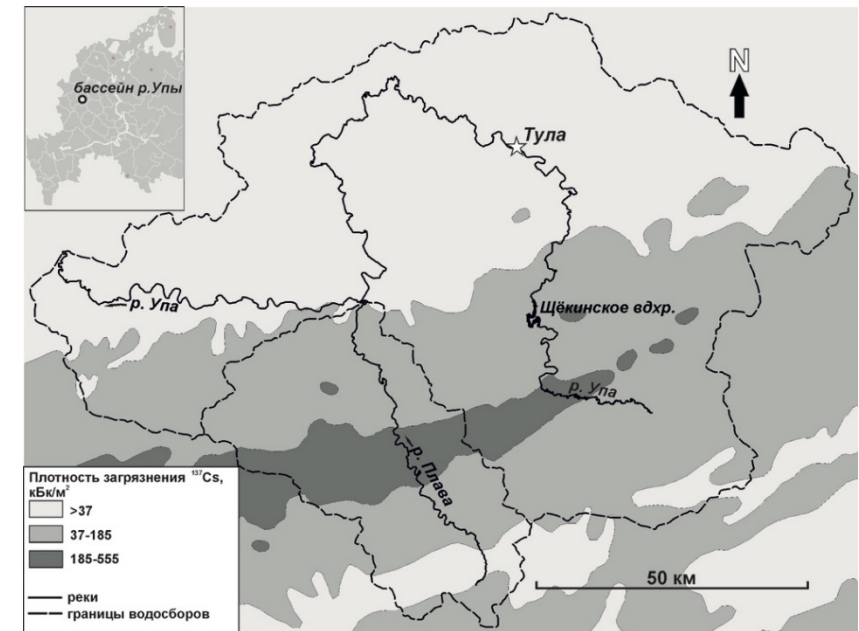


Рис. 1. Расположение бассейнов р. Упы и его уровень радиоактивного загрязнения.

Были исследованы пять ключевых малых водосборов, располагающихся в центральной и южной частях бассейна р. Плавы (рис. 2). Основной целью работ было исследование путей перераспределения наносов и связанных с этим изменений запасов ^{137}Cs на разных геоморфологических позициях в течение первых десятилетий после Чернобыльской катастрофы.

Также были изучены пойменные участки рек бассейна Упы, включая реки Локну, Плаву и саму Упу. Заложенные серии площадок отбора проб почв для определения вертикального распределения изотопа ^{137}Cs на различных уровнях пойм позволили получить информацию о среднесреднегодных темпах накопления наносов и ^{137}Cs в периоды их затопления. Для получения информации о стоке наносов за весь пост-Чернобыльский период были проведены работы по оценке объёмов накопления донных отложений в Щёкинском вдхр.

Исследованиями в середине 1990-х гг. было установлено, что 11 лет, прошедших после выпадения ^{137}Cs Чернобыльского происхождения,

оказалось слишком мало для существенных потерь запасов радионуклидов на обрабатываемых склонах, обусловленных смывом почвы. Но был зафиксирован только рост запасов ^{137}Cs на локальных участках аккумуляции наносов [GolosoV, Panin et al., 1999]. Системы ложбин на обрабатываемых склонах являются важнейшим путём транспорта наносов в балочную сеть [Panin et al., 2001].

Совместное использование радиоцезиевого метода и магнитного трассера выявило отчётливый тренд к снижению темпов эрозии за пост-Чернобыльский период в сравнении со 150-летним периодом активной распашки. Основными причинами снижения является сокращение интенсивности талого стока на склонах в весеннее время и уменьшение доли пропашных культур в севообороте [GolosoV, Gennadiev et al., 2011]. Доставка наносов и ^{137}Cs за пределы распаиваемых склонов определяется не только уклоном и формой склона, но и в значительной мере антропогенными элементами рельефа, в том числе напашами по границам полей. Напаша является не только механическим препятствием для наносов, но и важным геохимическим барьером на пути миграции радионуклидов [Zhidkin, Shamshurina et al., 2020].

Днища сухих долин являются основными накопителями наносов, выносимых с распаиваемых склонов [Иванов и др., 2017; Gusarov A.V., GolosoV et al., 2019]. При этом интенсивность перераспределения наносов зависит главным образом от уклона днища [GolosoV et al., 2000]. Согласно оценке, произведённой для бассейна р. Плавы на период 1986-2009 гг., около 60% наносов, смытых с обрабатываемых склонов в бассейне р. Плавы, не покидают пределы водосборов 1-3-го Хортон-порядка (Belyaev et al., 2012). Доля наносов, выносимых за пределы водосборов долин 4 Хортон-порядка, как правило, не превышает 10% от общего объёма смытых с пашни наносов [Фридман, Квасникова и др., 1997; Голосов, 2006; GolosoV, 2006]. Таким образом, основным источником поступления материала в речные долины бассейна р. Плавы являются водосборы непосредственно впадающих в них малых долин 1-2 порядка.

Исследования пойменных комплексов рек Локны, Плавы и Упы показали высокую пространственную неоднородность накопления наносов и радионуклидов. Наблюдается чёткое различие между темпами аккумуляции на различных уровнях поймы р. Локны. На низкой пойме, где темпы аккумуляции составили 0,3-1,1 см/год, за счёт накопления загрязнённых наносов суммарные запасы ^{137}Cs даже с учётом потерь от радиоактивного распада не уменьшились. На средней пойме аккумуляция за пост-чернобыльский период очень низкая в силу сокращения талого стока со склонов, и, как следствие, снижения случаев её затопления в периоды формирования весеннего половодья [Ратников, 1960]. Интенсивное накопление все менее загрязнённого материала на низкой пойме р. Локны приводит к снижению мощности формируемой дозы и позитивным радиоэкологическим эффектам [Иванов, Комиссарова и др. 2021]. Схожая картина наблюдается также и на пойме р. Плавы, где наиболее активно трансформация исходного поля загрязнения

происходит на низкой пойме [Иванов, Шамшурина и др., 2014]. Средние темпы аккумуляции здесь несколько выше и на низкой пойме составляют 0,7-1,4 см/год [Belyaev, GolosoV et al., 2013].

Средняя и низкая пойма р. Упы, на участке ниже по течению от впадения р. Плавы присутствует в днище долины фрагментарно. Вследствие относительно их небольшой площади здесь откладывается только незначительная часть переносимых р. Упой наносов. Но темпы накопления в период 1986-2014 гг. при малой площади поверхности пойменных сегментов достигали 1,5-2,7 см/год. Был выявлен тренд снижения объёма половодного стока р. Упы, особенно ярко выраженный после 2007 г., обусловленный сокращением доли поверхностного стока со склонов и переходом его в подземный сток. В результате произошло сокращение бассейновой составляющей в стоке наносов рр. Упы и Плавы, что привело в этот период к снижению воздействия стока р. Плав на загрязнение р. Упе [Голосов, Иванов и др., 2013].

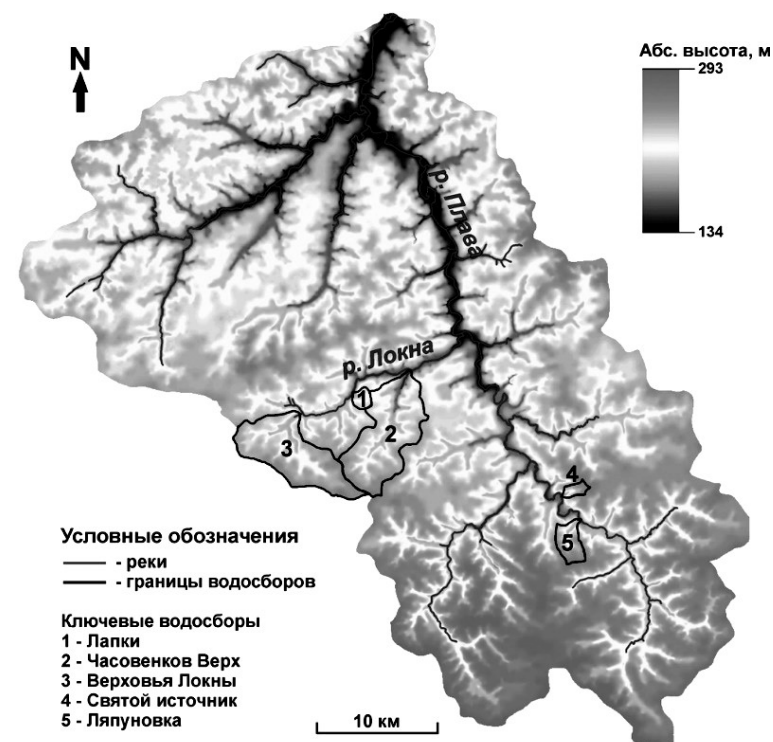


Рис. 2. Расположение ключевых малых водосборов в бассейне р. Плавы

Установленные в разные периоды исследований в бассейне р. Плав величины эрозии и аккумуляции для отдельных составляющих баланса

наносов р. Плавы, позволяют представить в следующем графическом виде (рис. 3).

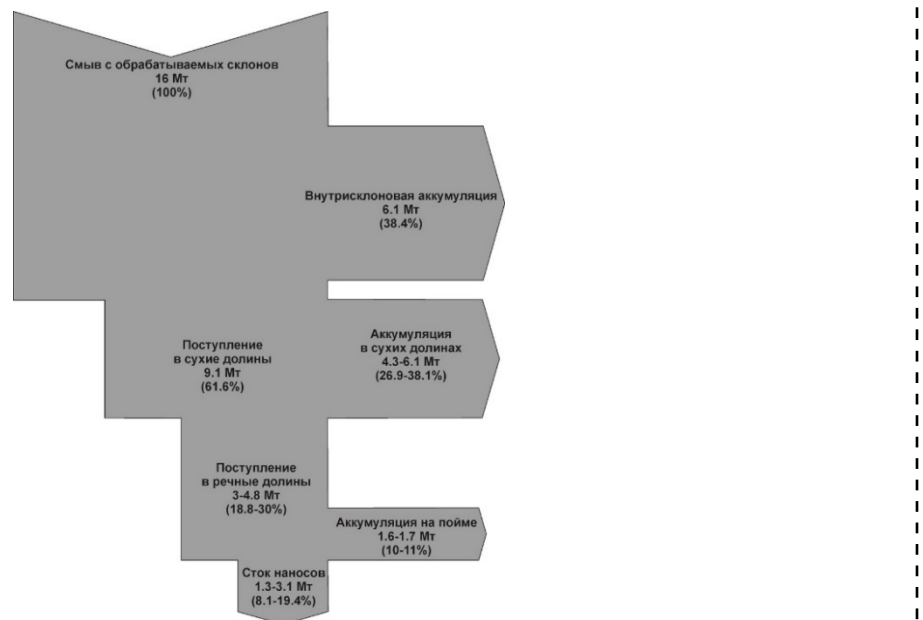


Рис. 3. Баланс наносов р. Плавы за период 1986-2012 гг.

На современном этапе Щёкинское водохранилище является крупным накопителем ^{137}Cs Чернобыльского происхождения, поступающего в водоем вместе с речным стоком. Наблюдаемая тенденция роста концентрации радионуклидов вниз по профилю донных осадков наглядно демонстрирует общую тенденцию к снижению содержания ^{137}Cs в речном стоке в пост-Чернобыльский период. Перекрытие наиболее активных толщ осадков менее загрязненными наносами в современных условиях служит фактором повышения экологической безопасности. Существенную угрозу может представлять только спуск водохранилища и вторичный выброс радионуклидов в р. Упу [Иванов, Гуринов и др., 2019]. Общая масса накопившихся за пост-Чернобыльский период в Щёкинском водохранилище наносов составила более $0,37 \times 10^6$ т.

Как было отмечено ранее, проведение балансовых исследований, в частности с применением Чернобыльского ^{137}Cs , скорее всего будет связано со следующими направлениями [Golosov et al., 2013]:

- изучением перераспределения наносов на обрабатываемых склонах путём комбинированного использованием радиоцезиевого метода с моделями эрозии, дистанционным зондированием и анализом имеющихся ме-

теорологических данных, в особенности для единичных экстремальных эрозионных событий.

- построением балансов наносов для временных отрезков, выходящих за пределы пост-Чернобыльского периода, с привлечением методов оценки интенсивности эрозионно-аккумулятивных процессов различного временного разрешения [Golosov, Belyaev et al., 2013];

- оценкой эффективности почвозащитных мер [Golosov, Belyaev et al., 2008; Belyaev, Golosov et al., 2009];

- мониторинговыми исследованиями в бассейнах малых типичных рек, подвергшихся интенсивному радиоактивному загрязнению, где изменения в интенсивности пойменного осадконакопления могут продемонстрировать влияние климатических флуктуаций и изменения в системе землепользования на функционирование речных бассейнов;

- детальным изучением латеральной миграции ^{137}Cs в пределах обрабатываемых водосборов, как аналога перераспределения других поллютантов, ассоциированных с наносами [Golosov, 2002];

- проведением исследований водосборов искусственных водоёмов, где баланс наносов может быть практически полностью инструментально оценён, поскольку практически весь формируемый сток наносов задерживается в устьевом створе таких водосборов [Belyaev, Golosov et al., 2013; Gusarov, Golosov et al., 2019; Голосов, Иванов и др., 2021];

- исследование донных осадков, выступающих в виде природного архива, позволяет отчасти компенсировать недостаток стационарных наблюдений миграции наносов и вмещённых в них загрязнителей в бассейнах малых рек [Иванов, Гуринов и др., 2019; Ivanov, Konoplev et al., 2021; Konoplev, Ivanov et al, 2019].

ЛИТЕРАТУРА

Голосов В.Н. Эрозионно-аккумулятивные процессы в речных бассейнах освоенных равнин. М.: ГЕОС. 2006.

Голосов В.Н., Куксина Л.В., Иванов М.М., Фролова Н.Л., Иванова Н.Н., Беляев В.Р. Оценка перераспределения ^{137}Cs в пойменных отложениях реки Упа (Тульская область) после аварии на Чернобыльской АЭС // Изв. РАН. Серия географ. 2020. №1.

Голосов В.Н., Иванов М.М., Цыпленков А.С., Иванов М.А., Вакияма Ю., Коноплев А.В., Константинов Е.А., Иванова Н.Н. Эрозия как фактор трансформации радиоактивного загрязнения почв на водосборе Щёкинское водохранилища (Тульская область) // Почвоведение. 2021. №2.

Иванов М.М., Голосов В.Н., Беляев В.Р. Анализ строения рельефа для оценки коэффициента доставки наносов бассейна реки Плавы (Тульская область) // Вест. Моск. ун-та. Сер. 5. География. 2017. № 3.

Иванов М.М., Гуринов А.Л., Иванова Н.Н., Коноплев А.В., Константинов Е.А., Кузьменкова Н.В., Терская Е.В., Голосов В.Н. Динамика накопления ^{137}Cs в донных осадках Щёкинское водохранилища за постчернобыльский период // Радиационная биология. Радиоэкология. 2019. № 6.

Иванов М.М., Комиссарова О.Л., Кошовский Т.С., Цыпленков А.С. Применение полевой гамма-спектрометрии и дозиметрии для исследования осадконакопления на пойме малой равнинной реки в зоне интенсивного радиоактивного загрязнения // Вест. Моск. ун-та. Сер. 5: География. 2021. № 1.

Иванова Н.Н., Шамигурина Е.Н., Голосов В.Н., Беляев В.Р., Маркелов М.В., Парамонова Т.А., Эврар О. Оценка перераспределения ¹³⁷Cs экзогенными процессами в днище долины р. Плава (Тульская область) после аварии на Чернобыльской АЭС // Вест. Моск. ун-та. Сер. 5. География. 2014. № 1.

Мамихин С.В., Голосов В.Н., Парамонова Т.А., Шамигурина Е.Н., Иванов М.М. Вертикальное распределение ¹³⁷Cs в аллювиальных почвах поймы р. Локна (Тульская область) в отдаленный период после аварии на ЧАЭС и его моделирование // Почвоведение. 2016. № 12.

Ратников А.И. Геоморфологические и агропочвенные районы Тульской области // Почвенное районирование СССР. М.: Изд-во Моск. ун-та, 1960.

Фридман Ш.Д., Квасникова Е.В., Глушко О.В., Голосов В.Н., Иванова Н.Н. Миграция цезия-137 в сопряженных геоконплексах Среднерусской возвышенности // Метеорология и гидрология. 1997. № 5.

Belyaev V.R., Golosov V.N., Kuznetsova J.S., Markelov M.V. Quantitative assessment of effectiveness of soil conservation measures using a combination of ¹³⁷Cs radioactive tracer and conventional techniques // Catena. 2009. Vol. 79.

Belyaev V.R., Shamshurina E.N., Markelov M.V., Golosov V.N., Ivanova N.N., Bondarev V.P., Paramonova T.A., Evrard O., Lio Soon Shun N., Otle C., Lefevre I., Bonte P. Quantification of river basin sediment budget based on reconstruction of the post-Chernobyl particle-bound ¹³⁷Cs redistribution // Erosion and sediment yields in the changing environment (proceedings of a symposium held in Chengdu, China, Oct, 2012). 2012. IAHS Publ. 356. IAHS Press, Wallingford.

Belyaev V.R., Golosov V.N., Markelov M.V., Ivanova N.N., Shamshurina E.N., Evrard O. Effects of landuse and climate changes on small reservoir siltation in the agricultural belt of European Russia // Considering hydrological change in reservoir planning and management, proceeding of H09. 2013. IAHS-IAPSO-IASPEI assembly, Gothenburg. Sweden, Jul 2013.

Belyaev V.R., Golosov V.N., Markelov M.V., Evrard O., Ivanova N.N., Paramonova T.A., Shamshurina E.N. Using Chernobyl-derived ¹³⁷Cs to document recent sediment deposition rates on the River Plava floodplain // Hydrological Processes. 2013. № 6.

Beresford N. A., Fesenko S., Konoplev A., Skuterud L., Smith, J. T., Voigt, G. Thirty years after the Chernobyl accident: What lessons have we learnt? // Journal of environmental radioactivity. 2016. Vol. 157.

Golosov V.N., Walling D.E., Panin A.V., Stukin E.D., Kvasnikova E. V., Ivanova N.N. The spatial variability of Chernobyl-derived ¹³⁷Cs inventories in a

small agricultural drainage basin in central Russia // Applied Radiation and Isotopes. 1999. № 4.

Golosov V.N., Panin A.V., Markelov M.V. Chernobyl ¹³⁷Cs redistribution in the small basin of the Lokna river, Central Russia // Physics and Chemistry of the Earth, Part A: Solid Earth and Geodesy. 1999. № 10.

Golosov V.N., Panin A.V., Walling D.E. Post-fallout redistribution of Chernobyl-derived Cs-137 in small catchments within the Lokna river basin // The role of erosion and sediment transport in nutrient and contaminant transfer. Canada, Waterloo, July. 2000.

Golosov V.N. Special considerations for areas affected by chernobyl fallout // Handbook for the Assessment of Soil Erosion and Sedimentation Using Environmental Radionuclides. Kluwer Academic Publishers Dordrecht, 2002.

Golosov V. Influence of different factors on the sediment yield of the Oka basin rivers (central Russia) // Iahs Publication. 2006. Vol. 306.

Golosov V., Belyaev V., Kuznetsova Y., Markelov M., Shamshurina E. Response of a small arable catchment sediment budget to introduction of soil conservation measures // Sediment Dynamics in Changing Environments, IAHS Publ. 2008. Vol. 325, IAHS Press: Wallingford, UK.

Golosov V. N., Gennadiev A. N., Olson K. R., Markelov M. V., Zhidkin A.P., Chendev Yu. G., Kovach R. G. Spatial and temporal features of soil erosion in the forest-steppe zone of the East-European Plain // Eurasian Soil Science. 2011. № 7.

Golosov V.N., Belyaev V.R., Markelov M.V. Application of chernobyl-derived ¹³⁷Cs fallout for sediment redistribution studies: lessons from European Russia // Hydrological processes. 2013. № 6.

Golosov V., Ivanov M. Chapter 4 quantitative assessment of lateral migration of the chernobyl-derived ¹³⁷Cs in contaminated territories of the East-European Plain // Behavior of Radionuclides in the Environment II Chernobyl, Springer. Singapor. 2020.

Gusarov A.V., Golosov V.N., Ivanov M.M., Sharifullin A.G. Influence of relief characteristics and landscape connectivity on sediment redistribution in small agricultural catchments in the forest-steppe landscape zone of the Russian Plain within European Russia // Geomorphology. 2019. Vol. 327.

Ivanov M.M., Konoplev A.V., Walling D.E., Konstantinov E.A., Gurinov A.L., Ivanova N.N., Kuzmenkova N.V., Tsyplenkov A.S., Ivanov M.A., Golosov V.N. Using reservoir sediment deposits to determine the longer-term fate of Chernobyl-derived ¹³⁷Cs fallout in the fluvial system // Environmental Pollution. 2021.Vol. 274. 1

Konoplev A., Golosov V., Laptev G., Nanba K., Onda Y., Takase T., Wakiyama Y., Yoshimura K. Behavior of accidentally released radiocesium in soil–water environment: Looking at Fukushima from a Chernobyl perspective // Journal of environmental radioactivity. 2016. Vol. 151.

Konoplev A.V., Ivanov M.M., Golosov V.N., Konstantinov E.A. Reconstruction of long-term dynamics of Chernobyl-derived ¹³⁷Cs in the Upa River using bottom sediments in the Scheckino reservoir and semi-empirical modelling

// Proceedings of the International Association of Hydrological Sciences. 2019. Vol. 381.

Panin A.V., Walling D.E., Golosov V.N. The role of soil erosion and fluvial processes in the post-fallout redistribution of Chernobyl-derived caesium-137: a case study of the Lapki catchment, Central Russia // *Geomorphology*. 2001. Vol. 40.

Walling D.E. Using environmental radionuclides as tracers in sediment budget investigations // IAHS Publication. 2003..

Zhidkin A.P., Shamshurina E.N., Golosov V.N., Komissarov M.A., Ivanova N.N., Ivanov M.M. Detailed study of post-Chernobyl Cs-137 redistribution in the soils of a small agricultural catchment (Tula region, Russia) // *Journal of Environmental Radioactivity*. 2020. Vol. 223.

КРАТКИЕ СООБЩЕНИЯ

ИСТОЧНИКИ ЗАГРЯЗНЕНИЯ ВОД В НИЖНЕМ ТЕЧЕНИИ ИРТЫША

При общей протяженности Иртыша более 4,2 тыс. км нижним течением принято считать участок реки от границы Республики Казахстан с Российской Федерацией до места впадения реки в Обь. По данным Росгидромета в районе г. Омска общий среднемноголетний сток воды составляет 30,3 км³/год. На территории Казахстана Иртыш принимает на себя отходы хорошо развитой горнодобывающей и металлургической промышленности, при этом качество воды характеризуется как "загрязненная" и относится к 3–4 классу загрязнения по пятибалльной шкале Росгидромета. К этому следует добавить антропогенное воздействие на качество воды от промышленных предприятий, сельского и лесного хозяйств, расположенных на территории Омской области. Свою лепту в загрязнение вод Иртыша вносят водный транспорт, мелиорация, транспортно-селитебное и рекреационное воздействие на водоток.

Кроме поступления загрязняющих веществ из Казахстана на территории Омской области с государственными балансовыми запасами имеются четыре нефтяных месторождения, одно газоконденсатное, два титановых и циркониевых, два стекольных песков, по одному бентонитовых глин и минеральных солей. Но особенно большие запасы разведаны для строительных песков, кирпичного суглинка, сапропелей и торфа. Как известно, при эксплуатации этих месторождений происходит значительное загрязнение поверхностных вод. Высокую опасность, с точки зрения загрязнения почвогрунтов, грунтовых и поверхностных вод нефтепродуктами, представляют разрабатываемое Крапивинское месторождение нефти, Омский нефтеперерабатывающий завод, склады горюче-смазочных материалов, автозаправочные станции и нефтебазы.

Другим источником загрязнения вод Иртыша является высокоразвитая сельскохозяйственная отрасль. Основными веществами, поступающими с полей и загрязняющими поверхностные и подземные воды, являются сульфаты, хлориды, соединения азота (нитраты, нитриты, аммиак). Среди тяжелых металлов - медь, свинец, цинк, кадмий, никель и ртуть.

Несмотря на то, что в вопросах экологического состояния территории леса играют положительную роль, тем не менее, нерациональное их использование может влиять и на водные системы региона. Леса на территории области размещены крайне неравномерно. Более половины лесных массивов сосредоточено в северной зоне, 23,3 % произрастают в центральной и 8,0 % лесов, преимущественно колочного характера, размещаются в южной зоне, в основном в виде полезащитных лесных полос.

Такое распределение лесов требует особого контроля за их состоянием. Для этого ежегодно фиксируются изменения, происходящие в лесном фонде в результате хозяйственной деятельности, связанной с вырубкой леса, отчуждением площадей под гражданские и другие виды застройки. Сокращаются площади лесов и в связи с возникновением стихийных бедствий – пожаров, засух, массовых повреждений вредителями и т.п.

Основной проблемой водных ресурсов нижнего течения Иртыша является их загрязнение сточными водами промышленных предприятий и жилищно-коммунальных хозяйств. По объему сброса загрязненных сточных вод г. Омск стоит на девятом месте по России. В водные объекты области в зависимости от объема производства поступает до 269 млн. м³ загрязненных сточных вод, в том числе в городе – 230 млн. м³, из которых 86 % - неочищенных или недостаточно очищенных.

Свою лепту в загрязнение поверхностных вод вносят также речной флот и мелиорация. Загрязнение при мелиорации происходит в результате того, что основной фонд дачных участков находится в долине Иртыша, а орошение этих территорий вызывает интенсивный снос в водоёмы больших объемов различных удобрений и ядохимикатов. В некоторых случаях эти загрязняющие вещества попадают в водную среду с дренажными водами.

Значительным источником загрязнения вод Иртыша являются места проживания людей и транспорт. Только в Омской области насчитывается 25 городских населённых пунктов, из них пять крупных городов и 20 посёлков городского типа. Кроме городских поселений имеется 1400 сельских населённых пунктов. В целом плотность населения составляет 13,49 чел/км². В результате хозяйственной деятельности человека в местах его проживания происходит загрязнение всех компонентов природной среды, в том числе и водных объектов. Через основную автомагистраль Р-254, проходящую через Омскую область, за сутки передвигается свыше 10 тысяч крупнотоннажных и легковых автомобилей, выхлопные газы которых способствуют попаданию тяжелых металлов не только в почву, но и речную систему.

В последнее время в экономике субъектов Российской Федерации не последнее место стало занимать развитие туризма. Не является исключением и Омская область. В связи с этим рекреационное воздействие на ландшафты области становится крайне заметным. Так, из 14 официально разработанных туристических маршрутов, шесть направлений принадлежат водным, ориентированным на Омское Прииртышье.

В качестве мер по улучшению экологического состояния р. Иртыш на территории Омской области предлагается увеличить количество лесных насаждений, произвести лесовосстановительные работы и уменьшить процент распаханых территорий, с переводом используемых земель под пары. Также можно внедрить современную систему фильтрующего оборудования (сброс/выброс/обезвреживание) в промышленное производство и внедрить систему замкнутого промышленного водоснабжения, улучшить контроль за деятельностью туристических фирм, особенно использующих для этих целей водные объекты.

ЗАДАЧИ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ КОНСТРУКЦИИ, РЕЖИМОВ И ТЕХНОЛОГИИ РАБОТЫ, МЕТОДОВ РАСЧЕТА ЗЕМЛЕСОСНЫХ СНАРЯДОВ

Землесосные снаряды – специальные суда для разработки и подъема грунта со дна водоема, транспортирования или погрузки этого грунта на место отвала или в специальные суда.

На внутренних водных путях сложилась своя терминология, повседневно применяемая в соответствующей конструкторской и рабочей документации. Так, дноуглубительные и добычные земснаряды гидравлического действия с центробежным грунтовым насосом называются землесосами в отличие от строительных земснарядов, где землесосом называют сам грунтовой насос. Земснаряды гидравлического действия с водоструйным насосом или с воздушным водоподъемником — эрлифтом, называются соответственно эжекторными или эрлифтными землесосами. Трубопровод, по которому потоком воды транспортируется грунт, называют пульповод, пульпопровод, грунтопровод, рефулер. Движущуюся по этому трубопроводу смесь воды с грунтом называют пульпой или гидросмесью.

Работа любого землесоса представляет собой совокупность взаимосвязанных процессов: оперативных перемещений земснаряда, разработки грунта под водой, его транспортирования или погрузки, взаимодействия элементов грунтонасосной установки, грунтоотводного и других устройств. Для выбора оптимальных режимов работы грунтонасосной установки (ГНУ) необходимо иметь возможность постоянно определять фактические производительность и расход энергии установки. Однако типовой комплект контрольно-измерительных приборов большинства эксплуатируемых в настоящее время землесосов не выполняет непосредственные замеры этих параметров. Для определения оптимальности процесса в любых грунтовых и технологических условиях созданы математические модели работы ГНУ.

С помощью математической модели № 1, учитывающей взаимозависимость полной энергии, сообщаемой насосом перекачиваемой гидросмеси, проведен анализ путей повышения производительности ГНУ, установлено, что эта задача может быть решена только за счет интенсификации грунтозабора с учетом ограничений по потребляемой мощности, критической скорости движения смеси и недопустимости кавитации.

Однако интенсификация грунтозабора сопряжена с вероятностью завала зева всасывающего наконечника, прекращения движения гидросмеси, и как следствие, забоя напорного трубопровода. Поэтому специалистами МГАВТ предложена конструкция всасывающего наконечника с гидравли-

ческим рыхлителем и дополнительным коллектором для подвода воды, обеспечивающая работу при завале зева в режиме грунтозабора из массива.

Для расчета конструктивных параметров такого наконечника, создана математическая модель № 2. В ее основе — условие, что суммарное гидравлическое сопротивление не должно превосходить предельного вакуума. Модель позволяет рассчитать различные варианты всасывающих наконечников, с определением допустимых длины и площади сечения коллектора дополнительного подвода воды. Снижение сопротивления линейному перемещению землесоса, обеспеченное наличием зоны псевдосжиженного грунта, снимает привычные для оператора контроль и ограничение скорости рабочего перемещения по усилию в рабочем канате. Для определения потребной скорости рабочего перемещения необходимо в любой момент времени знать текущую производительность ГНУ, профиль траншеи, а также фактическую и критическую скорость транспортирования гидросмеси при данных условиях. На практике постоянный замер указанных параметров невозможен, поэтому о достижении необходимой скорости рабочего перемещения можно судить только по косвенным признакам.

Эта задача решается с помощью математической модели № 3 процесса грунтозабора. Она позволяет определить допустимую скорость рабочего перемещения землесоса из условия, что фактический объем всасываемого за единицу времени грунта соответствует объему грунта проходимой за это же время траншеи

На основе обобщения результатов математического эксперимента по моделям № 1 и № 3 получены диаграммы зависимости линейной скорости перемещения землесоса по станковому канату от глубины грунтозабора и толщины снимаемого слоя грунта.

Разработанные математические модели режимов ГНУ позволяют управлять землесосом по показаниям стандартных КИП с обеспечением либо максимально возможной производительности, либо минимальных удельных энергозатрат.

Таким образом, применение математического моделирования позволило обосновать методику выбора режима работы ГНУ в зависимости от поставленных задач, в различных грунтовых и технологических условиях. Разработанная оригинальная диаграмма выбора режима работы ГНУ на основании показаний минимального штатного комплекта контрольно-измерительных приборов позволяет обоснованно выбирать режим работы землесоса с отсутствующими или неработающими приборами контроля скорости перекачивания и консистенции гидросмеси, и добиваться либо наибольшей производительности, либо наибольшей экономичности работы ГНУ при выполнении конкретных задач.

ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ПАЛЕОЭРОЗИОВЕДЕНИЯ*

Опыт многочисленных отраслей наук о Земле показывает, что глубокое понимание современного состояния различных компонентов ландшафта и обоснованный прогноз на будущее невозможны без опоры на реконструкции их эволюции в условиях взаимодействия внутренних закономерностей развития и изменяющихся сочетаний внешних факторов. Палеогеография и ее отрасли, такие как палеогеоморфология, палеоклиматология, палеогидрология получили самое широкое развитие в XX в., и особенно бурно развиваются в последние десятилетия, в связи с техническим прогрессом и значительным расширением материально-технической и методической базы палеореконовструкций, прежде всего, возможностей методов абсолютного и относительного датирования, широкой пространственной корреляции изменений состояния различных компонент географической оболочки и отдельных событий [Панин, 2014]. Предлагаемый доклад посвящен обоснованию теоретических основ и методологической базы палеоэрозиоведения.

Вслед за М.Н. Заславским, предлагаемые разработки основываются на том, что классическое эрозиоведение является самостоятельной научной дисциплиной, изучающей "...причины и закономерности проявления эрозии почв, эрозионноопасные земли и эродированные почвы, методы защиты почв от эрозии и мелиорации эродированных земель" [Заславский, 1983]. Исходя из этого, можно определить место эрозиоведения в системе наук о Земле, а также связи с базовыми фундаментальными науками. Эрозиоведение развивается на стыке геологии, географии и почвоведения, в тесных связях с соответствующими отраслями физики, химии, биологии, математики. Объектом эрозиоведения являются процессы эрозии почв и, собственно, измененные эрозионно-аккумулятивными процессами (смытые, намытые и смыто-намытые) почвы, а предметом – закономерности, факторы и условия процессов эрозии почв, динамика и географическое распространение этих процессов. Другими словами, оперируя терминологией, принятой в рамках развития идей Н.И. Маккавеева [1955], эрозиоведение изучает флювиальный морфолитогенез в верхних звеньях эрозионно-русловых систем (ЭРС), связанный с рельефообразующей деятельностью поверхностного стока временных водных потоков [Эрозионно-русловые..., 2017] и результаты его взаимодействия с почвенным покровом

На основе этих представлений, а также используя аналогии с родственным направлением – палеоэрозиоведением [Чалов, 1996], предлагается следующее определение палеоэрозиоведения: специальная отрасль палеогеографии, изучающая эволюцию флювиального морфолитогенеза верхних звеньев ЭРС в геологическом прошлом, его влияние на рыхлые отложения и почвенный покров, взаимодействие с другими экзогенными процессами. Палеоэрозиоведение находится на стыке палеогеоморфологии, палеогидрологии, палеоклиматологии и палеопочвоведения, в тесной связи с палеоэрозиоведением, изучающем нижнее звено ЭРС (реки).

Заключительным этапом исследования в палеоэрозиоведении должно являться создание схем эволюции верхних звеньев ЭРС (эрозионно-склоновой и овражно-балочной подсистем [Эрозионно-русловые..., 2017]) на фоне установленных изменений ландшафтно-климатических условий и выявление причинно-следственных связей между реконструированными изменениями динамики флювиального морфолитогенеза временных водотоков и оказывающими влияние на них природными факторами и условиями. Очевидно, что, наряду с классическими методами палеогеографических реконструкций, могут и должны использоваться для повышения достоверности получаемых результатов методы численного моделирования эрозионно-аккумулятивных процессов, хорошо отработанные для оценки их современных темпов [Williams et al., 1996]. В качестве входных данных для такого ретроспективного моделирования эрозионно-аккумулятивных процессов могут быть использованы сценарии изменения основных естественных факторов и условий эрозионно-аккумулятивных процессов, установленные по данным классических палеогеографических реконструкций. В качестве объектов для калибровки и верификации результатов моделирования могут привлекаться данные изучения коррелятивных отложений – древних делювиальных шлейфов и конусов выноса овражно-балочных форм, для которых имеется достоверно установленное микростратиграфическое разделение на основе данных абсолютного и относительного датирования [Панин, 2014].

Промежуточное положение с точки зрения временных ограничений выполняемых реконструкций, используемых источников информации и методологии занимает историческое эрозиоведение, занимающееся восстановлением изменения эрозионно-аккумулятивных процессов в верхних звеньях ЭРС за период времени, обеспеченный разного рода документальными источниками информации. Этот период, обычно, относительно близок по продолжительности к периоду активного сельскохозяйственного освоения территории [Эрозионно-русловые..., 2017]. Наиболее информативными являются различные картографические источники, которые, с разной степенью достоверности, отображают структуру землепользования определенного периода времени, сеть постоянных водотоков и малых эрозионных форм (овражно-балочную сеть). Очевидно, что наступление обеспеченного документальными источниками "исторического" периода в развитии ЭРС соот-

* Выполнено по плану НИР (ГЗ) научно-исследовательской лаборатории эрозии почв и русловых процессов им. Н.И. Маккавеева МГУ имени М.В. Ломоносова при поддержке РФФИ (проект № 19-77-10061).

ветствует разным временным интервалам. Например, если для Западной Европы этот период составляет около 1000 лет, то для ЕТР – чуть более 300 лет (с момента создания планов и писцовых книг Генерального межевания в конце XVII в) [Эрозионно-руслые..., 2017]. При этом, следует иметь в виду, что, несмотря на наличие документальных исторических источников, получение наиболее достоверной информации о скоростях эрозионно-аккумулятивных процессов, всё равно, требует совместного анализа исторических документов и использования технического арсенала палеогеографии, в первую очередь – применения комплекса аналитических методов для микростратиграфического расчленения коррелятивных отложений [Панин, 2014].

В предлагаемом докладе будут приведены некоторые примеры уже выполненных работ в рамках предлагаемой концепции исторического и палеоэрозиоведения, в основе которых лежат реконструкции динамики эрозионно-аккумулятивных процессов в прошлом в различных масштабах времени с использованием нескольких независимых методов. Показано, что, для Европейской территории России, наряду с современным этапом широкого распространения антропогенно ускоренной эрозии на обрабатываемых землях, на протяжении голоцена реконструируется несколько относительно коротких промежутков времени, характеризующихся резко повышенными темпами склоновой и овражной эрозии. Следы этих этапов выявляются, прежде всего, в коррелятивных отложениях (конусах выноса овражно-балочной сети и делювиальных шлейфах), но, также, нередко – и в строении почвенных профилей на денудационных частях склонов, отражающих циклы смыва верхней части почвенных горизонтов и последующего восстановления почвенного профиля с характеристиками, отличными от исходного.

Причины таких всплесков эрозионной активности в условиях антропогенно ненарушенных ландшафтов голоцена в лесной и лесостепной зонах являются дискуссионными. Часть подобных событий может быть объяснена естественными пожарами на водосборах, чему имеются материальные свидетельства (обогащенные пирогенными углями прослойки в отложениях конусов выноса и делювиальных шлейфов), другая потенциально связана с экстремальными метеорологическими событиями в прошлом. Оценки скоростей осадконакопления за разные промежутки времени, объемов накопленных делювиальных шлейфов и пролювиальных конусов выноса за доагрикультурный период представляют большой интерес, поскольку данные формы рельефа и слагающие их отложения представляют собой один из важнейших долговременных пулов естественной секвестрации органического углерода в ландшафтах равнин умеренного климатического пояса [Сидорчук, 2018].

А.А. Беляков

Академия водного транспорта РУТ (МИИТ)

О РЕКЕ ТРУБЕЖ В Г. РЯЗАНИ И ПРОБЛЕМЕ РЕКОНСТРУКЦИИ р. ОКИ

Река Трубеж протекает не по своему руслу, а по отмершему руслу р. Оки, которое еще в 1920-х гг. было живым её рукавом.

В 1930-х гг. для улучшения судоходных условий подхода от Оки к городу, участок Трубежа от устья до Кремлевского холма (~2 км) был расширен и углублен, и был выкопан спрямляющий излучину канал. Вынутым грунтом была намыта площадка, ставшая районом Остров. В 1970-х гг. к западу от церкви Спаса на Яру для образования района Солнечный, был заменен каналом и ликвидирован участок русла Трубежа, а пойма досыпана.

Уровненный режим и русловые процессы Трубежа определяются исключительно уровненным режимом р. Оки. Унаследовав реликтовое русло Оки, Трубеж не располагает достаточной водностью для переноса по этому руслу поступающих в него наносов – русло заиливается и зарастает. Это ведет к снижению скоростей течения и к интенсификации заиления.

Пойма р. Оки в районе Рязани раньше использовалась как сенокосные и огородные угодья. Они были совершенно свободны от древесно-кустарниковой растительности. Последняя отсутствовала и на склонах Кремлевского холма, и на берегах Трубежа и Лыбеди. В настоящее время поймы Оки, склоны Кремлевского холма, берега Лыбеди под Кремлевским холмом и Трубежа покрыты лесом, местами непроходимым. Это обусловлено исключительно снятием «антропогенного пресса» и «невмешательством в природные процессы».

Рязань (Переяславль Рязанский) стоит на незатапливаемом выступе правого борта долины р. Оки; под ним – пойма р. Оки, ограниченная от Кремлевского холма реками Трубеж и Лыбедь и распространяющаяся до русла Оки. Для функционирования Трубежа и Лыбеди в качестве оборонительных преград и судовых подходов от Оки к городу, их русла были расширены и углублены. Вынимаемый грунт шел на вертикальную планировку Кремлевского холма.

В новое время, когда Трубеж и Лыбедь утратили значение оборонительных водных преград, значение Лыбеди как судового подхода также было утрачено, но Трубеж таковым оставался на значительном протяжении, ширина и глубина его русла поддерживались.

К северу (северо-востоку) от Кремлевского холма пойма Оки в правобережьях Трубежа и Лыбеди также ранее полностью выкашивалась, и всегда существовала визуальная взаимосвязь города, Оки и окской поймы.

С конца 1950-х гг. в правобережье Трубежа стал развиваться новый район города с многоэтажной застройкой, иногда затапливаемый половодьями р. Оки (2013, 2018 гг.). В 1956 г. на остатке поймы Оки между этим новым районом и руслом Оки был организован «Рязанский лесопарк». В последние годы здесь сооружена Северная окружная дорога. В результате всего этого,

а также вследствие природоохранной деятельности последних десятилетий, северный (окский) склон Кремлевского холма и пространство окской поймы между ним и новозастроенным районом у Речного порта заросли лесом – Кремлевский холм и расположенные на нем памятники истории и культуры оказались в лесу, в совершенно чуждой им среде. Ранее всегда имевшая место визуальная взаимосвязь Кремлевского холма и его построек с Окой, окской поймой и Трубежем уничтожена.

С начала 2000-х гг. «посадка уровней» Оки вследствие разработки русловых карьеров стала проявляться и в районе Рязани. В настоящее время (2018 г.) минимальные уровни воды в р. Оке здесь снизились по сравнению с 1950 г. на 1,2 м (по К.М. Берковичу). На столько же снизились и уровни воды в р. Трубеж на пойме р. Оки.

При этом влияние «посадки уровней» р. Оки на уровни воды при прохождении паводков практически не ощутимо, а зарастание окских пойм лесом способствует их повышению.

Необходима реконструкция р. Оки в каскад подпертых бьефов (водохранилищ). Об этом неоднократно было заявлено печатно и публично, доведено до сведения властей, но последние не слышат: разработка карьеров продолжается, «посадки уровней» прогрессируют, отчего лимитировать глубину стали уже пороги Кузьминского и Белоомутского шлюзов. Для обеспечения доставки в Москву НСМ, добытых ценою гибели Оки, власти, ни с чем и ни с кем не считаясь, соорудили новые Кузьминский и Белоомутский гидроузлы (без гидроэлектростанций и мостовых переходов).

Комплекс проблем Оки (наводнения, «посадки уровней», низкое качество воды, оскудение рыбного стада, утрата рекреационной привлекательности и др.) может быть решен только лишь реконструкцией всей реки в непрерывный каскад. При этом на верхней Оке (выше Коломны) должны быть размещены регулирующие сток водохранилища, на нижней – низконапорные гидроузлы с подпором в пределах меженного русла (всего 8-10 ступеней). Первые, срезая волну половодья, обеспечат гарантированную защиту от наводнений и, попусками – желательную водность реки в межень. Вторые обеспечат требуемые уровни воды и судоходные глубины, а также желательный для зимовки гидробионтов слой воды подо льдом. По всем гидроузлам должны проходить мостовые переходы автодорог. Использование водной энергии гидроэлектростанциями при ступенях каскада (более 1,5 млрд. кВтч в год) за 8-10 лет окупит все капитальные затраты.

В соответствии с проектными данными прошлых лет, р. Ока в районе Рязани должна быть в подпоре Спасского гидроузла (между устьем р. Прони и г. Спасском-Рязанским; НПУ 95,0 м, выработка электроэнергии 115 млн. кВтч/год; нижний бьеф Кузьминского гидроузла – в подпоре Спасского водохранилища). Сам Спасский гидроузел и образуемое им водохранилище находятся всецело на территории Рязанской области. Ее властям следовало бы инициировать сооружение этого гидроузла, т.к. без его подпора рекультивация деградировавших прикремлевских ландшафтов невозможна, а в дальнейшем — и реконструкцию всей р. Оки.

Ю.И. Бик, О.В. Спиренкова

Сибирский государственный университет водного транспорта

ЭРОЗИОННЫЕ ПРОЦЕССЫ НА ВОДОСБОРАХ МАЛЫХ РЕК г. НОВОСИБИРСКА

Важнейшим источником удовлетворения разнообразных потребностей человека в водных ресурсах являются не вековые запасы, а ежегодно возобновляемые поверхностные пресные воды, используемые в различных областях хозяйственной деятельности. Малые реки в этом отношении играют немалую роль. Восстановление малых рек, находящихся в пределах городских агломераций, серьезнейшая экологическая проблема, так как именно они наиболее восприимчивы к антропогенному воздействию.

Поверхностные водные объекты государственного водного фонда представлены на территории г. Новосибирска рекой Обью и ее притоками: Ельцовка-1, Ельцовка-2, Каменка, Нижняя Ельцовка, Камышенка, Плющиха, Иня, Тула и водоемами – частью Новосибирского водохранилища, прудами и болотами. К сожалению, малые реки выступают как приемники наносов и растворенных веществ. Это – удобный тракт для удаления сточных вод, включая поверхностный сток с территории.

Полностью открытое русло, кроме самой Оби, имеют ее притоки – Иня, Тула, Ельцовка-2, Нижняя Ельцовка, Камышенка, Плющиха. Реки Каменка, Ельцовка-1 в черте города на значительном протяжении заключены в коллекторные системы и служат для отведения поверхностного стока с территории города, что отрицательно сказывается на качестве их воды.

Русла малых рек г. Новосибирска сильно захламлены – механический и бытовой мусор серьезно влияет на русловые процессы. Уровень воды в некоторых реках заметно меняется не только вследствие естественных колебаний воды, но и из-за антропогенных, например, от потоков ливневых канализаций. В результате берега сильно размываются, в русло падают деревья, образуя участки со стоячей водой.

Кроме того, одна из особенностей малых рек – тесная связь формирования стока с ландшафтом бассейна, что создает необычайную уязвимость малых рек при хозяйственном освоении водосбора. В последнее время наблюдается наиболее интенсивное вмешательство в жизнь малых рек, связанное с периодом активного техногенного развития города. Наиболее заметные последствия хозяйственных мероприятий, вызывающие активизацию эрозионно-аккумулятивных процессов, наблюдаются на малых реках с небольшими расходами и слабой транспортирующей способностью водного потока.

Бассейны малых рек пересечены логами, оврагами, их склоны в основном густо заросшие, пологие склоны распаханы. На некоторых реках построен ряд инженерных плотин, вода используется для орошения и промышленного водоснабжения. В настоящее время рельеф сильно нарушен деятельностью человека.

На всех малых реках происходят такие эрозионные процессы, как плоскостной смыв, струйчатый смыв и линейный размыв. Сильное влияние на развитие эрозионно-аккумулятивных процессов оказывают разнообразные виды хозяйственной деятельности на водосборе – прокладка коммуникаций, строительство инженерных сооружений, внесение удобрений. Существенную роль в формировании склоновых потоков и смыве почв играют полевые дороги и колеи от различных транспортных средств.

Уничтожение растительности, вспашка по падению склона, прокладка дорог, хозяйственное использование балочных комплексов приводят к развитию на территории водосборов малых рек овражной эрозии. Струйчатый (рытвенный) смыв развивается на распаханых склонах и вдоль дорог системой разработанных в процессе стока микроручьев. Его можно рассматривать как переходное звено от поверхностной (плоскостной) эрозии к овражной. Развитие и активизация струйчатого смыва также обусловлена нерациональным использованием земельных угодий, несоблюдением противоэрозионных мероприятий.

Таким образом, на эрозионные процессы на водосборах малых рек г. Новосибирска влияет совокупность природных и антропогенных факторов, но в основном интенсификация эрозии происходит за счет техногенной и градостроительной деятельности человека.

В.П. Бондарев

Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова

К СОЗДАНИЮ КОМПЛЕКСНОЙ ОЦЕНКИ СТРУКТУРЫ И ДИНАМИКИ МАЛЫХ ВОДОСБОРНЫХ БАССЕЙНОВ ДЛЯ ЦЕЛЕЙ УПРАВЛЕНИЯ*

Водосборный бассейн – фундаментальная геоморфологическая и ландшафтная единица. Для ее анализа, как правило, используют несколько типов характеристик: морфометрическая и геологическая структура, характер горных пород, почв, растительности, тип землепользования и т.д. Водосборный бассейн является удобной единицей анализа для целей управления и планирования хозяйственных мероприятий, поскольку представляет собой природный комплекс, связанный потоками вещества и энергии, где антропогенная деятельность может быть интерпретирована как составная часть единой системы [Gregory & Walling, 1973; Dunne and Leopold, 1978; Newson, 1992; Downs & Gregory, 2004; Ramkumar, Kumaraswamy, & Mohanraj, 2015; Squires, Milner, & Daniell, 2015; Корытный, 2001, 2017; Эрозионно-русловые системы, 2017 и т.д.].

* Эмпирические данные и их обработка проводились в рамках исследования по плану НИР (ГЗ) научно-исследовательской лаборатории эрозии почв и русловых процессов им. Н.И. Маккавеева МГУ имени М.В. Ломоносова; теоретическая интерпретация результатов – в соответствии с планом НИР кафедры социологии и культурологии МГТУ им. Н.Э. Баумана.

Большинство указанных выше авторов занимались бассейнами средних и больших рек. Существенно меньше изучены особенности структуры и динамики малых водосборных бассейнов. В то же время, эти водосборные бассейны являются широко распространенными формами рельефа, которые характерны для большей части поверхности суши. Они могут быть предметом анализа во многих исследовательских и инженерных приложениях, имеющих дело с различными управленческими задачами на местном и региональном уровнях [Бондарев, Голосов и Кузнецов, 2005, Голосов и Ермолаев, 2019, Griffiths, Hereford, Webb, 2006, Hanab, & Choi, 2014, Kidron, & Zohar, 2010, Minella, Merten, & Clarke, 2004, Oruonye1, 2016, Ponczynski, Abrahams, 2013].

В настоящее время существует множество работ, посвященных различным аспектам анализа водосборных бассейнов, в том числе малых. При этом, наилучшим образом разработаны методы морфометрического и гидрологического анализа водосборных бассейнов, а также расчета баланса вещества в пределах бассейна [Эрозионно-русловые системы, 2017; Chorley, Schumm & Sugden, 1984, 2019, Knighton, 1998, Gordon, McMahan, Finlayson, Gippel, & Nathan, 2004]. В тоже время отсутствует общий алгоритм комплексной оценки малого водосборного бассейна для целей местного управления. Исследование может состоять из следующих этапов.

1. Выбор объекта исследования и постановка задачи
2. Морфометрический анализ водосборного бассейна, который позволяет нам создать надежную основу для всех дальнейших исследований.
3. Расчет или/и измерение гидрологических характеристик водосборного бассейна и оценка баланса наносов в его пределах.
4. Анализ ландшафтной структуры и характеристика антропогенной нагрузки в пределах водосборного бассейна
5. Социально-экономические условия водо- и землепользования на территории.

Очевидно, что в каждом конкретном случае акцент может быть сделан на разных частях этого анализа. Однако предложенная последовательность может быть базовым для решения многих задач управления в области природопользования на локальном уровне.

Этот алгоритм можно проиллюстрировать на примере двух малых водосборных бассейнов: “Лавочная” и “Малая Дублянка”, прилегающих друг к другу и расположенных в бассейне р. Сейм в Курской области. Их соседство позволяет предположить, что на их формирование и функционирование влияют более или менее одни и те же условия и факторы. Водосборные бассейны почти равны по площади (около 3,2 км² каждый) и расположены в лессовидном суглинке. При этом, бассейны различаются морфологически.

“Лавочная” представляет собой водосборный бассейн 4-го порядка и выглядит более зрелым: плавные очертания склонов, небольшое количество современных эрозионных форм и т.д. Он характеризуется относительно развитой структурой, однако количество водотоков 1-го и 2-го порядков

выше нормы. Водосборный бассейн характеризуется не только увеличенным количеством водотоков, но и высокими значениями площадей водотоков 1-го порядка (около 70% от общей площади), и значительно увеличенными их уклонами. Это может быть связано с историей развития этого водосборного бассейна и более активным процессом эрозии в водосборном бассейне в прошлом.

“Малая Дублянка” представляет собой водосборный бассейн 3-го порядка с четко очерченными контурами. В его пределах заметны отклонения в коэффициенте бифуркации водотоков. Их значительно больше, чем предполагает модальная структура. Структура площадей и протяженностей в этом водосборном бассейне более или менее сформирована, но структура склонов сформирована не полностью. Поэтому в “Малой Дублянке”, при активизации антропогенной деятельности, можно ожидать активизации оврагов в верхних частях этого бассейна.

В пределах обоих водосборных бассейнов нет постоянных водотоков, поэтому для оценки гидрологических характеристик могут быть использованы методы расчета по морфометрическим параметрам водосборных бассейнов [Бондарев В.П., Зорина Е.Ф., Ковалев С.Н., 2000]. Для водосборных бассейнов были рассчитаны значения весеннего снеготаяния и дождевого паводка и оценены средние многолетние максимумы. Оказалось, что в некоторых случаях значения осадков выше, чем при весеннем таянии снега, а в других случаях ниже.

Оценка скоростей и величин накопления наносов в днищах водотоков разных порядков производилась путем изучения распределения ^{137}Cs в аккумулятивной колонке. Так для рассматриваемых бассейнов установлено, что значения в системе “Лавочная” дают небольшие величины среднегодового накопления для водотоков 3-го и 4-го порядков (0,09 см/год), в то же время в нижней части водотоков 2-го порядка слой накопления очень высок (0,49 см/год). Следовательно, основная масса материала осаждается в верхних частях водосборного бассейна. В “Малой Дублянке” наблюдается увеличение среднегодового слоя накопления с увеличением порядка водосбора: 1-й порядок - 0,18 см/год, 3-й порядок - 0,44 см/год. Таким образом, наблюдается противоположная ситуация, и отложения осаждаются в средней и нижней частях дренажного бассейна. Следовательно, это может быть хорошим маркером для анализа перераспределения загрязняющих веществ внутри региона.

Далее была проведена оценка антропогенной деятельности. Анализ спутниковых снимков и полевые исследования позволили определить основные виды хозяйствования, расположение сельскохозяйственных угодий, лесных территорий, транспортной сети, населенных пунктов и так далее. Большая часть “Лавочной” покрыта лесом, в то время как водосборный бассейн “Малая Дублянка” в основном распахан. На водоразделе между “Малой Дублянкой” и “Лавочной” проходит дорога, которая постоянно провоцирует овражную эрозию в обоих водосборных бассейнах. Это позволяет сделать вывод о недостаточной эффективности современного управления и

наметить пути совершенствования местного управления территорией. Так, водосборный бассейн “Малой Дублянки” следует использовать более осторожно, поскольку он обладает большим эрозионным потенциалом. С другой стороны, в настоящее время “Лавочная” используется недостаточно. Например, ее можно было бы использовать для организации водохозяйственного пруда. Особое внимание следует уделить противоэрозионным мероприятиям вдоль дороги, расположенной на водосборе между “Малой Дублянкой” и “Лавочной”.

Основываясь на приведенных выше данных, можно утверждать, что комплексная оценка малых водосборных бассейнов может быть важным элементом территориального управления на местном уровне. При одинаковых площадях два соседних дренажных бассейна имеют различную морфометрическую структуру, что определяет их различную гидролитодинамику. В свою очередь, разная гидролитодинамика определяет разный тип управления на территории водосборного бассейна. Более близкий к поселению дренажный бассейн используется более интенсивно, чем отдаленный. В то же время дальний бассейн имеет более устойчивую сформированную структуру со стабильной динамикой и может быть рекомендован в качестве более подходящего объекта управления.

Ж.А. Буряк, А.Г. Нарожняя

Белгородский государственный национальный исследовательский университет

ВОДНО-ЭРОЗИОННЫЙ ПОТЕНЦИАЛ АГРОЛАНДШАФТОВ КРЫМА

Речная сеть Крымского полуострова насчитывает 1657 постоянных водотоков общей длиной 6 тыс. км. Среди речных систем Крыма к самым крупным бассейнам (6-го порядка) относятся р. Салгир (3750 км²) и суходол Чатырлык (2250 км²). По гидрографической классификации они относятся к средним. Остальные реки относятся к малым, их бассейны значительно уступают предыдущим по площади.

Смена природно-географических зон на полуострове создает уникальное многообразие климатических и почвенно-геоморфологических условий, которые определяют дифференцированные условия выращивания агрокультур. Для разных территорий характерны различные доминирующие почвенно-деградационные процессы. Нами были проанализированы пространственные данные на всю территорию полуострова и создана база геоданных эколого-хозяйственного состояния речных бассейнов Крыма. Единицей оценки в ней является речной бассейн, для которого оценивали следующие показатели: коэффициент эродированности почв, лесистость, доля засоленных почв в бассейне, густота карстовых полостей, рельефная функция (LS), вертикальное расчленение и густота эрозионной сети, коэффициент относительной напряженности (соотношение площади дестабилизирующих к стабилизирующим угодьям), значение энергетики климата.

На основе полученного набора данных для бассейнов Крыма была проведена типизация. Она основывалась на "Анализе группирования" поднабора "Расчет кластеризации" набора инструментов "Пространственная статистика" программного комплекса ArcGIS 10.5. В результате были выделены 4 типа бассейнов в земледельческой зоне и 2 – в горной части, каждый со специфическими особенностями землепользования и почвенно-деградационных процессов. В земледельческой зоне бассейны сгруппированы по следующим признакам:

– тип 1 характеризуется самой значительной долей засоленных почв (92,9%) при наименьшем коэффициенте эродированности (0,02) в структуре почвенного покрова и низкой лесистостью (0,5%). Занимает территорию от Бакальского полуострова по северной границе Крыма, включая Присивашье и весь Керченский полуостров.

– тип 2 занимает весь степной Крым и восточную часть Керченского полуострова. Данные территории больше других задействованы в сельскохозяйственном производстве ввиду низкого коэффициента эродированности (0,08) и рельефного фактора (0,7). При этом здесь развита овражно-балочная сеть (0,66 км/км²), а доля лесных насаждений, в т.ч. полезащитных, недостаточна для сохранения почвенного плодородия;

– тип 3 занимает западную часть Тарханкутского полуострова, а также южный берег оз. Донузлав и полуостров Меганом в юго-восточном Крыму. Данный тип менее активно, чем тип 2, используется в сельском хозяйстве, а деградационные процессы и экологические факторы для их проявления здесь развиты заметнее: лесистость наименьшая, коэффициент эродированности максимальный – 0,28, высокие значения густоты эрозионной сети – 0,67;

– тип 4 включает бассейны предгорий юго-западного Крыма, горные бассейны юго-восточного побережья Крыма и бассейны массива Карадаг. Тип характеризуется значительным превышением высот (380 м) и, как следствие, большими значениями рельефной функции (9,38) и коэффициента эродированности почв (0,23). Территории достаточно активно используются в сельскохозяйственном производстве и требуют противоэрозионных мероприятий, а также мелиоративных по предотвращению засоления, в т.ч. вторичного.

Бассейны с преобладанием интенсивных водно-эрозионных процессов, относящиеся к типам 3 и 4, расположены, главным образом, на северном склоне Крымских гор, а также на полуострове Тарханкут. Характерной особенностью бассейнов типа 4 является то, что верховья водосборов расположены в горной зоне, а остальная, распаханная часть – в предгорьях и частично в равнинной зоне. Поэтому для дальнейшего анализа эти водосборы были разделены по границе высокогорий.

Бассейны с высоким водно-эрозионным потенциалом занимают около 6,1 тыс. км² (24% площади полуострова). Эрозионный потенциал (фактор LS) варьирует в них от 0,5 до 6,8, (в среднем 1,87), распаханность водосборов составляет 32%. Складываются условия рискованного земледелия,

что требует специальных мер по территориальной организации растениеводства на этих землях – системы эколого-реабилитационного землепользования.

На ключевом бассейне Тобе-Чокрак на локальном уровне была проанализирована территория агроландшафтов – оценены морфометрические параметры, рассчитан эрозионный потенциал LS, выделены пояса водной эрозии на пашне, оценена плотность струйчатых размывов. По результатам были предложены структура угодий и комплекс противоэрозионных мероприятий, минимизирующие эрозионный смыл в овражно-балочную сеть.

А.Л. Варенов

*Нижегородский государственный педагогический университет
имени К. Минина*

ОБ ИЗУЧЕНИИ ФОРМИРОВАНИЯ ПОЙМЫ р. ВЕТЛУГИ В МЕСТЕ ОБНАРУЖЕНИЯ СУДНА – БЕЛЯНЫ

В 2015 году на р. Ветлуга примерно в 20 км ниже г. Ветлуга Нижегородской области были обнаружены остатки старого судна – беляны, погребенные в пойменных отложениях. Беляны – уникальные суда, строившиеся в Поветлужье для перевозки леса и полностью разбиравшиеся в пункте назначения.

При изучении находки была предпринята попытка установления ее возраста на основе исследования русловых и пойменных процессов, участвующих в формировании данной территории.

В целом исследуемая территория представляет собой левобережную аккумулятивную пойму р. Ветлуги шириной около 5 км, прошедшую длительный путь развития и имеющую сложное строение. Поверхность поймы представлена пойменными массивами и ступенями разной высоты. Наиболее возрастные участки развивались в условиях меандрирования реки и являются сегментно-гривистой поймой с многочисленными старицами. Молодые участки характеризуются наличием параллельно-гривистой поймы, формирующейся в условиях влияния на русло высокого правого коренного берега.

Исследования показали, что развитие параллельно-гривистой поймы, на территории которой находится судно, проходит закономерно от зарастания отмелей через формирование молодой до зрелой поймы. При этом формирование идет целыми массивами, то есть процессы одновременно развиваются на достаточно широком пространстве побочной переката, гряды на поверхности которого становятся основами будущих пойменных грив. Формирование отдельных пойменных грив при надвигании отдельных донных гряд не наблюдается. Пойменные массивы и уровенные ступени в их пределах отделены между собой протоками, старицами и староречьями. Уровень поверхности поймы тесно связан с уровнями половодий, что вме-

сте с выше указанным позволяет сделать предположение о соответствии количества пойменных ступеней количеству продолжительных периодов водности.

В ходе детального изучения территории на пойме выделены участки, находящиеся на разных этапах развития, дана характеристика их рельефа, почвенного и растительного покровов. Определению геологического строения способствовало наличие на месте находки археологического раскопа. Комплексный ландшафтный подход позволил создать примерную схему занесения судна и выделить условные временные интервалы формирования поймы.

Место обнаружения судна имеет следующие особенности строения (по участкам на разных этапах развития):

1. песчаная отмель – побочень переката, основа будущей поймы.
2. молодая пойма. Поверхность представлена песчаными грядами высотой до 3 м, поросшими ивой, разнотравьем и белокопытником. Межгрядовое пространство преимущественно открытое, активно перевиваемое ветром. Почвы не развиты, почвообразовательный процесс проявляется в виде гумусовых пятен. Начала формироваться около 100 лет назад на месте отмели, показанной на карте РККА 1932-1941 гг. Молодую и зрелую поймы разделяет протока.

3. зрелая пойма разделяется на прирусловую, центральную с двумя уровнями ступенями, притеррасную пойменные зоны. Судно находится в отложениях прирусловой зоны и первой уровенной ступени центральной зоны. Прирусловая зона представлена прирусловым валом высотой около 4,5 м с наложенным песчаным валом; сложена супесями, песками и суглинками; растительный покров представлен ольхой зеленой, ивой, розоцветными, полынью и др.; почва слаборазвитая пойменно-аллювиальная дерновая слоистая песчаная с двумя гумусовыми горизонтами. По данным А.Л. Александровского, формирование слаборазвитого гумусового горизонта дерново-слоистых почв занимает 100-200 лет при скорости повышения поверхности 3-10 см/100 лет. Центральная зона представлена чередованием грив и межгривных понижений, сложенных преимущественно песками и супесями; растительный покров представлен березой, дубом, сосной, елью, черемухой, рябиной, ландышем и крапивой. Почвы пойменно-аллювиальные дерновые с хорошо дифференцированным почвенным профилем, легкосуглинистые. По данным А.Л. Александровского, формирование такой почвы занимает 300 лет при скорости повышения поверхности 1-3 см/100 лет.

Особенности геологического строения (характер слоистости, содержание песчаных и глинистых частиц) дают основание для соотнесения частей толщи отложений с известными в литературе периодами водности [Шнитников и др.].

В результате можно предложить следующие временные интервалы формирования поймы:

1. 1400 - 1600 гг. - максимум увлажнения территории; формирование основной части отложений и уровенной поверхности современной зрелой поймы.

2. 1600 - 1700 гг. - формирование поверхности современной зрелой поймы и начало формирования почв центральной зоны современной зрелой поймы (с 1700 г.).

3. 1700 - 1905 гг. - формирование прирусловой зоны зрелой поймы и погребенного гумусового почвенного горизонта почв зоны (с 1800 г.).

4. 1905 - 1920 гг. - формирование песчаной отмели как основы современной молодой поймы; повышение поверхности прирусловой зоны зрелой поймы, погребение почвенного горизонта почв зоны.

5. 1920 г. – наше время - формирование современной молодой поймы; формирование наложенной толщи отложений на прирусловой зоне со стороны русла и первого (верхнего) гумусового горизонта зоны.

Расположение судна указывает, что его возраст составляет около 350 лет.

Удалось точно установить, что до 1812 года примерно на месте находки начиналась речная излучина, которая в настоящее время является старицей. Вероятно, во время весеннего сплава судно при заходе в излучину отнесло течением к выпуклому берегу, где оно, столкнувшись с песчаной грядой на дне, получило пробоину и затонуло. Предполагаемая длина судна примерно соответствует ширине прирусловой и первой ступени центральной зон поймы, правый борт судна сломан.

Материал судна был передан на проведение радиоуглеродной датировки, результаты которой должны способствовать уточнению высказанных выше предположений. Проведение подобных исследований позволяет получить уникальный географический и исторический материал.

Д.А. Вершинин

Национальный исследовательский Томский государственный университет

ТРАНСФОРМАЦИЯ РАЗВЕТВЛЕННОГО РУСЛА В РЕЗУЛЬТАТЕ СИНЕРГИЧЕСКИХ АНТРОПОГЕННЫХ И ЕСТЕСТВЕННЫХ ПРИЧИН НА ПРИМЕРЕ р. ТОМИ В НИЖНЕМ ТЕЧЕНИИ

Река Томь, как и многие реки России, русло которых сложено песчано-гравийным аллювием уже в течение более чем полувека интенсивно подвергается необратимым деформациям в результате длительной добычи песчано-гравийных материалов (ПГМ). Основными факторами влияния выемки аллювия из русел рек являются: 1) понижение отметок дна и, как следствие, снижение уровней во все периоды водности на участках карьеров; 2) увеличение уклонов и скоростей течения на верхних границах карьеров и размыв дна выше по течению с последующим понижением уровней и отклонением кривой связи расходов воды от уровней; 3) размыв дна ниже карьеров вследствие прекращения поступления донных наносов сверху по

течению (наносы заполняют карьерные емкости); 4) перераспределение стока по протокам при неравномерной выемке донного материала.

Известно, что карьерные разработки Верхне-Томских месторождений ПГМ начаты в 1983 г., тогда же начались и наблюдения за расходами воды на участке от с. Коларово до с. Курлек. При разработке проекта месторождения ПГМ в протоке Светлой в 1998 г. стоковые исследования были выполнены на всех протоках с измерением 2-3 расходов в год при различной водности р. Томи. В дальнейшем автором были проведены мониторинговые исследования изменений гидрологических характеристик в процессе разработки данного месторождения в 2000-2008 гг., а также при проектировании месторождения у с. Вершинино в 2009 г. и при реализации проекта, поддержанного РФФИ в 2013-2014 гг. Уровни воды измерялись на гидропосту в протоке Светлой в 2 км от ее устья.

Основные карьерные выработки на р. Томи в XXI веке связаны с разработкой Томской судоходной компанией карьера в протоках Светлая и Калтайская, а также фрагментарными карьерами в главном русле выше и ниже истока протоки Светлой. Точные данные об объемах извлеченного материала неизвестны, но создается впечатление, что эти объемы ниже проектных. Тем не менее многолетние наблюдения показывают снижение уровня воды при неизменных расходах – посадку уровней около 0,3 м на гидрологическом посту в нижней части протоки Светлая. Кроме Томской судоходной компании добычу ведут еще несколько организаций в прибрежной зоне на входе в протоку Панькова и выше с. Курлек.

В этот же период наблюдениями установлены несколько событий, связанных с заторами льда и влияющими, хотя и на небольшом отрезке времени, на перераспределение расходов по протокам и интенсивность деформаций их русел. Наиболее часто возникает сценарий, когда в нижней по течению части протоки Светлой и в главном русле ниже с. Казанские Юрты обширные ледовые поля не разрушаются, вызывая затор льда выше по течению и сброс большей части расхода воды через верхнюю часть протоки Светлая и через протоки Панькова и Калтайская, что наблюдалось при вскрытии реки в 2007, 2010, 2013-2015, 2021 гг.

Деформации русел выражаются в размыве дна на участках, с повышенными по сравнению с бытовым (в отсутствии ледовых заторов) режимом расходами воды. При прохождении расходов максимума половодья можно выявить тенденцию перераспределения расхода воды из главного русла в протоку Светлую в верхних по течению створах. В нижних створах можно отметить некоторое увеличение водности Калтайской протоки, которое, вероятнее всего, произошло в результате углубления соединения ее с протокой Светлой. Кроме размывов дна часто можно увидеть смену режима движения донных наносов – безгрядовый режим движения сменяется на грядовый, гряды изменяются в размерах, а в отдельные годы гряды, сформировавшиеся и находившиеся несколько лет без движения, разрушаются.

Таким образом, русловые карьеры ПГМ, занимающие всю ширину русла и протяженностью в несколько раз более ширины русла, способствуют

ют формированию больших ледовых полей, которые во время ледохода задерживают приходящий сверху по течению лед и вызывают заторы, влияющие на перераспределение расходов воды в другие протоки и меняющие режим движения донных наносов и деформации русел.

А.Ю. Воробьев¹, А.С. Кадыров¹, Е.В. Бургов², Д.С. Локтеев³

¹Рязанский государственный университет имени С.А. Есенина,

²Национальный исследовательский центр "Курчатовский институт", ³Московский государственный университет геодезии и картографии"

ПРИМЕНЕНИЕ ГЕОМОРФОЛОГИЧЕСКИХ И ГЕОДЕЗИЧЕСКИХ МЕТОДОВ ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ СКОРОСТИ БОКОВОЙ ЭРОЗИИ НА БЕРЕГАХ РУСЛА РЕКИ ОКИ

На сегодняшний день геоморфологические исследования в поймах крупных равнинных рек все более широко интегрируют новые подходы к получению количественных данных о скорости рельефообразования. Зарубежные и отечественные научные издания 2000-2020-х гг. содержат многочисленные примеры позитивного опыта автоматизированного мониторинга состояния пойменного рельефа. Все шире применяются технологии, позволяющие получать изображения его неровностей с большим пространственным охватом – наземное сканирование и аэрофотосъемка. Зачастую к ним обращаются, когда необходимо определить масштабы горизонтальных русловых деформаций или получить точную гипсометрическую карту откосов и прилегающих к ним участков в крупном масштабе. Вместе с тем, остаются актуальными и традиционные геоморфологические методы определения динамики размыва и разрушения речных берегов, такие как установка эрозионных штифтов (или иных реперных объектов) на некотором расстоянии от пойменной бровки.

Нами с 2014 года осуществляются полевые исследования скорости боковой эрозии русла реки Оки, предусматривающие ручные морфометрические измерения его берегов. Разработан алгоритм действий и камеральных расчетов, позволяющий учитывать ежегодное смещение не только бровки поймы, но и плоскости всей надводной части откоса (методика сложных реперов). Однако в последние годы, принимая во внимание изменения водного режима Оки в период второй половины 2010-х гг. и возможную смену преобладающего фактора рельефообразования на береговых уступах, мы сочли перспективным одновременное применение геодезического моделирования и геоморфологических работ в полевых условиях. Так, практика наших исследований дополнилась тахеометрической съемкой русловых откосов и сканированием их поверхности посредством БПЛА, что предполагает возможность сравнения результатов, полученных автоматизированными и традиционными методами.

Выделяя промежуточные результаты исследований на одном из ключевых участков Шумашской излучины реки Оки (683 км от устья),

можно отметить появление новых возможностей оценки берегового рельефообразования с применением межотраслевой методики. Модельный объект исследования представлял два 60-метровых фрагмента вогнутого берега меандра, на которых были заложены профили эрозионных штифтов. Два раза в год, после весеннего половодья и после летне-осенней межени, производились ручные измерения скорости отступления берега. В содержание полевых работ входило также фотосканирование 350-метрового участка откоса и прилегающей территории, включавшего оба 60-метровых модельных фрагмента фронта размыва. Выявлено, что доля меженной эрозии летом и осенью, осуществляемой склоновыми и антропогенными процессами, в 2014-2021 гг. колебалась от 6% до 50%. Существенные размывы откоса наблюдались при половодных расходах, соответствующих заполнению руслового ложа до уровня 4 м над межнным урезом и более. Пространственная неоднородность скорости эрозии была заметной по причине обрушения отдельных блоков аллювия, но годовые значения общей скорости отступления откосов – не выше ожидаемых (в среднем до 1,5-2,0 м).

Международный опыт межотраслевых исследований подтверждает преимущества автоматизированного мониторинга боковой эрозии в скорости получения пространственных данных по сравнению с ручными геоморфологическими измерениями. Но сходимость результатов геодезических и геоморфологических методов, по нашим данным за 2020-2021 гг., составила 87-95%. Традиционные методы, таким образом, могут успешно применяться в аналогичных работах, хотя и позволяют получать только дискретные данные.

Ю.Е. Воронина

Волжский государственный университет водного транспорта

ИССЛЕДОВАНИЕ ЗАНОСИМОСТИ ГЕОРГИЕВСКОГО ПЕРЕКАТА Р. ВОЛГА В РЕЗУЛЬТАТЕ ИНТЕНСИВНЫХ ДНОУГЛУБИТЕЛЬНЫХ РАБОТ ОСЕНЬЮ 2021 ГОДА

Участок нижнего бьефа Нижегородского гидроузла на протяжении длительного времени находится в критическом состоянии с точки зрения судоходства. Затягивание вопроса, связанного с кардинальным решением проблемы и продвижение одного из худших вариантов – строительства дополнительной камеры 15А, приведет к необходимости выполнения значительных дноуглубительных работ на р. Волга от Городца до Н. Новгорода за пределами гидравлических возможностей реки. В связи с подготовкой к воплощению идеи создания дополнительной камеры шлюза с пониженной отметкой порога, для выполнения работ в срок Администрации Волжского бассейна была поставлена задача начать углубление участка в 2021 году и продолжать работы вплоть до реализации проекта строительства камеры 15А.

В связи с этим, за навигацию 2021 года с Георгиевского переката, расположенного на 888,5-890 км судового хода в границах необходимого дноуглубления, согласно данным технического отчета Нижегородского РВПиС,

было извлечено 316 тыс. м³ грунта. Выполненные съемки участка перед интенсивным дноуглублением, сразу после него и через месяц после окончания работ, а также ранние исследования, проводимые для данного участка [Воронина, 2004; Оценка влияния.....отчет, 2021], позволили оценить степень заносимости переката до окончания физической навигации указанного года.

Максимальные деформации на участке наблюдаются в районе гребня Георгиевского переката, в начале его подвалья. На значительную заносимость русла оказывают влияние, как сама конфигурация русла, так и местоположение отвалов грунта от сильной интенсификации дноуглубительных работ. Потеря глубины по сечениям распределяется неравномерно – от 13 до 100% и в среднем составляет 51,3%. При подходе к гребню разрабатываемого переката начинает наблюдаться "собранный" сечения, оказывающая значительное влияние на русловые процессы в самом русле и активизирующая заносимость прорези.

Причинами заносимости являются:

- уполаживание откосов в зоне максимальных глубин сечения;
- естественные переформирования русла после дноуглубления;
- расположение судоходной прорези не по линии наибольших глубин и наибольших скоростей потока;
- формирование грядового рельефа дна;
- русловые деформации от вышерасположенного участка путем оседания частиц грунта при его разрыхлении в процессе выемки;
- наличия поворота русла и свойственных ему русловых процессов и т.д.

Для оценки степени заносимости русла после выполненных интенсивных дноуглубительных работ были построены совмещенные продольные профили участка, позволяющие определить потерю глубины за период наблюдения в 30-35 дня. По совмещенным продольным профилям до и в первоначальный период после интенсивного дноуглубления был подсчитан геометрический объем грунта, извлеченного с судового хода (без учета разрыхляемости грунта) в пределах рассмотренных сечений (через каждые 100 метров судового хода) за первоначальный период заносимости. Объем составил 59 тыс. м³. Таким образом, в первоначальный период заносимость сразу после разработки прорези в двухнедельный период достигла уже 18,7%. По совмещенным профилям, построенным в первоначальный период после дноуглубления и через 30-44 дня после окончания работ, был определен дополнительный объем заносимости на участке, составляющий 149,4 тыс. м³, что привело к дополнительным 47,2% заносимости в течение последующего месяца наблюдений. Исходя из полученных значений, на основании русловых съемок, общая заносимость Георгиевского переката с момента его разработки составила 65,9%.

С помощью графиков потери глубины [Воронина Ю.Е., 2004] был рассчитан диапазон заносимости в период одного месяца после окончания дноуглубительных работ, который составляет от 47 до 80%.

Таким образом, на основании натуральных съемок и аналитических методов, получены полностью сопоставимые результаты заносимости уча-

стка после интенсивных дноуглубительных работ. Они позволяют констатировать значительные русловые деформации, связанные с заносимостью прорези. Георгиевский перекаат является одним из необходимых для разработки перекаатов нижнего бьефа. Однако, значительная протяженность участка (54 км) и большое число перекаатов на нем (более 15) ставит под сомнение реальность достижения поставленных задач по увеличению транзитной глубины на всем участке от Городца до Н. Новгорода.

В качестве основного и единственного варианта возобновления сквозного судоходства на участке и ЕГС в целом является, по нашему мнению, вариант локального подъема уровня воды от Б.Козино до Городца при строительстве низконапорного гидроузла.

Т.В. Гайфутдинова

Набережночелнинский государственный педагогический университет

ПРИРОДНО-АНТРОПОГЕННЫЕ СИСТЕМЫ И ИХ ПРЕОБРАЗОВАНИЕ В ПРЕДЕЛАХ ГОРОДА (НА ПРИМЕРЕ ГОРОДА НАБЕРЕЖНЫЕ ЧЕЛНЫ)

Рост городов, как одна из составляющих глобального процесса урбанизации, приводит к включению природных систем в городскую черту, что, в свою очередь, способствует формированию новых природно-антропогенных комплексов со сложной системой взаимосвязей. Значительные по площади территории занимают линейно-вытянутые природные образования (долины рек, овражно-балочные системы). Они являются и центрами активного действия природных процессов в городских ландшафтах. На примере города Набережные Челны Республики Татарстан определены особенности взаимосвязи природных систем с инфраструктурой города. На основе изучения карт и космических снимков рассмотрена пространственная структура города, выделены основные природно-антропогенные системы.

Город Набережные Челны находится на востоке Республики Татарстан, является центром Тукаевского района. Основные черты рельефа территории определяет его положение в восточной части Восточно-Европейской равнины. В пределах города выделяются следующие природно-антропогенные системы: 1) речные долины малых рек и берега Нижнекамского водохранилища; 2) овражно-балочные системы; 3) лесные насаждения, формирующие в настоящее время парковую зону города.

Современная территория города включает часть водосборных бассейнов и долины трех малых рек, левых притоков реки Кама: Шильна, Челна и Мелекеска. Все они в пределах города впадают в Нижнекамское водохранилище. Река Шильна – самая крупная из трех малых рек на территории города протекает на северо-востоке города. В связи с развитием индивидуального строительства ее берега активно застраиваются, возникают новые поселки, изменяется естественный дренаж территории, меняются направления естественных водотоков. В весенний период неглубокое русло не

справляется с возросшим потоком талых вод. Река выходит из берегов, затапливая прибрежную зону. Увеличение потока талых вод связано с изменением характера покрытия территории. В черте города – это район индивидуальной застройки с большой площадью асфальтового покрытия. По обращениям жителей решаются вопросы по преобразованию реки в черте города, создаются проекты по расчистке и углублению русла, его спрямлению на отдельных участках. Целесообразность проведения таких мероприятий обсуждается. Высказывается опасение, что комплекс таких мероприятий может нанести вред всей экосистеме реки. Долина р. Шильна является экологическим коридором для миграции птиц и переходной зоной к особо охраняемой природной территории Национального парка Нижняя Кама. В настоящее время затопленное устье реки – это залив Нижнекамского водохранилища. Многочисленные протоки, заросшие травянистой растительностью, являются местом обитания редких видов птиц.

Долина р. Челна представлена в центральной части города. В связи со свободным меандрированием, сопровождающимся размывом и отступанием берегов, возникает угроза сохранности объектов, возводимых в непосредственной близости от русла реки. Так, например, участок левого берега длиной 250 м в нижнем течении Челны является территорией педагогического университета города. В непосредственной близости от русла реки (20 м) на искусственно созданной террасе было возведено здание спортивного комплекса. Рассматриваемый участок берега реки представляет собой крыло сегментной крутой излучины. В вершине меандры наблюдаются следы активного размыва и разрушения берега. Причинами эрозии можно считать не только действие речного потока, но и разрушение берега временными водотоками (из-за концентрации сточных вод вдоль стены гаража, перпендикулярно подходящей к левому борту русла по границе участка).

Река Мелекеска до строительства Нижнекамского водохранилища являлась левым притоком р. Челна. В настоящее время ее русло подтоплено водами водохранилища. В устьевой части проведено искусственное укрепление берегов. На правом берегу расположен район индивидуальной застройки, левый берег Мелекески – зона отдыха горожан.

Основные овражно-балочные системы расположены в северо-восточной части города и условно делятся на Шильнинские и Боровецкие овраги. Все они относятся к водосборному бассейну р. Шильна. Сравнительный анализ карт 1954 и 1997 гг. и собранного фактического материала показывает значительные изменения овражно-балочных систем после строительства города Набережные Челны: 1) густота овражной сети на территории современного города уменьшилась в 6,5 раз и составляет 0,02 км/км²; 2) уменьшились плотность оврагов и коэффициент овражности, соответственно в 10 и 6 раз.

Все представленные выше природные системы, находящиеся на территории города, условно можно разделить на слабоизмененные и измененные с разной степенью антропогенного воздействия. К первой группе следует отнести речные долины, которые функционируют в естественном

режиме и представляют собой экологические коридоры, пересекающие городское пространство. К этой же группе относятся лесные насаждения, сохраняющие свой облик в пределах города. Являясь слабоизмененными природными системами, долины рек и городские леса выполняют важную рекреационную функцию. В отличие от речных долин и лесов, овражно-балочные системы активно преобразуются в процессе формирования городского ландшафта до полного затухания процесса оврагообразования. Такие природно-антропогенные системы будут представлять группу измененных экологических систем с разной степенью антропогенного воздействия.

А.М. Гареев

Башкирский государственный университет

МАКСИМАЛЬНЫЕ РАСХОДЫ ВОДЫ ВЕСЕННЕГО ПОВОДОДЬЯ: ОСОБЕННОСТИ ФОРМИРОВАНИЯ ИЗМЕНЧИВОСТЬ, И МЕТОДИЧЕСКИЕ ПОЛОЖЕНИЯ ИХ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ

Максимальные расходы воды, формирующиеся во время весеннего половодья на многих территориях, представляют основную часть годового стока. Необходимость изучения условий их формирования, пространственной и временной изменчивости заключается в том, что с ними связаны многие процессы, включая условия функционирования природных комплексов в пределах затапливаемых территорий (на паводково-пойменных комплексах), а также формирование русловых процессов на реках различной категории, затопление освоенных территорий, в ряде случаев - разрушение домов, хозяйственных объектов и др. В этих условиях изучение процессов формирования максимальных расходов воды, а также своевременное выполнение прогнозных расчетов имеет важное значение. С учетом наличия существенных различий в условиях их формирования в данной работе раскрыты те закономерности, которые проявляются при наличии процессов стабильного накопления снега в зимнее время, отражающие формирование максимальных расходов воды весной при той или иной значимости влияющих естественных факторов. Как известно, такими условиями характеризуется обширная территория Российской Федерации, простирающаяся от Северного, Среднего Поволжья, Урала, Западной и восточной Сибири.

С учетом изложенного на кафедре Гидрометеорологии и геоэкологии Башкирского государственного университета в течение продолжительного времени под научным руководством автора проводились основополагающие исследования, с широким применением ландшафтно-гидрологических, водно-бассейновых методов и математического моделирования. Применение первой и второй групп методов стало возможным после проведения многолетних наблюдений на природных стационарах, расположенных в пределах горно-лесной и лесостепной зон по территории Республики Башкортостан (1995-1921 гг.), а также на водно-балансовой станции "Дмитриев-

ская", расположенной в центральной части республики. В результате проведенных наблюдений в последующем оценивалась значимость основных стокоформирующих факторов, принимающих участие в формировании максимальных расходов воды весеннего половодья.

Преимуществом изучаемой территории, включающей 3 крупных природных района: Башкирское Предуралье, Горный Башкортостан и Башкирское Зауралье, является то, что в ее пределах наблюдается устойчивая зима, характеризующая формирование таких показателей, как мощность снежного покрова и водозапасы в снеге (H), глубина промерзания почв и грунтов перед началом весеннего снеготаяния (P), а также интенсивность таяния снега весной в зависимости от нарастания значений положительных среднесуточных значений температуры воздуха (Δt). Таким образом, указанные факторы, а также показатели осеннего увлажнения почв и грунтов перед формированием устойчивого снежного покрова (W), являются наиболее значимыми в формировании максимальных расходов воды весной. В соответствии с вышеизложенным, их характеристики учитывались при выполнении и обосновании методических положений и проведении прогнозов максимальных расходов воды по бассейнам малых и средних рек.

В качестве расчетной была принята модель, выражаемая как:

$$Q_{i\max} = Q_H (K_1 + K_2 + K_3 + K_4) \cdot \mu,$$

где Q_H – среднееголетнее значение максимальных расходов воды за расчетный период по замыкающему створу расчетной реки; K_1 , K_2 , K_3 и K_4 – модульные коэффициенты учитываемых стокоформирующих факторов; μ – поправочный коэффициент.

Апробация изложенных методических положений осуществлялась на территории Республики Башкортостан, включающей крупные физико-географические районы: Башкирского Предуралья и Зауралья, а также горно-лесную зону. Последовательность выполнения расчетов включает ряд этапов, в т.ч. составление картографических материалов по каждому из учитываемых факторов в изолиниях по 1, 5, 10, 25 и 50% обеспеченности и нахождение фактических значений по году, для которого выполняется прогноз по графикам обеспеченности; определение средних многолетних значений максимальных расходов воды весеннего половодья по материалам наблюдений, а также оценку значимости влияния характеристик бассейна реки (μ).

С учетом изложенного проверка применимости указанной модели для выполнения прогнозных расчетов пред началом весеннего половодья осуществлялась по ряду бассейнов малых и средних рек, расположенных во всех указанных крупных физико-географических районах. Были выбраны реки: Воробьевка (в бассейне которой в течение продолжительного времени функционирует водно-балансовая станция), Сюнь – д. Миньярово (Башкирское Предуралье), Зилаир – с. Зилаир (Башкирское Зауралье), а также Бол. Ик – с. Мраково (в пределах Зилаирского плато). На основании выполнения расчетов с применением указанной модели было доказано, что по всем расчетным бассейнам прогнозные величины характеризовались высокой степенью оправданности. Как показали расчеты, фактические и прогнозные

величины максимальных расходов воды по годам отличаются несущественно, составляя отклонения, не превышающие 15-20% в отдельные годы. Это, по сравнению с применяемыми методами в системе Росгидромета, отражает существенно высокие уровни оправдываемости прогнозируемых величин.

Методические положения, отраженные в данной работе, могут применяться и в других регионах РФ, где происходит формирование аналогичных условий накопления снега зимой и поступление талых вод в реки во время снеготаяния. А сами расчеты будут полезны при решении различных задач.

А.М. Гафуров, О.П. Ермолаев

Казанский (Приволжский) федеральный университет

АВТОМАТИЗИРОВАННОЕ КАРТОГРАФИРОВАНИЕ ОВРАЖНОЙ ЭРОЗИИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ СВЕРТОЧНЫХ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ*

Дешифрирование овражной эрозии – кропотливый, экспертозависимый процесс, требующий высокой квалификации. Для оценки овражной эрозии в настоящее время разработана и применяется региональная система дешифровочных эталонов. К ним можно отнести характерную плановую форму с резкими, геометрически хорошо выраженными границами; линейный рисунок изображения; наличие четко выраженной бровки и линии тальвега; контрастный фототон на разных бортах оврага. Как правило, дешифрирование оврагов производится в ручном режиме методом визуального дешифрирования, что сказывается на скорости работ и сильно ограничивает территориальный охват. Кроме того, результат дешифрирования субъективен – один и тот же объект может быть выделен по-разному разными экспертами. Чаще всего это касается оврагов на их пограничных стадиях развития (промоина-балка). Следующее ограничение прямо вытекает из ручного характера дешифрирования овражной сети, а именно низкая производительность и человеческий фактор – порой некоторые овражные формы пропускаются, в особенности, молодые небольшие овраги.

Все это обуславливает необходимость разработки новых, высокопроизводительных автоматизированных подходов, основанных на семантическом выделении овражной сети. До наступления эпохи глубокого обучения для сегментации применялись самые разнообразные техники обработки изображений в зависимости от области интересов: сегментация на основе градации серого, условные случайные поля и т.д. Глубокое обучение во многом упростило процесс выполнения семантической сегментации, одновременно показав впечатляющее качество. Одна из самых простых и популярных архитектур, используемых для семантической сегментации, это полносверточная сеть (Fully Convolutional Network, FCN). Изначально FCN

использовалась для первоначального преобразования входного изображения до меньшего размера (одновременно с этим увеличивая количество каналов) через серию сверток. Такой набор сверточных операций обычно называется кодировщиком. Затем выход декодируется или через билинейную интерполяцию, или через серию транспонированных сверток, который носит название декодер.

Для реализации процедуры выделения оврагов была использована архитектура нейронной сети U-Net. U-Net — это сверточная нейронная сеть, которая была создана в 2015 году для сегментации биомедицинских изображений в отделении Computer Science Фрайбургского университета (Германия). Архитектура сети представляет собой полносвязную сверточную сеть, модифицированную так, чтобы она могла работать с меньшим количеством примеров (обучающих образов) и делала более точную сегментацию. Для обучения нейронной сети был создан обучающий датасет, состоящий из RGB-синтеза изображения размером 512×512 пикселей и бинарный растр с маской, выделяющей овражную форму. Обучающий датасет состоял из 32000 пар фрагментов космических снимков DigitalGlobe и бинарной маски с выделенной на этом снимке овражной сетью на территории Республики Татарстан и Саратовской области.

Обученная нейронная сеть GECNN (Gully Erosion Convolutional Neural Network) была применена для выделения овражных форм на территории Предкамья и Закамья Республики Татарстан, а также Предволжья Республики Татарстан и Саратовской области. Точность выделения оврагов по сравнению с экспертной оценкой составила 82% на выделенных экспертом объектах, однако, нейронная сеть позволила выделить больше объектов, только 20% из которых не принадлежат классу "Овраг". Полученные результаты свидетельствуют о том, что распознавание овражных форм с использованием нейронных сетей и компьютерного зрения возможно. Дообучение нейронной сети позволит многократно увеличить производительность работ при оценке овражной эрозии, ведь даже на данном этапе разработки распознавание объектов на одной и той же территории экспертно занимает 10 минут, а с помощью GECNN – 15 секунд. Использование свободно распространяемых космических снимков сверхвысокого разрешения позволяет унифицировать разработанную методику и расширить территорию исследования.

Предложенная методика автоматизированного выделения оврагов не имеет в настоящее время аналогов. Использование нейронных сетей позволяет беспристрастно выделять бровки оврагов, что дает возможность количественно оценить не только площадь, изъятую овражными процессами из сельскохозяйственного оборота, но и быстро провести картографирование и оценку ключевых показателей овражной эрозии. Дообучение GECNN необходимо для решения проблемы ложного позитивного распознавания объектов, пропусков в картографировании существующих оврагов и планарной идентификации сложных овражных систем, разные части которых могут находиться на различных стадиях своей эволюции. Очевидно,

* Исследование выполнено благодаря финансовой поддержке Российского научного фонда (проект № 22-17-00025).

что для этого необходимо увеличить обучающий датасет на порядок, что не является большой проблемой. Предлагаемый подход позволит произвести картографирование современной овражности на значительных территориях России (восток Русской равнины, европейская территории России).

Г.Л. Гладков, П.В. Беляков, С.В. Конопацкий, П.С. Ржаковская
*Государственный университет морского и речного флота имени адмирала
С.О. Макарова*

ОБЕСПЕЧЕНИЕ СУДОХОДНЫХ УСЛОВИЙ НА ВЕРХНЕЙ ЛЕНЕ В УСЛОВИЯХ СТАБИЛЬНОГО МАЛОВОДЬЯ

Объектом научного исследования является участок реки Лена от устья реки Кута до устья реки Ичера протяженностью 489 км (3626-3137 км по судовому ходу).

Основной целью исследования является разработка научно-обоснованных рекомендаций по оптимизации дноуглубительных и выправительных работ для обеспечения надежности трассы судового хода и снижения эксплуатационных затрат на ее содержание на основе материалов инженерных изысканий, методов руслового анализа и математического (численного) моделирования.

Методы исследований: комплексные гидрологические и русловые исследования; аналитические исследования фондовых материалов, проведенных ранее научно-исследовательских, проектных работ и инженерных изысканий; статистические исследования основных гидрологических характеристик; математическое моделирование характеристик течения воды и транспорта наносов.

На основе многолетних режимных наблюдений на стационарных гидрометрических постах верхней Лены и метеостанциях Иркутского УГМС работе выполнен сбор, систематизация и анализ имеющихся материалов, которые использовались в последующем для разработки генеральной схемы коренного улучшения судоходных условий реки в условиях стабильного маловодья.

Проведено исследование гидрометеорологической изученности бассейна верхней Лены. Дана климатическая характеристика района исследований (осадки, температура, ветер, снежный покров, температура почвы, опасные атмосферные явления). Выполнен анализ характера питания, водного режима (расходы и уровни воды) и расчет основных гидрологических характеристик.

По материалам проведенных ранее научно-исследовательских, проектных работ и инженерных изысканий, а также на основе отчетных материалов ФБУ "Администрация Ленского бассейна" выполнен анализ практики обеспечения судоходных условий на затруднительных участках верхней Лены.

С целью определения современной морфологии и деформаций (перестроений) русла на участке р. Лены от устья р. Куты (3626 км) до

устья р. Ичеры (3137 км) проведены комплексные гидрологические и русловые исследования.

В рамках программы инженерно- гидрографических и гидрологических работ на затруднительных участках верхней Лены были выполнены промеры глубин, произведены инструментальные измерения расходов воды и мутности в характерные фазы водного режима; осуществлен отбор проб донных отложений для изучения состава и распределения руслообразующих наносов; выполнены измерения скоростных полей потока на наиболее затруднительных для судоходства перекатах; проведены однодневная связка уровней воды и измерения поперечных уклонов свободной поверхности.

В результате проведенных натурных исследований получены актуальные данные по гидрологическим условиям, характеру продольного профиля водной поверхности, морфологическому строению русла, его батиметрии, составу донных отложений и мутности речного потока на участках, затруднительных для судоходства. Измерения выполнены с необходимой точностью современными приборами с действующими поверками.

Анализ гидрологического режима верхней Лены за многолетний период наблюдений показал, что к настоящему времени на уровненом режиме рассматриваемого судоходного участка реки сказалось совместное влияние антропогенных и климатических факторов. Полученные данные свидетельствуют, что изменения гидроморфологического режима верхней Лены, которые произошли в результате антропогенного воздействия, климатических и других факторов оказались значимыми.

Анализ данных гидрологических наблюдений за многолетний период по гидропостам верхней Лены показал, что в результате проведения интенсивного дноуглубления на судоходном участке реки с начала 70-х до середины 80-х годов прошлого века произошло значительное однонаправленное необратимое снижение меженных уровней воды. Наиболее сильно это проявилось в верхней части участка - на гидропостах Усть-Кут и Подымахино.

В результате сокращения объемов эксплуатационного землечерпания на верхней Лене с конца 90-х годов до настоящего времени, а также вследствие реализации проекта сплошного выправления русла реки с последующим содержанием выправительных сооружений в работоспособном состоянии за последние 20-25 лет на всем судоходном участке стабилизировались уровеньный и русловой режимы реки.

В настоящее время максимальное снижение уровней воды в районе устья реки Кута оценивается величиной порядка 200-210 см при меженных расходах воды. На нижерасположенном участке, в районе поста Подымахино снижение уровней воды составляет 110-115 см. Ниже г. Киренска гидроморфологические характеристики русла реки Лены с течением времени остаются практически неизменными.

На основе материалов проведенных исследований: разработано гидрологическое обоснование генеральной схемы коренного улучшения судоходных условий на верхней Лене; выполнено научное обоснование мероприятий по стабилизации судового хода и обеспечению гарантированных габаритов водного пути; разработана генеральная схема коренного улучшения судоходных условий для обеспечения надёжности трассы судового хода и снижения эксплуатационных затрат на её содержание.

ИЗМЕНЕНИЕ СТРУКТУРЫ ЗЕМЛЕПОЛЬЗОВАНИЯ КАК ФАКТОР ТРАНСФОРМАЦИИ СВЯЗНОСТИ ПОТОКОВ НАНОСОВ*

Перераспределение наносов, формирующихся за счёт водной эрозии на пашне, в пределах малых сельскохозяйственных водосборов определяется особенностями рельефа и расположением техногенных границ, которые в их пределах представлены границами полей, дорожной сетью с разным покрытием, лесополосами и другими антропогенными нарушениями. Рельеф территории во многом определяет конфигурацию полей, хотя в условиях частной собственности на землю значимую роль играет и её собственник. При этом в определённых ландшафтных условиях значимое влияние на структуру землепользования оказывают и гидрогеологические условия. Изменения уровня грунтовых вод, обусловленные сочетанием природно-климатических факторов, могут сказываться на изменении степени увлажнения почв и в итоге на пахотно-пригодности земельных угодий. Предгорная зона Северного Кавказа является важным сельскохозяйственным регионом России и одновременно территорией со сложным рельефом, связанным с геологическим строением и литологическим составом почвообразующих пород. Данное сочетание геолого-геоморфологических факторов наряду с климатическими особенностями, характеризующимися высокой неравномерностью выпадающих осадков год от года и их значительной внутрисезонной изменчивостью, способствует специфическим особенностям формирования поверхностного стока воды и смыва почвы. Помимо набора природных факторов существенный вклад в трансформацию склоновых водосборов и перераспределение наносов, транспортируемых при выпадении стокоформирующих ливней, вносит антропогенное воздействие. Для сельскохозяйственных водосборов со значительной долей пашни оно может быть подразделено на две группы. К первой группе относятся последствия вмешательства человека, влияющие на изменение площади склоновых водосборов и кардинально меняющие направление стока. К их числу относятся дороги с различным покрытием (грунтовые, грейдерные, асфальтированные и т.д.) и различные мелиоративные мероприятия, включая валы-канавы (водоуправляющие, дренажные), лесополосы и т.п. Вторую группу составляют наиболее широко распространённые в агроландшафте участки, на которых происходит переотложение наносов в связи с резким увеличением шероховатости поверхности, а именно нижние по отношению к уклонам склонов границы пашни и садов. В отличие от мелиоративных валов-каналов, которые также являются границами угодий, они не влияют на изменения площади водосбора, но в значительной мере сказываются на связности потоков наносов.

Для оценки влияния антропогенного воздействия на перераспределение наносов за период с 1964-2021 гг. были проведены исследования измене-

ний характера землепользования в пределах водосбора пруда Песковский, расположенного в бассейне р. Юцы к юго-западу от г. Пятигорск. Были подобраны космические снимки за различные интервалы времени, начиная с 1964 г. Их дешифрирование позволило проследить пространственно-временные изменения антропогенного воздействия на водосбор. Было установлено, что дорожная сеть сохранялась постоянной за весь исследуемый период, как и границы некоторых участков пашни. В тоже время на водосборе произошли существенные изменения структуры формирования поверхностного стока, связанные с созданием водосборной вала-канавы и дренажной сети, что привело к его фактическому разделению на два водосбора. Произошедшая трансформация в значительной мере сказалась на связности потоков наносов, формирующихся преимущественно в процессе смыва на обрабатываемых землях. Дополнительным фактором нарушений в сложившейся структуре перераспределения наносов явились периодические изменения оконтуривания полей, обусловленные как сменой землепользователей, так и вариативностью степени увлажнения почв на водосборе. Последнее приводило к временному забрасыванию отдельных участков пашни и последующему возобновлению их распашки. На основе использования радиоцезиевого метода в сочетании с детальной съёмкой рельефа получена количественная оценка объёмов наносов, переотложившихся в основных зонах аккумуляции за два временных интервала 1963-1986 гг. и 1986-2021 гг., которая позволила выявить тренд изменений интенсивности смыва на пашне и комплексное влияние на него природно-антропогенных факторов.

Г.Б. Голубцов

Московский государственный университет имени М. В. Ломоносова

ГИДРОЛОГО-МОРФОЛОГИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ СЛОЖНОРАЗВЕТВЛЕННОГО РУСЛА НИЖНЕЙ ЛЕНЫ ОТ УСТЬЯ ВИЛЮЯ ДО ПЕРЕКАТА САХАМ*

Река Лена в среднем и нижнем течении характеризуется протяженными участками разветвленного русла, многообразием типов разветвлений и их параметров, которые в условиях большой водности и суммарной ширины русла подвергаются регулярным переформированиям. В условиях возрастающей водности (после впадения Алдана и Вилюя она увеличивается почти в 3 раза: в районе г. Якутска, г.п. Табага среднегодовой расход равен 7980 м³/с, после впадения Алдана, г.п. Сангары – 12600 м³/с, ниже устья Вилюя, г.п. Кюсюр – 21200 м³/с, большой доли стока влекомых наносов (до 38% от общего) [Чалов и др., 2000], свободного развития русловых деформаций происходит формирование большого количества обсыхающих в ме-

* Исследования выполнены при финансовой поддержке РФФИ, проект №19-17-00181 и по плану НИР (ГЗ) научно-исследовательской лаборатории эрозии почв и русловых процессов им. Н.И. Маккавеева МГУ имени М.В. Ломоносова

* Исследование выполнено по плану НИР (ГЗ) научно-исследовательской лаборатории эрозии почв и русловых процессов им. Н.И. Маккавеева МГУ имени М.В. Ломоносова (материалы исследований с 1971 по 2015 гг.) при финансовой поддержке РФФИ (проект 18-17-00086 П – натурные исследования 2020-2021 гг., русловой анализ рассредоточения стока).

жень отмелей (в т.ч. осередков) и, как следствие, островов различных типов, различающихся своей формой, размерами и положением в русле.

Перераспределение стока, естественные колебания водности как в многолетнем, так и сезонном плане современное увеличение водного стока приводят к активизации одних рукавов и проток, сокращению водности других, переформированию разветвлений, вплоть до полной смены морфодинамического типа русла (например, этот процесс привел к трансформации цепочки сопряженных разветвлений, развивающихся по правилу "восьмерки", и превращению их к концу XX века в параллельно-рукавные разветвления в "разбоях" Рассолода и Якутский на средней Лене).

Гидролого-морфологический анализ разветвлений позволяет получить зависимости степени разветвленности русла (количества островов на единицу длины русла) от его морфодинамического типа, параметров островов (их длины, ширины, коэффициента формы) в зависимости от их расположения в русле (в периферийной или центральной частях) и параметров самого русла, а также определить граничные значения этих показателей, что необходимо для прогнозной оценки русловых переформирований в условиях активного водотранспортного использования реки.

Ниже устья Вилюя русло Лены на протяжении более чем 300 км (до с. Жиганска) образует цепочку сложных, взаимосвязанных между собой параллельно-рукавных разветвлений, характеризующихся двумя основными рукавами, многочисленными поперечными и межостровными рукавами и протоками, разветвлениями 2-го порядка. При максимальной суммарной (с островами) ширине русла b_p – 28 км (1145 км от устья), количество рукавов и проток в одном створе может превышать 15-17.

Особенностью развития русла, на всех звеньях разветвлений начиная от устья Вилюя до переката Сахам (145-километровый участок), является перераспределение стока между основными рукавами (правым, более устойчивым и водным, проходящем вдоль правого коренного берега, и левым, расположенном в пойменных берегах, выполняющем наносоотсасывающую роль, в том числе в результате направления сюда насыщенных наносами вод Вилюя). Расположенный в правом рукаве судовой ход и стрежень потока проходят вдоль и вблизи коренного берега, периодически отклоняясь от него, огибая сформированные за его мысами прибрежные острова, образующие разветвления второго порядка. Немаловажна роль перераспределения стока во второстепенных разветвлениях, поскольку при относительно устойчивом соотношении водности основных рукавов, наиболее интенсивные русловые переформирования (отторжение кос в ухвостьях островов) и циклы колебания водности охватывают именно этот тип разветвлений.

Была получена связь линейных размеров островов (длины – L_o и ширины – B_o) в зависимости от их положения и порядка. Таким образом, несмотря на единый на всех участках морфодинамический тип русла и приблизительно равную водность, параметры островов находятся в тесной свя-

зи с характеристиками водности разделяющих их рукавов, а также с общим положением в русле.

Наиболее распространенные острова, расположенные в центральной части русла, разделяющие основные левую и правую ветви потока, могут обладать различными размерами, которые зачастую больше, чем сумма площадей объединившихся элементарных. Это происходит вследствие включения в них бывших межостровных проток, прослеживающихся в рельефе островов в виде ложбин, а также причленения к ним отмелей и кос. В результате большие острова в центральной части русла при своей значительной длине приобретают избыточную ширину B_o , но при этом значения коэффициента их формы находится в пределах $L_o/B_o = 3-4$, т.е. остаются оптимальными. Иными характеристиками обладают изометричные острова, приуроченные к прибрежным, периферийным частям русла, образующиеся за его выступами или конусами выноса притоков вдоль правого коренного берега. Для этих островов на участках параллельно-рукавных разветвлений средней Лены характерны значения коэффициента формы $L_o/B_o > 2,5$, а при таком же морфодинамическом типе русла нижней Лене зачастую $L_o/B_o = 2-2,5$ (min – 1,82). Наименьшими линейными размерами обладают острова второго и третьего порядков, сформировавшиеся в основном по водности правом рукаве параллельно-рукавного русла. При средней их длине 2,5-3,5 км (max – 5,9 км) ширина, как правило не превышает 600-700 м (min – 200 м, max – 950 м), что говорит об их преимущественно удлиненной форме $L_o/B_o > 4$.

И.И. Григорьев

Удмуртский государственный университет

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ БЕСПИЛОТНЫХ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ ДЛЯ КОЛИЧЕСТВЕННОЙ ОЦЕНКИ ЭРОЗИОННЫХ ПРОЦЕССОВ

Эрозионные процессы являются одним из катализаторов активности процессов рельефообразования. Огромное значение имеет и возникающий при этом процесс перемещения огромных объемов материалов, непосредственно влияющих как на русловые режимы рек, так и на величину стока наносов. Многочисленные виды эрозионных процессов часто имеют разное влияние на рельефообразование как по объемам перемещаемых материалов, так и по площади развития. Самым популярным методом полевой оценки активности эрозионных процессов является метод линейных измерений, являющийся наиболее простым, быстрым и наименее затратным. Основным недостатком данного метода является невозможность точной оценки площадного и объемного прироста вершин оврагов. Современные полевые инструментальные методы позволяют с высокой точностью оценивать изменения параметров оврагов (длины, площади, объема и глубины). Топографо-геодезические работы, проводимые при изучении эрозионных

процессов, заключаются в высокоточной тахеометрической съемке вершин оврагов и их бровок, размываемых береговых уступов и т.д. На основе повторной тахеометрической съемки оцениваются линейный прирост и изменения их плановой конфигурации.

Беспилотные летательные аппараты (БПЛА) начали активно приобретать популярность в начале 2010-х годов. Не остались в стороне и полевые географические исследования. Снимки с БПЛА имеют сверхвысокое пространственное разрешение и высокую оперативность. Очевидными недостатками БПЛА при этом являются ограниченность во времени полета и, соответственно, в охвате изучаемого пространства и зависимость от метеорологических условий. Наибольшую популярность в сфере географических исследований получили БПЛА квадрокоптеры типа Phantom (с 4-мя несущими винтами, вращающимися в горизонтальной плоскости) производства компании. Для получения точных количественных данных о динамике эрозионных процессов очень важна качественная привязка снимков с БПЛА в выбранной системе координат. По умолчанию, квадрокоптер фиксирует местоположение каждого снимка в системе координат WGS-84 с точностью 2-3 метра. Понятно, что подобная точность недостаточна. Наилучшим способом на данный момент является привязка по наземным маркерам, хорошо читающимся со снимков, координаты которых получены путем использования ГНСС-приемников. В этом случае точность достигает 0,5-1,0 см. При этом необходимо отметить, что использование ГНСС-приемников, настроенных для работы в региональных государственных системах координат (МСК-18 для Удмуртской Республики), позволяет проводить разновременные съемки участков с высокой точностью. Работы, подтвердившие точность аэрофотосъемки, проведены нами при выполнении некоторых исследований. Опытным путем были определены оптимальные условия выполнения съемочных работ с помощью квадрокоптера DJI Phantom 4: высота залета 50-100 м, продольное перекрытие снимков – не менее 80%, поперечное – не менее 70%. На наш взгляд, оптимальным программным продуктом для обработки данных, получаемых с БПЛА, является Agisoft Metashape Professional. Основные задачи, решаемые пользователями при помощи данной программы - построение 3d-модели, ортофотоплана и цифровой модели местности (ЦММ). Эти данные могут быть использованы в геоинформационных системах, в системах автоматизированного проектирования, для производства визуальных эффектов, а также для не прямых измерений объектов различных масштабов.

С 2001 года нами проводится тахеометрическая съемка с помощью электронного тахеометра "Nikon". С 2019 года используется система спутникового позиционирования "EFT" и беспилотный летательный аппарат "DJI Phantom 4". На ряде активно растущих оврагов проводятся ежегодные измерения площадного и объемного прироста вершин. То же самое относится и к изучаемым нами русловым размывам. В последние годы нами наблюдаются активные суффозионные и абразионные процессы в береговой

зоне Воткинского водохранилища. Кроме того, под наблюдением находятся активные оползневые участки.

Использование БПЛА позволило получить точные количественные данные по динамике некоторых эрозионных процессов – линейный прирост, площадной размыв и объем вынесенного материала.

И.И. Григорьев, И.И. Рысин

Удмуртский государственный университет

ИЗУЧЕНИЕ ПЛОЩАДНОГО И ОБЪЕМНОГО ПРИРОСТА ОВРАГОВ В УДМУРТИИ

Овражная эрозия является одним из наиболее опасных природно-техногенных рельефообразующих процессов, наносящих большой ущерб земледелию и окружающему ландшафту. К основным причинам развития оврагов относятся нерациональное землепользование и все возрастающая техногенная нагрузка на окружающую среду [Григорьев, Рысин, 2017; Пространственно-временные закономерности развития современных процессов природно-антропогенной эрозии на Русской равнине, 2019].

Основным методом оценки активности роста оврагов является метод линейных измерений, который среди всех анализируемых является наиболее простым и наименее затратным. Однако его применение целесообразно только для оценки линейного прироста. Для более детального изучения динамики развития оврагов (изменение длины, площади, объема и глубины) нами используется комбинация геодезической съемки с помощью электронного тахеометра, ГНСС-приемника и съемки с беспилотного летательного аппарата (квадрокоптера) [Григорьев, Рысин, 2021].

С 2001 года на ряде активно растущих оврагов ежегодно проводятся измерения площадного и объемного прироста вершин. Тахеометрическая съемка проводится с помощью электронного тахеометра "Nikon". С 2019 года используется ГНСС-приемник "EFT" и беспилотный летательный аппарат "DJI Phantom 4". Нами ведется исследование шести оврагов с активным ежегодным линейным и площадным приростом, кроме того в привершинной части каждого оврага подсчитывается объем вынесенного материала. Для всех рассматриваемых оврагов были рассчитаны корреляционные связи между ежегодными линейными, площадными и объемными величинами их прироста. Наряду с обычным коэффициентом корреляции (r), были вычислены и дополнительные показатели – корреляционное отношение (η) и квадрат корреляционного отношения (η^2). Проверка гипотезы о форме связи между анализируемыми переменными осуществлялась с помощью критериев Блекмана и Фишера.

Анализ линейного и площадного прироста оврага № 1 за 2001-2021 годы показал относительно не высокую, но надежную связь между ними ($r = 0.629$; $\eta=0.525$; $\eta^2=0.276$). Связь между показателями линейного и объем-

ного прироста также не очень высокая ($r=0.429$). Корреляция между показателями площадного и объемного прироста отличается относительно высоким значением ($r=0.852$). В целом отмечается более плавное изменение показателей площадного и объемного прироста, в отличие от линейного. Изменения рассматриваемых показателей являются разнонаправленными лишь в 2003, 2006, 2013 и 2021 годах.

Линейный и площадной приросты вершинной части донного оврага № 2 имеют общую тенденцию к затуханию. Максимальных величин они достигали в период с 2001 по 2003 год. В 2003, 2007 и 2016 гг. линейный и площадной приросты оврага отмечались разнонаправленным движением. Показатели объемного прироста асинхронны показателям линейного прироста еще и в 2013 г. Несмотря на это, корреляционный анализ показал, что связь между линейным и площадным приростом вершинной части оврага оказалась достаточно высокой ($r=0.819$, $\eta=0.577$, $\eta^2=0.332$), что обычно характерно для одновершинных оврагов. Аналогичная ситуация наблюдается между показателями площадного и объемного прироста ($r=0.989$) и между показателями линейного и объемного прироста ($r=0.786$).

Максимальные показатели приростов оврага №3 отмечены в 2001 и 2007 гг. Существенное сокращение линейного прироста оврага наблюдается с 2011 года, что связано с сооружением при вершине оврага противоэрозионного земляного вала с водопропускной трубой. Зависимость между линейным и площадным приростом оказалась высокой ($r=0.792$, $\eta=0.514$, $\eta^2=0.265$), что является характерным, как и в предыдущих случаях, для одновершинных оврагов, независимо от их типа и особенностей их водосборов. Высокая связь наблюдается и между показателями объемного прироста с площадным ($r=0.984$) и линейным приростом ($r=0.756$).

Корреляционная связь между линейным и площадным приростом вершинной части оврага № 4 проявляется недостаточно четко ($r=0.280$, $\eta=0.864$; $\eta^2=0.746$). Как показывают наблюдения, вершинный овраг имеет тенденцию к активизации за 2015-2021 годы. Тенденция активизации развития вторичных оврагов обнаруживается и на других ключевых участках УР. Это позволяет предположить, что, несмотря на резкое сокращение или почти полное исчезновение поверхностного стока со склонов вследствие увеличения теплых зим, в днищах сухих долин, где формируются донные впадины, в период снеготаяния происходит выклинивание внутрипочвенного стока. Именно он в основном формирует временные водотоки, способствующие постепенному регрессивному отступанию вершин донных оврагов [Рысин, Григорьев, Зайцева, Голосов, 2017]. Корреляционный анализ также показал отсутствие прямой связи между линейным и объемным приростом оврага ($r=0.289$, $\eta=0.866$; $\eta^2=0.750$). Показатели линейного и площадного приростов пойменного оврага № 5 за последние 9 лет (2013–2021 гг.) свидетельствуют о синхронности их изменений. Корреляционный анализ подтвердил очень высокую связь между ними ($r=0.985$; $\eta=0.976$; $\eta^2=0.953$). Аналогичная зависимость получилась также между линейным и объемным приростом.

В отличие от многих первичных, приводораздельный овраг № 6 имеет положительный тренд за последние 5 лет, в то время как в предыдущие 6 лет линейный и площадной приросты были минимальными [Григорьев И.И., Рысин И.И., 2021]. Связь между линейным и площадным приростом оврага за 2004 – 2021 гг. оказалась недостаточно тесной ($r=0.348$; $\eta=0.580$; $\eta^2=0.336$), слабой оказалась связь между линейным и объемным приростом оврага ($r=0.326$; $\eta=0.603$; $\eta^2=0.363$), что объясняется более активным ростом его отвершков.

Показатели площадного и объемного приростов всех оврагов отличаются плавным изменением по годам наблюдений. В то же время отмечается достаточно резкое колебание величин линейного прироста вершин оврагов независимо от типа и их морфометрических особенностей. Для всех рассматриваемых оврагов выявлена очень высокая связь между площадным и объемным приростом. Показатели приростов исследуемых оврагов асинхронны и не всегда связаны с гидрометеорологическими показателями. Существенное влияние на это могут оказывать склоновые процессы, инициированные выходом верховодки и грунтовых вод в днище оврага, а в некоторых случаях и суффозия. Условия землепользования на водосборе и морфометрические особенности оврагов имеют определенное влияние на показатели прироста, однако достоверной зависимости не выявлено.

И.С. Дедова

Волгоградский государственный социально-педагогический университет

ЛАНДШАФТНО-ГЕОМОРФОЛОГИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ БАЛОЧНЫХ СИСТЕМ В ПЕСЧАНЫХ ОТЛОЖЕНИЯХ ЮЖНОЙ ЧАСТИ ПРИВОЛЖСКОЙ ВОЗВЫШЕННОСТИ

Южная часть Приволжской возвышенности охватывает междуречное пространство, ограниченное долинами р. Дона и нижнего течения р. Иловли на западе и р. Волги и Волгоградским водохранилищем – на востоке. Это аккумулятивно-денудационная равнина, водораздельная поверхность которой выполнена неоген-четвертичными покровами: древнеаллювиальными песками ергенинской свиты плиоцена (N_2et), скифскими красными глинами и суглинками (N_2sk) и плейстоценовыми бурными лессовидными суглинками (Q_{I-III}). Склоны междуречья сложены эоцено-олигоценными морскими отложениями, представленными глинами, алевролитами, песчаниками и песками. Западный склон, обращенный к долине Дона, без выраженных геоморфологических границ и уступов переходит в серию донских аккумулятивных надпойменных террас, сложенных разнозернистыми песками. Водораздельная поверхность юга Приволжской возвышенности представлена холмисто-увалистой равниной с абсолютными отметками +150...+120 м. Эрозионная сеть здесь довольно густая, К эр составляет 0,8-1,0 км/км². Балочные и речные долины относятся к Донскому и Волжскому водосборам, среди них известны как древние средне- и поздне-

плиоценовые долины, так и молодые позднеплейстоценово-голоценовые. Литолого-геоморфологические особенности местности определяют интенсивность развития современной эрозии, эволюцию продольного и поперечного профиля эрозионных систем. Наиболее динамичны морфологические особенности тех эрозионных форм, которые выработаны в песчаных отложениях. Здесь активно протекают донная и бортовая эрозия даже при незначительных скоростях размыва литологических комплексов: в зависимости от крупности песчаных частиц она варьирует от 0,17 м/с для мелкозернистых песков до 0,75 м/с для крупнозернистых. Деятельность водотоков обуславливает пространственную асимметрию в накоплении балочного пролювия: более крупнозернистые фракции отлагаются в верхнем течении вдоль оси левого борта, а в нижнем течении либо формируют у правого борта эрозионного вреза малые по площади аккумулятивные формы, либо отлагаются по обе стороны от русла в виде продольных грив высотой несколько см. В целом механический состав балочных донных отложений супесчано-легкосуглинистый.

Русла водотоков пересыхающие, отличаются обрывистыми бортами с осовами переувлажненной породы в межсезонье и быстро растущими осыпями. Последние формируют на днищах балок площадные аккумулятивные формы в виде песчаных "полуцирков" или "вееров". Причиной активного развития осыпей служит физическая неустойчивость песков с углом внутреннего трения 25-35°.

Верховья эрозионных форм, выработанных в песчаных породах, отличаются дефляционной переработкой и имеют вид котловинообразных понижений, часто осложненных деллями.

Таким образом, рассмотренные нами морфологические и литологические особенности эрозионных систем, развитых в песчаных породах, определяют особенности развития природно-территориальных комплексов (ПТК) в их границах, которые отличаются местной уникальностью. Ландшафтно-геоморфологический анализ распространения ПТК проводился нами в границах 10 ключевых эрозионных систем. В ходе исследований были выделены ПТК в статусе фаций, подурочищ и урочищ, развивающиеся на песчаных отложениях склонов и балочных днищ. По морфологическим критериям и географическому положению можно дифференцировать их на следующие типы:

1) ПТК балок, прорезающих донские надпойменные террасы (Песковатка, Б. и М. Герасимовская, Лисья и др.). Здесь отмечается сочетание зональных ПТК (псаммофитных польнно-злаковых разреженных степей на дерново-песчаных почвах), интразональных (подурочища осиново-тополевых старовозрастных байрачных лесов на аллювиально-лесных супесчаных почвах) и экстразональных (подурочища дефляционных котловин с березово-осиново-тополевыми колками на гумусированных лесных песчаных почвах).

2) ПТК балочных систем, развитых в ергенинских разнозернистых песках (Оленья, Пичуга, Дубовый Овраг и др.). Здесь отмечено затухание

эрозионных процессов в связи с изменением местного базиса эрозии (Волгоградское водохранилище или наличие прудов), усиление аккумуляции мелкозема и формирование ареалов светло-каштановых легкосуглинистых почв с разреженной растительностью сухой типчаково-белопопынной степи. Разгрузка ергенинского водоносного горизонта обуславливает развитие подурочищ дубово-тополевых лесов на темноцветных балочных супесчаных почвах. Подобные 2-3-х ярусные старовозрастные дубняки известны в балках Дубовый Овраг, Оленья, Чапурниковская.

3) ПТК балочных систем, развитых в эоценовых (мечеткинских и царицынских) песках. Такие ПТК типичны для низовий и среднего течения б. Пичуга, Ерзовка, Сухая и Мокрая Мечетки и др. В связи с влиянием крупных поселений для растительных сообществ характерен занос сорных видов. Там, где отмечается антропогенная засыпка склонов, ареалы распространения псаммофитных степей практически отсутствуют. Для этих балок характерны на днищах тополево-ивовые леса на аллювиальных слоистых легкосуглинистых почвах и гигрофитные осоково-разнотравные луга на оторфованных супесчаных почвах.

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

ПРОСТРАНСТВЕННО-ВРЕМЕННАЯ ОЦЕНКА СОВРЕМЕННОЙ ОВРАЖНОСТИ В ЗОНЕ ИНТЕНСИВНОГО ЗЕМЛЕДЕНИЯ ВОСТОЧНОЙ ЧАСТИ ЕВРОПЕЙСКОЙ ТЕРРИТОРИИ РОССИИ*

Пространственно-временной анализ развития оврагов на территории востока европейской территории России охватывает более 123000 км². Район исследования относится к Среднему Поволжью и включает 3 субъекта РФ: Татарстан, Чувашию и Ульяновскую область. Картографирование современной овражной эрозии проведено методом визуального дешифрирования космических снимков высокого и сверхвысокого разрешения за 2017-2021 гг. Средствами ГИС-технологий составлены карты густоты (м/км²) и плотности (ед/км²) оврагов в 2844 речных бассейнах. На территории исследования идентифицировано 22688 оврагов (включая их отвершки), средняя длина которых – 64 м, а общая длина овражной сети – 1450,3 км. Овраги по территории распределяются крайне неравномерно. Густота овражной сети в среднем составляет 16 м/км², достигая максимума в 471 м/км².

В настоящее время в регионе четко выделяются несколько географических центров локализации оврагов. Умеренное и высокое овражное расчленение компактными ареалами наблюдается по правобережью долин рек Волги, Камы и Вятки. Овраги формируются в условиях возвышенного и расчлененного рельефа на хорошо размываемых глинисто-мергельных, пес-

* Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда (проект № 22-17-00025)

чано-мергельных отложениях перми и мел-мергельных и песчано-кремнистых отложениях мела. Лесостепная зона, расположенная по левому склону долин рек Волги и Камы, а также почти вся западная часть региона характеризуется очень слабым развитием оврагов или их полным отсутствием. На западе этому, в первую очередь, благоприятствует высокая (более 50%) лесистость. А на левобережных склонах долин Волги и Камы – повсеместное развитие устойчивых к эрозии черноземных почв, пески и супеси неогена, слагающие террасы этих рек, а также плохо размываемые известняки и доломиты перми – на юго-востоке. Территории с умеренным развитием оврагов (5-50 м/км²) занимают почти 22%.

Для изучения динамики густоты оврагов результаты картографирования сравнивались с ранее полученными данными овражности этой территории по аэрофотоснимкам 1950-1970-х гг. Результаты сравнения показателей густоты овражного расчленения свидетельствуют о существенном снижении показателя, густота оврагов в среднем уменьшилась на 184 м/км².

Минимальные значения густоты оврагов в настоящее время соответствуют бассейнам с высокими показателями залуженности территории. В определенной степени такой процесс, как это не парадоксально, обусловлен развитием оврагов. Участки между оврагами не распахивались и быстро зарастали, а сами формы трансформировались в балки, которые по-прежнему не доступны для распашки сельскохозяйственной техникой.

Для региона Республики Татарстан общей площадью более 20300 км, по 458 бассейнам малых рек выполнен анализ зависимости изменения густоты оврагов от динамики распаханности, залесенности и залуженности бассейнов [Ермолаев и др., 2021]. Проведенная оценка изменений землепользования в 2019 г. относительно 1985 г. показала сокращение площади пашни почти на 10%, увеличение доли лесов на 40,9% и сокращение доли сенокосов и пастбищ на 8,7%. В период 2003-2019 гг. для данной территории площадь пашни практически не менялась. В результате наложения тальвегов оврагов на карту землепользования (2013-2019 гг.) было отмечено, что большое количество оврагов попадают в категорию луг, также часть оврагов располагается в пределах населенных пунктов. Однако проведенный корреляционный анализ между изменением густоты овражной сети и изменениями в распаханности, залесенности и залуженности бассейнов на ключевом участке (458 бассейнов) не выявил никакой значимой связи (коэффициенты корреляции – 0.014, 0.005 и 0.003, соответственно). Возможно, что роль динамики землепользования на овражность территории становится заметной при более существенных изменениях этих параметров.

За последние десятилетия существенно изменились объемы талого склонового стока. Прямых данных по талому стоку и его интенсивности в регионе нет. Косвенно об этом может свидетельствовать величина запасов воды в снеге. Нами проведена оценка изменения запасов воды в снеге в регионе исследования по данным за 1960-1980 гг. и 2006-2021 гг. Самое значительное уменьшение запасов воды в снеге (а значит и объемов талого стока) наблюдается в лесной и лесостепной зонах (24 и 18% соответствен-

но). По всей видимости, масштабное редуцирование овражной сети, произошедшее на больших площадях в северной и юго-западной частях региона, во многом обусловлено именно этим фактором. Также ключевым фактором является эволюционный. Достигнув пика своего активного развития и состояния динамического равновесия в середине XX века, овраги переходят в балочную стадию. А изменения в землепользовании и в климате (в первую очередь, значительное уменьшение талого стока) выступили своеобразными триггерами в трансформации склоновой флювиальной системы, приведшие к значительному редуцированию овражной сети.

А.П. Жидкин

Почвенный институт им. В.В. Докучаева

СРАВНИТЕЛЬНАЯ ОЦЕНКА ПРОСТРАНСТВЕННО-ВРЕМЕННЫХ ИЗМЕНЕНИЙ ДЕГРАДАЦИИ ПОЧВЕННОГО ПОКРОВА МАЛЫХ ВОДОСБОРОВ В РАЗНЫХ ЧАСТЯХ СРЕДНЕРУССКОЙ ВОЗВЫШЕННОСТИ ПОД ВОЗДЕЙСТВИЕМ ЭРОЗИИ ПОЧВ*

Деградация почвенного покрова во многих регионах России преимущественно обусловлена эрозией почв, которая заключается как в ухудшении свойств почв, так и в существенном изменении строения почвенного покрова. Эрозионно-аккумулятивные процессы традиционно выражаются в виде его интенсивности на единицу площади в единицу времени, то есть в единицах измерения т/га в год или мм/год. Такой способ выражения принят повсеместно и, к сожалению, практически безальтернативен. Однако важно отметить, что интенсивность эрозионно-аккумулятивных процессов очень изменчива во времени. В частности, среднеголетние темпы эрозии почв, полученные за разные периоды времени, могут различаться на порядок и более. При любой флуктуации интенсивности эрозии почв собственно эрозионная деградация почвенного покрова представляет собой однонаправленный процесс постепенного ухудшения свойств почв с течением времени. В связи с этим представляется целесообразным поиск иных способов количественного выражения данного явления, направленных на оценку результата (степени эродированности почв), а не исключительно процесса эрозии.

Ц.Е. Мирцхулава предложил показатель "предельно допустимой мощности" почв, который, к сожалению, не получил должного развития. Под "предельно допустимой" считается такая мощность почвы, которая достаточна для создания нормальных условий произрастания растений и работы сельскохозяйственных машин. На основе данного подхода возможно выделение ареалов критично-эродированных почв, то есть почв с мощностью плодородных гумусовых горизонтов менее предельно допустимой. Динамика измене-

* Работа выполнена за счет средств гранта РНФ № 22-17-00071

ния площадей критично эродированных почв отражает интенсивность деградации почвенного покрова под воздействием эрозионно-аккумулятивных процессов.

Очевидно, что динамика интенсивности прироста критично-эродированных почв в разных регионах будет значительно отличаться в зависимости от средних темпов смыва и пространственной структуры протекания эрозионно-аккумулятивных процессов.

Современные методы математического эрозионного моделирования позволяют оценивать не только среднесуточные темпы эрозионно-аккумулятивных процессов, но также и их изменения во времени в связи с флуктуациями климата, землепользования, севооборотов и др. В данной работе потенциальные темпы эрозии почв были использованы для оценки изменения доли критично эродированных почв во времени на трех малых водосборах, расположенных в различных частях Среднерусской возвышенности в Тульской (участок "Плавский"), Курской (участок "Спокоевка") и Белгородской (участок "Малые маячки") областях. Среднесуточные рассчитанные по модели WATEM/SEDEM темпы эрозии почв достаточно близки на исследованных водосборах и составили 9,2 т/га в год на участке "Плавский"; 9,7 т/га в год на участке "Спокоевка" и 13,6 т/га в год на участке "Малые маячки". Для каждого элемента регулярной сетки размером 20×20 метров был проведен расчет эрозионных потерь гумусового горизонта (мм/год) относительно эталонных мощностей гумусовых горизонтов на плоских приводораздельных участках. Дальнейшее моделирование эрозионной деградации почвенного покрова проводилось с момента распашки земель с шагом 25 лет. Прирост доли критично эродированных почв с мощностью гумусового горизонта менее предельно допустимой происходит не линейно во времени на всех исследованных участках. В первые десятилетия распашки критично эродированные почвы отсутствуют. Видимый прирост (в несколько процентов от площади пашни) эродированных почв с мощностью гумусового горизонта менее предельно допустимой начинается лишь через 100-150 лет после начала распашки, поскольку это время требуется для смыва эффективной мощности почвенного покрова (около 20-30 см в зависимости от участка) в наиболее интенсивно эродируемых частях склонов с темпами эрозии >20 т/га в год (то есть >1.5-2 мм/год). Наибольшие темпы прироста критично эродированных почв выявлены для участка "Плавский" поскольку почвы данного участка обладают наименьшей мощностью, то есть данные почвы быстрее размываются до предельно допустимой мощности; а также в связи с большей длительностью распашки (в 1,5 раза дольше, чем на других участках). В результате было выявлено, что на "Плавском" водосборе доля критично эродированных почв на текущий момент на порядок выше, чем на других исследованных водосборах, несмотря на то, что среднесуточные темпы эрозии почв ниже, чем на остальных участках.

Г.У. Жумабаева, Ф.Х. Хикматов, Н.Б. Эрлапасов

Национальный исследовательский университет «Ташкентский институт инженеров ирригации и механизации сельского хозяйства», Национальный университет Узбекистана

О СУЩЕСТВУЮЩИХ МЕТОДАХ ГЕНЕТИЧЕСКОГО АНАЛИЗА СТОКА ВЗВЕШЕННЫХ НАНОСОВ ГОРНЫХ РЕК

Исследование любого процесса в природе, в том числе и гидрологического, должно начинаться с выявления его генезиса. Это связано с тем, что разработка новых методов гидрологических расчетов и прогнозов требует надежного генетического фундамента. Высказанное положение полностью относится также и стоку взвешенных наносов (СВН) горных рек [Щеглова, 1983].

История исследования генезиса СВН связана с именами А.Б. Бурдыкиной, Ю.Н. Иванова, К.С. Кабановой, Г.В. Лопатина, О.П. Щегловой и других. Особенно большой вклад в развитие данного научного направления, называемого генетическим анализом СВН горных рек, внесла О.П. Щеглова и представители ее научной школы – А.Р. Расулов, С.Р. Саидова, З.С. Сирлибаева, Х.К. Ташметов, Ф.Х. Хикматов и другие. Ими разработаны различные варианты метода генетического анализа: расчленение хронологического графика мутности; термический анализ; установление многофакторной связи СВН с природными факторами. Данная работа посвящена изложению сущности этих методов.

Расчленение хронологического графика мутности воды рек. Этот способ генетического анализа, предложенный О.П. Щегловой, осуществляется путем расчленения хронологического графика мутности воды рек. Он является аналогом метода вертикального расчленения гидрографа., получившего широкое распространение при выделении источников питания рек

С целью определения природы паводка анализируются хронологический ход метеорологических элементов – температуры воздуха и осадков. Расчленение гидрографа начинается со срезки дождевых паводков, наиболее явственно выраженных на графике мутности. Срезка, произведенная по прямой, позволяет определить базовую мутность, которая имела бы место в данный день при отсутствии выноса продуктов дождевого смыва. Расчленение хронологического графика мутности позволяет также выделить русловую составляющую СВН. Смыв талыми водами определяется исходя из баланса наносов ежемесячно, определяя его как нехватку до 100% дождевой и русловой составляющих стока наносов.

Метод вертикального расчленения хронологического графика мутности выгодно отличается тем, что позволяет проследить динамику отдельных генетических компонентов смыва, как в течение года, так и в многолетии. Преимуществом этого метода является и то, что он даёт возможность составления баланса наносов за любые интервалы времени. Однако, исполь-

зование этого метода ограничено положенным в его основу постулатом, о несоизмеримости талой и дождевой эрозии. По мере уменьшения энергии жидких осадков и, как результат, дождевого смыва, в частности, в силу защитной роли растений, определение генетической природы паводков этим способом становится затруднительным.

Термический анализ СВН рек. По аналогии с предложенным О.П.Щегловой ранее способом генетического анализа жидкого стока горных рек, дополнительно к способу вертикального расчленения хронологического графика мутности, ею же был разработан новый приём исследования генезиса водной эрозии. Этот вариант генетического анализа был назван способом термического анализа СВН. Физической основой этого способа является противоположность тех погодных условий, при которых проходят талые снеговые и дождевые паводки на реках Средней Азии. Общеизвестно, паводки талых вод проходят на фоне повышения температуры воздуха, а дождевые - на фоне ее понижения.

Учитывая это обстоятельство, О.П. Щегловой построены зависимости мутности воды от температуры воздуха, учтенной на близлежащей станции. Как показал опыт, оптимальной длительностью интервала осреднения является пентада [Щеглова, 1983].

Установление многофакторной связи СВН рек с природными факторами. Другим вариантом генетического анализа СВН рек изучаемой территории является множественная корреляция смыва с комплексом природных факторов, таких как, элементы рельефа (уклон, площадь и средняя взвешенная высота водосбора), геологический фактор, фактор растительности, среднегодовая температура воздуха, модуль жидкого стока и коэффициент сейсмичности. Шесть из этих факторов уже использовались ранее в качестве предикторов в работах Н.Н. Бобровицкой, Ю.Н. Иванова, Я. Янсона и Р. Пентера и других. Остальные факторы, то есть сейсмическая активность и площадь оледенения введены в расчеты О.П. Щегловой и в последующем Х.К. Ташметовым, Ф.Х. Хикматовым и другими.

Количественная оценка природных факторов производится следующим образом. Для характеристики геологического фактора используются рекомендации Я. Янсона и Р. Пентера. При определении фактора растительности используются карты растительности с приводимыми в их работе коэффициенты, соответствующие различным типам растительности. Для определения средних бассейновых значений сейсмопроявления используется карта сейсмической активности. Температура воздуха рассчитывается на уровне средней взвешенной высоты бассейна.

Таким образом, О.П. Щеглова и представители ее школы внесли достойный вклад в развитие метода генетического анализа СВН горных рек. Разработанные ими различные варианты метода генетического анализа СВН дали возможность количественно оценить отдельные его компоненты – русловую, дождевую, снеговую и ледниковую составляющие.

Вик. В. Занозин, А.Н. Бармин, В. В. Занозин
Астраханский государственный университет

АНАЛИЗ АНТРОПОГЕННОЙ ТРАНСФОРМАЦИИ ЕСТЕСТВЕННЫХ ПТК ЦЕНТРАЛЬНОГО РАЙОНА ДЕЛЬТЫ р. ВОЛГИ

Анализ антропогенной трансформации естественных урочищ в различных группах показал следующие результаты. Среди русловых урочищ практически всем уровням трансформации подвергнуты мелкогравистые ПТК, а также прирусловые валы. В целом для группы характерно преобладание урочищ с низкой и средней степенью преобразования, на которые приходится более 74% площади всех природных комплексов руслового генезиса. Преобладают мелкогравистые русловые урочища среднего и низкого уровней как наиболее подходящие для использования в сельскохозяйственных целях. ПТК с очень высоким и максимальным уровнем преобразования естественной основы составляют чуть более 8% от площади группы. Во многом схожие результаты характерны для группы култучноравнинных урочищ, у которых, в сравнении с русловыми, несколько больше площади ПТК, оценка преобразованности которых колеблется от средней до выше средней. На данные комплексы приходится 19% всех култучноравнинных урочищ и 12,72% русловых. Несколько иное распределение ПТК по степени преобразованности наблюдается в группе бугровых урочищ. Здесь на долю комплексов со средней и выше средней степенью трансформации приходится более 60% площади группы. Урочища с уровнем преобразования от высокого до максимального занимают свыше четверти всех бугровых комплексов. В первую очередь это собственно бугры с окружающими их шлейфами, а также межбугровые урочища высокого уровня. Оценка преобразованности от средней до выше средней относится к 57% гравистых урочищ, сформировавшихся на основе морских островов. Более трети данных ПТК достаточно слабо изменены деятельностью человека, и лишь 12% подверглись существенным морфологическим преобразованиям с оценкой как очень высокая. Более 77% площади выделенных водоемов-ильменей претерпели изменения в ходе их хозяйственного использования, остальная часть подверглась очень существенной трансформации со стороны человека.

Анализ всех урочищ центрального района ландшафта дельты Волги показывает, что полностью естественных ПТК в данном регионе не осталось. Квазипервичные природные территориальные комплексы, где влияние человека минимально, в данной части дельты получили наименьшее распространение. В основном это мелкогравистые русловые урочища низкого и среднего уровней (32 ландшафтных выдела) и култучноравнинные ПТК, преимущественно расположенные в южной части центрального района

ландшафта дельты на небольших речных островах. Во вторую категорию отнесены 847 урочищ, среди которых преобладают русловые мелкогравистые и култучноравнинные урочища, а также бэровские бугры. Согласно выполненным исследованиям, наибольшее их количество отмечается на участках с высокой степенью ландшафтного разнообразия, анализ которого был выполнен для центрального района ландшафта дельты Волги. Многие из них территориально совпадают или находятся вблизи участков со статусом особо охраняемых природных территорий. Данным ПТК требуется постоянный ландшафтно-экологический мониторинг, контролирующий уровень воздействия на них того или иного антропогенного фактора. Урочища с данным уровнем преобразования естественной основы составляют более 24% исследуемого региона. Наибольшее распространение в центральном районе ландшафта дельты реки Волги получили природные территориальные комплексы, относящиеся к третьей категории антропогенного преобразования (1042 урочища), которые занимают свыше 45% площади исследуемого региона. Общая оценка преобразований таких ПТК варьирует от ниже средней до средней. Помимо русловых и култучноравнинных урочищ, значительную часть ПТК с данной степенью трансформации естественной основы составляют бэровские бугры с окружающими их шлейфами. Это можно объяснить многофункциональным характером использования человеком указанных природных комплексов, что в итоге приводит к данной категории преобразования. Значительная часть русловых мелкогравистых и култучноравнинных урочищ относится к данной категории ввиду их сельскохозяйственного использования в большинстве случаев. К четвертой категории преобразования естественной основы относятся 299 урочищ, помимо сельскохозяйственного использования, осложнены дорожной сетью, мелкой инфраструктурой и т.п. Почти половину от данной группы урочищ занимают бугры Бэра, однако по площадным показателям преобладают култучноравнинные урочища. На данные ПТК приходится около 17% площади центрального района ландшафта дельты. Оставшиеся 11% заняты урочищами трех категорий, в которых уровень трансформации естественной основы колеблется от выше среднего и высокого до максимального. Отличаясь степенью преобразования ПТК, для данных категорий характерна общая закономерность, когда по количеству выделов (урочищ) лидируют бугровые ПТК, а по занимаемой площади преобладают природные комплексы других групп. Во многом это объясняется морфологическими особенностями группы бугровых урочищ, когда при небольших параметрах и высоких относительных отметках бугры в первую очередь осваивались человеком. Значительная доля бэровских бугров в данных категориях обусловлена также частым сооружением здесь карьеров, подвергающих данные комплексы максимальному преобразованию.

**АТРИБУТИРОВАНИЕ ВЫДЕЛОВ УГОДИЙ НА ПЛАНАХ
ГЕНЕРАЛЬНОГО МЕЖЕВАНИЯ ДЛЯ ЦЕЛЕЙ РЕТРОСПЕКТИВНОЙ
ОЦЕНКИ АГРОГЕННОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ НА ЛАНДШАФТ (НА
ПРИМЕРЕ УЧАСТКА НА ЮГЕ ЛЕСНОЙ ЗОНЫ ЕТР)***

Изучение закономерностей развития общества невозможно без понимания характера использования природных ресурсов. В преимущественно аграрной стране, которой была Российская империя в 18 и первой половине 19 в., это прежде всего земельные ресурсы [Голубинский и др., 2011]. Хозяйственная деятельность человека в течение столетий получала пространственное отображение в виде совокупности угодий, в разной степени трансформирующих естественные ландшафты. Одним из наиболее значимых факторов антропогенного воздействия является земледелие. Распашка территории способствует изменению практически всех компонентов природной среды – почвенного и растительного покрова, рельефа, микроклимата, состояния поверхностных вод. При этом изменения происходят не только в пределах распаханых территорий; нарушение естественного растительного покрова и стабильности поверхности почвы приводят к радикальной перестройке потоков вещества в ландшафтах по сравнению с их естественным состоянием.

На протяжении истории землепользования любого региона площади и структура угодий менялись неоднократно. Для европейской части России первыми данными о площадях земельных угодий, полученными на основании непосредственных измерений в природе, является комплекс материалов Генерального межевания (ГМ) [Цветков, 1957]. Для ретроспективной оценки интенсивности агрогенного воздействия в пределах конкретных участков необходимо знать: включают ли контуры пашни, выделенные на картах ГМ, все когда-либо обрабатываемые земли, в том числе перелог, или это действительно пашня, находившаяся в ежегодной обработке. В исторической литературе нет единого мнения о том, каковы были принципы отнесения земель к тому или иному виду угодий во время проведения работ по межеванию. В ряде нечерноземных губерний переложные земли ("пашенный лес" или "пашня лесом поросла", или "перелог") могли зачисляться в рубрику "лес" или "сенной покос" [Милов, 1965]. Описание земель, находящихся внутри залесенных дач, могло содержать откровенно неправильные сведения [Цветков, 1957]. Общим выводом является признание субъективности определения состава угодий, которое во многом было обусловлено тем, что именно понимали под тем или иным названием угодий землемеры [Водарский, 1988]. Таким образом, нет однозначного ответа на вопрос, что

* Работа выполнена в рамках НИР (госзадание) НИ Лаборатории эрозии почв и русловых процессов им. Н.И. Маккавеева МГУ им. М.В. Ломоносова (№ 121051100166-4) и при финансовой поддержке РНФ (проект № 22-27-00170)

понимается под пашней в материалах ГМ – реальный размер фактической запашки в условиях трехполья (пар, озимый и яровой клин), регулярно обрабатываемая пашня плюс перелог или вообще все когда-либо обрабатываемые земли.

Для корректной исторической реконструкции агрогенного воздействия, и, в частности, темпов эрозионно-аккумулятивных процессов, необходимо знать пространственное положение именно ареалов регулярно обрабатываемой пашни. С целью атрибутирования содержания выделов угодий на планах ГМ нам пришлось обратиться к исходным материалам межевания. В кратких описаниях к межевым специальным геометрическим планам дач уездов Московской губернии [Кусов, 2004] приводятся сведения о составе угодий в десятинах для каждой дачи и общая площадь дач. Описания дач достаточно подробные, перечисляются площади, занятые пашней, сенокосом, перелогом и лесной мелкой порослью, лесами, селениями, дорогами, реками и песчаными местами. Поскольку в условиях лесной зоны лесовосстановление происходит достаточно быстро, можно с достаточной степенью уверенности утверждать, что выделы под названием "перелог и лесная мелкая поросль" представляют собой залежи разного возраста, которые описывались и измерялись отдельно от пашни. Границы дач не совпадают с границами полигона, поэтому для определения средней распаханности суммировались площади дач и площади ареалов пашни в каждой даче. Рассчитанная таким образом степень распаханности территории составила 31,3%, что практически совпадает со средней распаханностью полигона, полученной на основании оцифрованных границ пашни на планах Генерального межевания Богородского, Дмитровского и Московского уездов Московской губернии, куда входил район исследований. Таким образом, можно с уверенностью утверждать, что, по крайней мере, на использованных в нашей работе планах ГМ условным знаком "пашня" отображались только земли, находившиеся в постоянной обработке.

Д.И. Исаев, Д.А. Орлов, С.И. Ванченко

Российский государственный гидрометеорологический университет

ЛАБОРАТОРНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ГРЯД С ПРЕПЯТСТВИЯМИ

Проблема оценки взаимодействия подвижного русла и гидротехнического сооружения известна давно. В РГГМУ был выполнен комплекс лабораторных экспериментов, направленных на изучение процессов взаимодействия донных гряд с препятствием. При этом высота препятствия была одного порядка с высотой гряд. Необходимость такого исследования была вызвана практической задачей разработки проекта защиты оголовка донного водозабора на р. Унжа.

Эксперименты проводились в лотке прямоугольного сечения длиной 6 м. Гряды (рифели) формировались водным потоком глубиной 4-6 см

на песчаной подушке среднезернистого песка. Высота гряд составляла 0,8-1,0 см. На пути движения гряд располагались различного рода препятствия. Форма препятствий в плане была V-образная, прямоугольная, П-образная. Профиль препятствий выполнялся прямоугольным, круглым, скошенным в сторону потока. Для обеспечения сопоставимости результатов эксперимента препятствия в лотке располагались в шахматном порядке, чтобы избежать взаимного влияния одного препятствия на другое.

Следующая серия экспериментов была направлена на исследование влияния высоты препятствия на пропуск через него донной гряды. Высота препятствия выбиралась в соответствии со средней высотой движущихся гряд. В этой серии моделировались условия прохождения гряд через препятствие высотой меньшей высоты гряды, равной и большей высоты гряды. Процесс прохождения гряд через препятствия фиксировался видеосъемкой.

Основные результаты экспериментов:

При прямоугольном профиле препятствия перед ним образовывались воронки размыва.

Непосредственно за тыловой частью препятствия наблюдалось устойчивое скопление наносов.

Ниже по течению формировался конус выноса наносов. Форма конуса выноса разнообразна и зависит от формы препятствия в плане.

При скошенном в сторону потока профиле воронка размыва перед препятствием практически не возникает.

V-образный профиль практически не создавал воронку размыва на переднем фронте. В тыловой части также наблюдается конус выноса.

Внутри П-образного профиля, развернутого по потоку, наблюдается процесс постепенного вымывания наносов.

Препятствие, высотой ниже высоты гряды не оказывает существенного влияния на транзит наносов.

Препятствие прямоугольного профиля высотой, равной высоте гряды и выше, значительно меняет картину движения наносов. Перед препятствием образуется воронка размыва. Наносы двигаются вдоль крыльев дамбы, обходя ее слева и справа. В тыловой части наносы практически не задерживаются, лишь непосредственно за тыловой стенкой образуется устойчивое скопление наносов. Ширина этого скопления может быть оценена в 1-2 высоты препятствия.

Полученные результаты являются полезными при проектировании различных гидротехнических сооружений.

А.Я. Исакова, Ф.Я. Артикова

Национальный университет Узбекистана

ОПРЕДЕЛЕНИЕ КОЭФФИЦИЕНТА СТОКА МАЛЫХ СЕЛЕОПАСНЫХ РЕЧНЫХ БАССЕЙНОВ

Изучение гидрологического режима малых селеопасных рек и саев и определение показателей их стока имеют большое научное и практическое значение. Этим вопросам посвящены работы С.М. Флейшмана, П.М.

Карпова, Ф.К. Кочерги, Ю.Б. Виноградова, В.Л. Шульца, О.П. Шегловой, А.Р. Расулова, В.А. Кудышкина, В.Е. Чуба, Г.Н. Трофимова, А.С. Меркушкина, В.П. Пушкаренко, А.Х. Туляганова, Ф.Х. Хикматова и др. Однако, в их работах отдельно не рассмотрены вопросы расчёта максимального расхода паводков и определение коэффициентов стока селеопасных бассейнов малых рек.

Основной целью данной работы является определение коэффициентов стока малых рек и саев Чирчик-Ахангаранского бассейна, где существует большой риск формирования селей. Для достижения поставленной цели, были отобраны подверженные селевым паводкам реки Чирчик-Ахангаранского бассейна: Паркентсай, Акташсай, Янгикургансай, Каранкульсай, Шаугазсай (таблица 1).

Таблица 1. Морфометрические показатели малых селеопасных рек

№	Река	F, км ²	H, м	Q, м ³ /с
1	Паркентсай - к. Сумча	80	1980	1,77
2	Акташсай - курорт Акташ	19,3	1670	0,38
3	Янгикургансай - к. Янгикурган	36,7	2200	0,71
4	Каранкульсай – уроч. Каранкуль	15,6	1380	0,13
5	Шаугазсай – уроч. Караташ	65,8	1660	0,47

Примечание: F - площадь бассейна; H - средняя высота бассейна; Q - средний многолетний расход воды.

Предшествующими исследователями было предложено несколько методов расчета вероятных максимальных расходов воды, которые могут проходить по рекам и саям. Один из таких методов расчета был предложен А.В. Огиевским, а затем усовершенствован Г.А. Алексеевым. Предложенное ими выражение для расчета максимально возможных расходов воды (Q_o) имеет следующий вид:

$$Q_o = \frac{k \cdot \eta \cdot F \cdot Y}{T}, \quad (1)$$

где: k – коэффициент размерности, η – коэффициент стока, F – площадь бассейна (км²), Y_{\max} – максимально возможный 100% сток (мм), T – продолжительность селевого паводка, вызванного осадками, в секундах.

Коэффициент стока (η) рассчитан по выражению:

$$\eta = \frac{\gamma}{X}, \quad (2)$$

где: γ – слой стока, мм, X – слой атмосферных осадков в бассейне, мм.

Слой стока в выражении (2) был рассчитан с использованием стандартных гидрологических данных исследуемых рек. Рассчитанный слой стока составил 698 мм в Паркентсае, 621 мм в Акташсае, 610 мм в Янгикургансае, 263 мм в Каранкульсае и 225 мм в Шаугазсае (таблица 2).

Известно, что в исследованиях М.И. Геткера, Ю.М. Денисова, А.И. Ильина, Ц.А. Швер и других разработаны различные способы расчета среднего слоя осадков, выпадающих на поверхность речного водосбора. В работе Ю.М. Денисова показано, что при линейном законе распределения осад-

ков с высотой, эта величина равна слою осадков, выпавших на уровне средней взвешенной высоты водосбора.

На основе вычисленных значений атмосферных осадков (X) и зная высоту 19-ти метеостанций, построена гиисографическая кривая. Она дала возможность определить годовое количество осадков, выпадающих на уровне средней взвешенной высоты в бассейнах малых рек. Затем, как сказано выше, на основе стандартных данных гидрологических наблюдений, были определены средние многолетние расходы воды на исследуемых реках. По результатам проведенных расчетов, были определены характеристики стока: объем стока, слой стока и коэффициенты стока рек в среднем за многолетие (таблица 2).

Как свидетельствует данные таблицы 2, наибольшие значения коэффициентов стока получены для бассейна реки Паркентсай (0,735), Акташсай (0,718) и Янгикургансай (0,581), наименьшие – для Каранкульсай (0,350) и Шаугазсай (0,265).

Таблица 2. Основные показатели стока малых рек Чирчик-Ахангаранского бассейна

Река	X, мм	Q, м ³ /с	W, км ³	Y, мм	H
Паркентсай - к. Сумча	950	1,77	0,0558	698	0,735
Акташсай - курорт Акташ	865	0,38	0,0120	621	0,718
Янгикургансай - к. Янгикурган	1050	0,71	0,0224	610	0,581
Каранкульсай - уроч. Каранкульсай	750	0,13	0,0041	263	0,350
Шаугазсай - уроч. Караташ	850	0,47	0,0148	225	0,265

Таким образом, основываясь на результатах исследования, есть возможность предотвратить чрезвычайные ситуации, которые могут возникнуть вследствие селевого паводка, устранить материальный ущерб и, по крайней мере, уменьшить его. Для этого были рассчитаны коэффициенты стока рек и саев, подверженных риску селевых паводков. В будущем, на основе вычисленных нами значений коэффициентов стока можно рассчитать максимально возможные расходы, которые могут наблюдаться на малых реках Чирчик-Ахангаранского бассейна.

А.А. Камышев

Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова

АНАЛИЗ КРИТЕРИЯ КАРАСЕВА ДЛЯ ЕСТЕСТВЕННЫХ РУСЕЛ КРУПНЕЙШИХ РЕК (НА ПРИМЕРЕ РЕК ОБИ И ЛЕНЫ)*

Предложенный И.Ф. Карасевым коэффициент Θ [1975], основывается на различиях в структуре и динамике потока, обусловленных разницей в форме поперечного сечения русла и отличиях в шероховатости. Соотношение b_p к h называется полной поперечной сечения [Чалов, 2008], её

* Выполнено по плану НИР (ГЗ) научно-исследовательской лаборатории эрозии почв и русловых процессов им. Н.И. Маккавеева МГУ имени М.В. Ломоносова при поддержке РНФ (проект 18-17-00086)

численное значение также определяет особенности развития поперечной циркуляции. В изгибах русла, где отношение b_p к h близко к единице, образуется винтообразное течение. В руслах, где отношение b_p к h много больше единицы, наблюдается расхождение направлений донных и поверхностных струй или же разделение потока на две и более динамические оси. В результате формируются осередковые или островные разветвления, определяющие сложность русла. На основе лабораторных опытов Карасев установил, что при значениях критерия больше 9,5 в потоке формируется 2 или более динамической оси, между ними наблюдаются зоны с замедленным течением, способствующим к отложению наносов и формированию разветвленности.

При этом исследований по расчету величины критерия Карасева для крупнейших рек не производилось.

Определение критерия И.Ф. Карасева осуществлялось на морфологически однородных участках рек, соответствующих тем или иным морфодинамическим типам русла. Река Лена рассматривалась в пределах всего широкопойменного русла; Обь до участка, где начинает формироваться раздвоенное русло (до г. Сургута). Определение величин, входящих в критерий Карасева, производилось по лоцманским и данным русловых съемок, для этого определялись значения ширины и средней глубины русла в характерных створах, назначенных по нормали к оси потока. К основным задачам определения численных значений критерия Карасева относятся:

- поиск связи между данным критерием и сложностью разветвлений;
- проверка на реальных реках критических значений критерия, полученных в лабораторных условиях;
- установление причин преобладания процесса меандрирования на средней и нижней Оби;
- определения характерных значений параметра для различных типов русла.

Наибольшее значение критерия для р.Оби соответствуют параллельно-рукавным разветвлениям – 72, для которых свойственна наибольшая сложность конфигурации русла и минимальная устойчивость русла. Высокие значения характерны для односторонних и одиночных разветвлений – 56 и 53 соответственно. Для остальных типов русла значения критерия значительно ниже: 31 для пойменно-русловых разветвлений, 24 для прорванных излучин, 20 для прямолинейного русла, 14 для вписанных излучин и 12 для свободных излучин. Таким образом, можно утверждать, что происходит четкая дифференциация русла по данному показателю на разветвленное и остальные типы [Камышев, 2018].

Сравнение полученных с приведенными автором показателя И.Ф. Карасевым граничными значениями (9,5, то есть наличие нескольких динамических осей потока) позволяет утверждать, что на крупнейших реках формирование русел всех типов происходит при значениях критерия,кратно больших. При этом диапазон критерия только для излучин варьирует от 2,93 до 40,7, однако высокие значения параметра характерны только у 5 излучин, на которых имеются вторичные разветвления и осередки.

Наибольшие значения критерия Карасева на р.Лене характерны для параллельно-рукавного русла (в среднем – 149, максимум 195). Минимальные значения критерия наблюдаются на относительно прямолинейных участках (от 33 до 75).

На реке Лене наблюдается тренд на увеличение значений критерия Карасева для участков разветвленного русла вниз по течению вплоть до Черпальского разбоя, затем значения сокращаются. Что хорошо соотносится со сложностью разветвлений с высокой степенью корреляции, значение коэффициента которой составляет 0,83.

Таким образом, величина критерия Карасева четко дифференцируется по типам русла и позволяют оценивать тенденции изменения русла при изменении его морфологических характеристик.

С.Н. Ковалёв

Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова

МЕТОДИКА СОСТАВЛЕНИЯ КАРТЫ ВЛИЯНИЯ ЭРОЗИОННО-РУСЛОВЫХ СИСТЕМ НА ИНФРАСТРУКТУРУ НАСЕЛЕННЫХ ПУНКТОВ*

От степени расчленения рельефа эрозионными формами и расположения населенных пунктов (НП) на берегах рек зависит формирование их инфраструктуры – она диктует размещение жилых и промышленных объектов, коммуникаций и т.д. Инфраструктура НП складывается из системы сети улиц и инженерных сетей (теплоснабжение, водоснабжение, канализация, электроснабжение и т.п.). Во многом она зависит от форм рельефа, которые определяют планировку территории НП. Наибольшее влияние на инфраструктуру оказывают эрозионные формы рельефа – овраги, овражно-балочные системы (ОБС) и речные долины, которые расчленяют территорию НП. В большинстве случаев они глубокие и широкие, особенно овраги и древние балки. При росте территории НП это приводит к усложнению и удлинению системы инженерных сетей, а планировка НП вынуждена подстраиваться к элементам эрозионной сети или преобразовывать их под свои нужды.

Исследование проводилось южнее главного водораздела Восточно-Европейской равнины, поскольку северный мегасклон отличается от южного незначительным распространением овражной эрозии и практически полным исчерпанием ее потенциала. К тому же для этой территории характерна наименьшая опасность для рек, русла, которых формируются в трудноразмываемых грунтах – валунных суглинках, глинах. Это относится к ледниковому поясу Европейской России, занимающему западные, северо-западные,

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

северные и северо-восточные ее территории. На реках севера Европейской части России антропогенно обусловленная опасность в основном слабая.

Для сопоставления уровня влияния овражной эрозии и русловых процессов на инфраструктуру населенных пунктов были выбраны бассейны рек Волги, Оки, Дона и Днепра (в пределах Российской Федерации).

Основой для составления карты послужила физико-географическая карта России масштаба 1:8000000. На ней отмечены НП от городов "миллионников" до поселков городского типа, численностью населения более 10 тыс. человек. Это НП, обладающие развитой системой коммуникаций территории. Для составления карты выбирались НП, административная территория которых пересекается рекой или она соприкасается с границей НП. То есть – либо река непосредственно воздействует на инфраструктуру НП, либо это происходит во время половодий и паводков, когда водный поток выходит на пойму, или других событий, которые могут воздействовать на инфраструктуру. Выбранные объекты совмещались с картой "Опасность русловых процессов на реках России", которая была адаптирована к физико-географической карте, и в соответствии с легендой карты НП присваивался балл опасности воздействия на инфраструктуру.

Воздействие овражной эрозии оценивалось по космическим снимкам системы Google Earth, Sas. Планета, границы НП по Яндекс-карты. Оценивалось количество оврагов и овражно-балочных систем и в основном их влияние на планировку НП и, как следствие, на строение коммуникаций. Для одних НП овраги вынуждают подстраивать селитебную территорию под их ориентацию, что влечет за собой усложнение коммуникационной структуры, для других – это целенаправленное использование овражной сети или полное подавление овражной эрозии и уничтожение оврагов. В соответствии с разработанной легендой НП присваивался балл воздействия овражной эрозии на инфраструктуру.

К каждому НП на выноске подписывалось дробное значение, где в числителе показывались баллы влияния овражной эрозии на инфраструктуру, а в знаменателе балл опасности воздействия русловой составляющей. Самому НП присваивалось общее значение (сумма баллов опасности овражной эрозии и русловых процессов) влияния на его инфраструктуру (опасности). В результате была получена карта воздействия эрозионных и русловых процессов на инфраструктуру НП. Как показал анализ карты значения баллов ближайших пар близки по своему содержанию. В основном они варьируют в сочетании влияния овражной эрозии и русловых процессов – где-то превалирует овражная эрозия, где-то русловые процессы. Поэтому ближайшие пары – 1-2, 3-4 ... и т.д. были объединены (1-2 – 1, 3-4 – 2, 5-6 – 3, 7-8 – 4). В результате был получен окончательный вариант карты.

Несмотря на то, что инфраструктура населенных пунктов имеет антропогенно-техногенное происхождение, она зависит и подчиняется особенностям природных условий территории расположения, в частности от овражной эрозии и русловых процессов. На составленной карте четко видно, что на территориях, расположенных в пределах реликтов ледникового рельефа и низменностей, НП обладают наименьшей (1-2 балла) зависимо-

стью от эрозионных форм рельефа и русловых процессов. Особенности рельефа, в частности расположение НП в пределах возвышенностей, усложняет инфраструктуру распространением в них оврагов и ОБС. Это относится в наибольшей мере (3 балла) ко всем типам НП, расположенных на Среднерусской и Приволжской возвышенностях и зависящих от овражной эрозии. В то же время НП, расположенные на р. Оке, подвержены воздействию русловых процессов в большей мере, чем остальные в градации 3 балла. Наиболее высокая зависимость инфраструктуры НП от эрозионных и русловых процессов приходится на 3 разных по статусу и площади города – это Курск, Волгоград и Серафимович. Для них характерна как высокая заовраженность (5 баллов), так и высокая подверженность опасным русловым процессам (3-4 балла).

Наибольшее распространение имеют небольшие значения баллов зависимости инфраструктуры от эрозионных и русловых процессов: 1 балл – 45% (54 НП) и 2 балла – 29,5% (35 НП). Значения в 3 балла имеют 28 НП (23%) и только инфраструктура 3 НП (2,5%) очень сильно зависит от эрозионных и русловых процессов.

Полученные результаты показали, что влияние эрозионных и русловых процессов на инфраструктуру населенных пунктов неоднозначно. Большие и крупные города меньше зависят от эрозионно-русловых процессов, в то время как малые и средние населенные пункты в большой мере зависят от них.

С.Е. Коркин^{1,2}, Е.А. Коркина¹, В.А. Исыпов¹

¹Нижевартовский государственный университет, ²Институт экологии растений и животных УрО РАН

МЕРЗЛОТНЫЕ БУГРЫ ПУЧЕНИЯ В ДОЛИНЕ РЕКИ ТАГРЬЕГАН*

В данной работе представлены результаты, полученные на основе изучения динамики мерзлотных бугров пучения, сформированных в долине реки Тагръеган. Данная река берет начало из озера без названия с отметкой 108,8 м, течет с северо-востока на запад, в 14 км от истока круто поворачивает на юго-восток, затем на юг, вновь на юго-восток и впадает в р. Мохтикьяун справа в 34 км от устья (р. Тагръеган – р. Мохтикьяун – р. Аган – р. Тромъеган – р. Обь).

При создании наблюдательной сети использованы методы регистрирующих систем для натурного измерения, а именно Атмосферно-почвенный измерительный комплекс "АПИК", предназначенный для мобильных и стационарных долговременных автоматических измерений параметров атмосферы, почвы и водных объектов, разработанный в Институте монито-

* Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда и Правительства ХМАО-Югры № 22-17-20011, <https://rscf.ru/project/22-17-20011/> при поддержке РФФИ (проект № 19-29-05259)

ринга климатических и экологических систем Сибирского отделения Российской академии наук (ИМКЭС СО РАН г. Томск), со следующими техническими характеристиками: диапазон измерения температуры $-50...+50^{\circ}\text{C}$; погрешность калибровки датчиков измерения температуры – не более $\pm 0,1^{\circ}\text{C}$.

Для района в целом характерен плоский, слаборасчлененный рельеф. Широко развиты аккумулятивные формы рельефа и слабо процессы денудации. В местах выхода среднечетвертичных отложений на поверхность наблюдается полого-увалистый рельеф. Особенно ярко этот тип рельефа выражен на левом берегу р. Тагръеган, где четко видны следы блуждания древних русел водотоков в виде серповидных, ориентированных с северо-востока на юго-запад песчаных холмов высотой 3,5-4,0 м, частично переработанных эоловыми процессами.

Абсолютные отметки поймы р. Тагръеган колеблются от 88 до 102 м, понижаясь с севера на юг. Периодическое, но длительное затопление паводковыми водами, слабое испарение приводят к заболачиванию пойменных поверхностей и чаще встречаются низинные торфяники мощностью от 0,4 до 3,4 м. В верховьях р. Тагръеган и его притоков мощности торфа до 5,2 м. Долина реки в этом районе представляет собой низинное мохово-травяное болото, расположенное в зоне развития многолетнемерзлых пород. Русло плохо выражено, часто переходит в сплаину (участки с закрытым внутризалежным руслом). В таких долинах часто встречаются острова многолетнемерзлых пород в виде торфяных бугров пучения. Высота бугров от 0,5 до 1,0 м, диаметр 1,5-2,0 м. Они образуют отдельные блоки 30x30 м или имеют вытянутую форму. Мощности торфа 2,3 м, а мощность мерзлого торфа 2,0 м. Песок, подстилающий торф, – рыхлый, водообильный, обладает пльвинными свойствами. Глубина сезонного протаивания на буграх составляет 0,6 м.

В настоящий момент обработаны данные за 2021-2022 гг. и получены следующие результаты в момент перехода среднесуточной температуры воздуха ниже нулевых значений (25.10.2021 г.): на глубине 0 м температура составила $-1,64^{\circ}\text{C}$; 0,1 м – $-0,30^{\circ}\text{C}$; 0,2 м – $-0,50^{\circ}\text{C}$; 0,4 м – $-0,27^{\circ}\text{C}$; 0,6 м – $-0,04^{\circ}\text{C}$; 0,8 – $-0,28^{\circ}\text{C}$; 1 м – $-0,04^{\circ}\text{C}$; 1,2 м – $-0,04^{\circ}\text{C}$; 1,4 м – $-0,04^{\circ}\text{C}$; 1,6 м – $-0,08^{\circ}\text{C}$. Среднесуточная температура на глубине 80 см достигла отрицательных значений 09.12.2021 года ($-0,01^{\circ}\text{C}$).

Пример температур по глубинам на 31.12.2021 г.: 0 м – $-7,21^{\circ}\text{C}$; 0,1 м – $-4,59^{\circ}\text{C}$; 0,2 м – $-1,87^{\circ}\text{C}$; 0,4 м – $-0,003^{\circ}\text{C}$; 0,6 м – $-0,10^{\circ}\text{C}$; 0,8 – $-0,03^{\circ}\text{C}$; 1 м – $-0,09^{\circ}\text{C}$; 1,2 м – $-0,09^{\circ}\text{C}$; 1,4 м – $-0,04^{\circ}\text{C}$; 1,6 м – $-0,14^{\circ}\text{C}$. Среднесуточная температура воздуха ($-22,8^{\circ}\text{C}$).

Пример температур по глубинам на 04.03.2022 г.: 0 м – $-3,68^{\circ}\text{C}$; 0,1 м – $-2,45^{\circ}\text{C}$; 0,2 м – $-1,21^{\circ}\text{C}$; 0,4 м – $-0,28^{\circ}\text{C}$; 0,6 м – $-0,23^{\circ}\text{C}$; 0,8 – $-0,22^{\circ}\text{C}$; 1 м – $-0,09^{\circ}\text{C}$; 1,2 м – $-0,10^{\circ}\text{C}$; 1,4 м – $-0,07^{\circ}\text{C}$; 1,6 м – $-0,22^{\circ}\text{C}$. Среднесуточная температура воздуха ($-10,7^{\circ}\text{C}$). В настоящее время благодаря наблюдению за температурой мерзлотных бугров пучения в пределах долины реки Тагръеган, получены данные, которые в дальнейшем будут использованы для моделирования.

В.Н. Коротаев

Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова

РЕЧНЫЕ ДЕЛЬТЫ ВНУТРИКОНТИНЕНТАЛЬНЫХ ВОДОЕМОВ АРИДНОЙ ЗОНЫ*

Современная береговая зона всех окраинных морей и открытых океанических побережий земного шара, в том числе и дельтовые берега, были смоделированы в ходе последней, послеледниковой, трансгрессии Мирового океана. Начало формирования береговых и устьевых форм следует отнести к гляцио-эвстатическому регрессивно-трансгрессивному циклу, когда уровень океана сначала понизился примерно до отметок 110 м, а затем быстро поднялся до современного положения. Именно этот период в истории формирования береговой зоны Мирового океана оказал наибольшее влияние на образование и развитие речных дельт. Внутриконтинентальные водоемы аридной зоны отличались многократной сменой трансгрессивно-регрессивных фаз за небольшие временные промежутки (1-2 тыс. лет). Достаточно хорошо сохранились дельты на шельфе Каспийского моря, в Аральской и Балхашской впадинах [Коротаев, 2012].

Формирование рельефа *Терско-Сулакской дельтовой равнины* происходило на фоне многократных плейстоценовых и голоценовых трансгрессий Каспия, далеко прикивавших в область краевого прогиба и его регрессивных стадий, когда формировались обширные дельты. Дельтовые накопления заполнили некогда громадный залив и создали последовательную систему хазарских, ниже- и верхнехвалынских и новокаспийских равнин. Формирование дельтовой равнины в настоящее время продолжается лишь в северной и юго-восточной частях Терско-Сулакской дельтовой равнины, в частности в Аграханском заливе и в устьях Аликазгана и Сулака. За последние 500 лет насчитывается семь основных циклов формирования наложенных и причлененных частных дельт. Общая площадь Терско-Сулакской дельты с вершиной у ст. Каргалинская (позднихвалынская, новокаспийская и современная без Аграханской косы) – 10260 км^2 (Устья рек Каспийского региона, 2013).

Устьевая система Амударьи теснейшим образом связана с геологической историей формирования Аральской котловины, Хорезмской и Сарыкамьшской впадин. История формирования амударьинских дельт начинается с момента перехвата сквозной долины Амударьи расположенным более низко врезанным руслом небольшой реки бассейна Хорезмского озера. Одряхлевшая от запруживающих ее наносов, Амударья расширила и углубила регрессивный врез и проникла в Южное Приаралье. В настоящее время эта территория имеет очень сложное строение: здесь находятся три дельты Амударьи (хвалынские Акчадарьинская и Присарыкамьшская и

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

голоценовая Приаральская) и погребенная Хорезмская дельта [Рогов, 1957; Лопатин, 1960; Лымарев, 1967]. Голоценовая история амударьинской дельтовой равнины связана, главным образом, с формированием Приаральской дельты и, частично, с обновлением гидрографической сети Сарыкамышской, куда периодически (особенно с XII по XVI вв.) продолжали поступать воды Аму-Дарьи, что отражалось в колебаниях уровня Сарыкамышского озера.

Дельта р. Или сформировалась при впадении реки в западную, наиболее глубоководную часть озера Балхаш, когда река вследствие увеличения водности вышла из Капчигайского ущелья и за последние 5 тыс. лет образовала обширную дельту площадью около 12 тыс. км², с рукавами Жидели и Топар. В течение голоцена озеро Балхаш и Балхашская котловина прошли сложный путь развития, во время которого происходили значительные изменения увлажненности климата и водоносности рек, подъема-снижения уровня и колебания солености озерных вод. Приозерная равнина, особенно ее южная часть, приобрела вид аллювиально-дельтовой равнины, осложненной многочисленными врезанными сухими руслами бывших дельтовых рукавов (баканасов) и на большей части преобразованной эоловыми процессами в грядово-бугристые пески. Древняя дельта р. Или располагалась в районе селения Баканас, в 300 км от современного устья и занимала до половины территории пустынь Сарысеик-Атырау и Бестас. Ее дельтовые рукава Шет-Баканас, Орто-Баканас, Нарын-Баканас и Жанатас впадали в северную, наиболее глубокую часть Балхаша. Современная дельта Или начинается в районе селения Аралтобе и впадает несколькими рукавами (Жидели, Колган-Или, Кугалы) в западную часть озера [Севастьянов и др., 1991].

Выводы: 1) Исследование строения рельефа и отложений дельт крупных рек, впадающих во внутриконтинентальные моря и озера, показывает, что реки прошли длительный эволюционный путь, многократно накапливая и перерабатывая аллювиальные отложения в зависимости от положения уровня приемного водоема. Следуя за колебаниями уровня, реки перемещали и свои дельты, плейстоценовые реликты которых находят в интервале абсолютных отметок от +50 до -20 м на берегах Каспия, от +50 до 110 м Арала и от +370 до 400 м озера Балхаш; 2) Наиболее распространенным морфогенетическим типом устьевой геоморфологической и осадочной системы на побережьях внутриконтинентальных водоемов аридной зоны являются огромные аллювиальные конусы выноса в виде дельт выдвигения; 3) В дельтовых рукавах перенасыщенность речного потока наносами приводит к обмелению русла в половодье и постепенному его повышению над окружающей местностью, что провоцирует прорывы береговых валов и формирование наложенных и приречных дельт.

В.И. Кравцова, О.В. Вахнина, Е.Г. Харьковец, Е.Р. Чалова
Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова

ДИНАМИКА ДЕЛЬТ СЕВЕРНЫХ РЕК В УСЛОВИЯХ ПОТЕПЛЕНИЯ КЛИМАТА: ИССЛЕДОВАНИЕ ПО РАЗНОВРЕМЕННЫМ КОСМИЧЕСКИМ СНИМКАМ

Актуальность исследований определяется тем, что дельты – это замыкающие звенья на пути выхода северных рек к океану и их динамика представляет особый интерес при возобновлении Северного морского пути. Исследования выполнялись на примере дельт крупнейших рек Сибири (Лена и Енисей) и Европейской России (Северная Двина).

Дельта Лены – крупнейшая в России, отличается большой стабильностью. В наших работах совместно с А.Н.Инюшиным выполнено исследование динамики дельты с конца XX века по настоящее время по космическим снимкам со спутника Landsat. При большой протяженности морского края дельты более чем на 1500 км характер её берегов не одинаков. Поэтому в первую очередь было выполнено природное районирование дельты, на основе которого её морской край был разделён на 7 участков и изменения исследовались для каждого из них. В результате анализа разновременных снимков на 97% протяженности морского края дельты изменения не были обнаружены, но для 3% они выявлены и составлены карты динамики отдельных участков. В западной части дельты Лены в устье Оленёкского рукава, где ранее сформировалась небольшая дельта выдвигения, в 1980-2003 гг. происходил размыв морского края и отступление берега со скоростью 20-30 м/год. В северной части дельты, вблизи устьев Туматских протоков обнаружено неустойчивое положение береговой линии с чередованием её выдвигения и отступления, а в северо-восточной части дельты на небольшом прямолинейном участке берега зафиксирован его размыв со среднегодовым отступанием в 2005-2016 гг. 15-30 м/год. Все обнаруженные изменения относятся к участкам выхода к морю рукавов, получающих меньшую долю стока Лены. У выхода рукавов с наибольшим водным стоком, так же как на участке включенной в дельту морской террасы, изменений не произошло. Нигде не отмечен рост дельты.

Дельта Енисея, образовавшаяся в результате заполнения осадками ингрессионного залива, представляет сложную эстуарно-дельтовую систему. Период для изучения её динамики в 1999-2017 гг. выбран таким образом, чтобы продолжить предшествующие исследования 1955-1999 гг. Материалами для исследования послужили снимки со спутника Landsat-7 1999 г., а для характеристики современного состояния дельты – со спутника Sentinel-2 2017 г. Для обеспечения сопоставимости снимков проведено их геометрическое и яркостное согласование. В результате совмещения береговых линий 1999 г. и 2017 г. получена «предкарта», зафиксировавшая участки появления воды на месте суши и выдвигения суши в воду. На её основе составлена карта динамики дельты м-ба 1:200000, отражающая интенсивность процессов размыва и аккумуляции, определяемую по среднегодовой

скорости смещения береговой линии, составляющей здесь от 1 до 5 м/год. Анализ составленной карты показывает, что дельта Енисея на рубеже веков перешла от медленного выдвигания в Енисейский залив, наблюдавшегося во второй половине XX века, к преобладанию процессов размыва морского края и берегов рукавов; в исследуемый период площади размыва в 9 раз превысили площади аккумуляции отложений.

Дельта Северной Двины так же, как и Енисея, сформированная при заполнении речными наносами морского залива, представляет собой наиболее хозяйственно освоенную и урбанизированную дельту, в которой расположены крупные города Архангельск, Северодвинск, Североморск. Морское судоходство, начавшееся здесь с середины XVI века, обусловило наличие большого количества картографических материалов, однако карт динамики дельты не создавалось. Наше исследование предпринято по разновременным космическим снимкам 1977 г. (KeyHole), 2001 г. (Landsat/ETM+), 2020 г. (Sentinel-2/MSI); отобраны безоблачные снимки на период межени, при отсутствии нагонов, в близкой фазе прилива.

Анализ обзорно-топографических карт м. 1:500 000 1966 г., и космических снимков 1977, 2020 гг. показывает, что в дельте с середины прошлого века и до настоящего времени преобладают процессы аккумуляции отложений – нарастают и выдвигаются в Двинской залив острова морского края дельты; в основных рукавах увеличиваются площади русловых островов, малые русловые острова расширяются по площади, консолидируются и превращаются в более крупные, которые затем причленяются к левым берегам рукавов; благодаря развитию прирусловой растительности уменьшаются по ширине и исчезают небольшие водотоки на островах дельты. Однако, активизация морских процессов при потеплении климата отразилась в появлении участков размыва на островах морского края со стороны Двинского залива, где береговая линия отступила до 200 м, т. е. со скоростью до 5 м/год. Продолжается отмечавшийся ранее постепенный размыв правых берегов основных рукавов дельты со среднегодовой скоростью до 1 м/год, а также излучин в протоках. Составленная карта динамики дельты отражает реальное соотношение этих процессов с существенным преобладанием аккумуляции отложений. Таким образом, исследование динамики дельты Северной Двины за 1977-2020 гг. показало, что в период потепления климата, на фоне продолжающихся преобладающих процессов аккумуляции и нарастания площади островов дельты, выявлены начавшиеся процессы размыва мористых берегов на островах морского края дельты.

Сопоставление динамики дельт по трём охваченным исследованиями ключевым территориям показывает, что в дельтах сибирских рек потепление климата вызвало некоторую активизацию процессов размыва, что в целом благоприятно для их транспортного использования. Но на территории Европейской России, в дельте Северной Двины, процессы размыва проявились лишь на морском крае дельты, а активно продолжающиеся во внутренней части дельты процессы аккумуляции наносов продолжают создавать трудности для судоходства.

АНАЛИЗ ПРОШЕДШИХ ЛЕТОМ 2021 г. ПАВОДКОВ НА РЕКАХ КРЫМА

Общеизвестно, что водный сток является одним из важнейших факторов русловых процессов. Особое значение имеет максимальный сток, во время которого зачастую происходят основные переформирования русла. В связи с этим сведения о максимальном стоке имеют важнейшее значение для правильного учета возможных русловых деформаций. Наиболее важной является информация об экстремальных значениях максимального стока, имеющих редкую повторяемость. Они зачастую оказываются за пределами периода, охваченного гидрометрическими наблюдениями. В связи с этим возможность измерить значения характеристик экстремального стока редкой повторяемости всегда представляет собой большую ценность.

Крымский полуостров, как известно, является одним из наиболее водно-дефицитных районов России. Количество атмосферных осадков здесь невелико, а испарение большое, что приводит к низким значениям показателей водного стока и как следствие – дефициту водных ресурсов. Ситуация усугубляется тем, что основные потребности населения и хозяйства в водных ресурсах приходится в основном на лето, а особенностью водного режима Крымских рек является прохождение паводков преимущественно в зимний и весенний периоды, в то время как лето и осень обычно характеризуются устойчивой меженью, сопровождаемой зачастую полным истощением стока ряда рек.

Несмотря на то, что главной водной проблемой Крыма является недостаток воды, здесь имеют место и другие опасные гидрологические процессы, в том числе наводнения. Особенностью экстремальных, вызывающих наводнения паводков Крымских рек является то, что проходят они, как правило, в отличие от паводков менее редкой повторяемости, именно в летний период, характеризующийся в обычные годы низкой водностью. Такие экстремальные паводки прошли на реках Крыма в начале лета 2021 г.

Студенты и сотрудники кафедры гидрологии суши географического факультета МГУ имени М.В. Ломоносова с 2018 г. проводят гидрологические научно-исследовательские работы на Крымских реках с целью уточнения количества естественных возобновляемых водных ресурсов, формируемых в пределах Крымского полуострова. В рамках этих работ на ряде рек и временных водотоков были установлены временные гидрологические посты, фиксирующие максимальные уровни воды. Их наличие позволило оценить масштаб паводков, прошедших в Крыму летом 2021 г. Правда, следует подчеркнуть, что далеко не все временные посты позволили оценить величину подъема уровня летом 2021 г. В части створов максимальные уровни превысили предельные значения, на которые были рассчитаны временные посты, а некоторые посты были разрушены под влиянием прошедшей паводочной волны. Тем не менее, на части постов удалось зафиксировать значения максимальных уровней лета 2021 г. относительно их межennых отметок, а для тех створов, где максимумы "зашкалили", либо посты не уцелели,

высота подъема уровня была оценена по косвенным признакам – меткам высоких вод. Такая оценка проводилась в июле 2021 г., когда с момента паводков прошло менее одного месяца, что позволило относительно четко идентифицировать эти метки.

Наибольший подъем уровня был характерен для рек Южного берега Крыма, протекающих западнее г. Алушты. Здесь, к сожалению, не уцелел практически ни один из временных гидрологических постов. Высота подъема уровня, определяемая по косвенным признакам, составила более 5 м. Формы русел многих рек претерпели очень серьезные изменения.

Также высокий подъем уровней был характерен для верховьев рек северо-западных склонов Крымских гор (бассейны рек Черная, Бельбек, Кача, Альма). Здесь высота подъема уровней достигала 2-3 м. В этом районе налицо отличие масштабов паводков в зависимости от расположения водосборов рек. Так, например, для верховьев р. Черной наибольшие подъемы уровней были характерны для ее левобережных притоков, стекающих с главной гряды Крымских гор. Для правобережных притоков высота подъема уровня составила 30-60 см. На некоторых левобережных притоках р. Черной прошедший паводок разрушил водосливные сооружения гидрологических постов, установленных почти 100 лет назад и сохранявшихся целыми вплоть до весны 2021 г. несмотря на давнее закрытие многих из них. Это свидетельствует о том, что для ряда рек прошедшие паводки имели обеспеченность менее 1%.

Обратная ситуация характерна для северо-западной части Крымского полуострова, расположенной севернее г. Евпатории. Ни один из установленных здесь (на временных водотоках) временных гидрологических постов не зафиксировал подъема уровня, что свидетельствует о том, что паводков здесь либо вовсе не было, либо подъем уровня не превысил 5 см. Такая же ситуация характерна и для центральной части полуострова в окрестностях г. Симферополь.

Подъем уровня был зафиксирован на водотоках Керченского полуострова, где реки, как таковые, отсутствуют. Тем не менее, на временных водотоках высота подъема уровня составила от 20 до 40 см, а на р. Восточный Булганак, протекающей севернее г. Керчь, уровень воды поднялся на 140 см.

Проведенные исследования показали, что паводки лета 2021 г. затронули в основном два района. Первый из них – Крымские горы, служащие главным местом формирования стока Крымских рек, второй – Керченский полуостров, где, несмотря на обычную маловодность, паводки имели внушительный масштаб.

М.В. Кумани, Ю.А. Соловьева

Курский государственный университет

ПРОТИВОЭРОЗИОННАЯ ОРГАНИЗАЦИЯ ТЕРРИТОРИИ С ПРИМЕНЕНИЕМ ГЕОИНФОРМАЦИОННЫХ СИСТЕМ

Проблема эрозии почв – общеэкологическая, междисциплинарная, которая заключается в деградации почв и снижении качества почвенных ресурсов. Эрозионные процессы в агроландшафте приводят к снижению

устойчивости ландшафтов в целом – как агроландшафтов, так и окружающих их водосборных территорий и водных объектов. Для сохранения устойчивости ландшафтов необходимо регулирование эрозионных процессов при помощи противоэрозионных комплексов.

Использование моделирования эрозионных процессов в ГИС позволяет рассчитать эффективность комплексов уже на этапе их проектирования. Разработанная нами технология проектирования противоэрозионных комплексов осуществляется при реализации алгоритма путем системы принятия решений по последовательному применению определенных видов противоэрозионных мероприятий, пока их комплекс не приведет к снижению эрозии почв в соответствии с нормативами допустимого смыва.

Подготовительный этап при реализации технологии заключается в сборе и обобщении информации об угодьях (водосборе, его участке), на котором планируется применение противоэрозионного комплекса. На этом этапе для участка подбирается картографический материал. Современные площади угодий и реализуемые севообороты определяются по данным дистанционного зондирования. На основе топографической карты в ГИС строится цифровая модель рельефа. На основе данных цифровой модели рельефа в среде ГИС автоматически строятся растры уклонов склонов, экспозиций, длин линий стока. Создается векторная карта с современными площадями угодий, типами почв и степенью их эродированности, которая впоследствии конвертируется в растр. Подготовленная серия растров используется для расчета среднесуточного смыва почв в современных условиях использования земель.

В качестве примера реализации алгоритма технологии применения противоэрозионных комплексов был использован модельный водосбор, расположенный в Медвенском районе Курской области. Густота эрозионного расчленения водосбора – 0,79 км/км², глубина – до 15 м. Почвы водосбора представлены черноземами выщелоченными и типичными различной степени смытости.

В результате сбора исходных данных по водосбору был создан растр среднесуточного смыва почв. При текущих условиях ведения сельскохозяйственного производства среднесуточный смыв составил 1,42 т/га. Так как площадь водосбора небольшая, в качестве допустимого смыва было принято значение 0,5 т/га.

Принятый за норматив смыв 0,5 т/га угодья водосбора достигается при ведении почвозащитного севооборота или выполнении лесомелиоративных мероприятий на водосборе. Трансформация угодий в совокупности с агроприемами снижает смыв почв на 33% по сравнению с существующим смывом, однако допустимый смыв почв при этом не достигается.

В результате реализации технологии на модельном водосборе наиболее эффективными оказались почвозащитный севооборот и лесомелиоративные мероприятия, позволившие снизить смыв почв на 66% и 86%, соответственно, по сравнению с его исходным значением при ведении на угодьях зернопропашного севооборота.

РАЗМЫВЫ БЕРЕГОВ НА СРЕДНИХ И КРУПНЫХ РЕКАХ ОБЬ-ИРТЫШСКОГО БАССЕЙНА*

Свободные и относительно однородные условия формирования русел и, как следствие, активное развитие горизонтальных русловых деформаций на реках Обь-Иртышского бассейна в пределах лесной зоны несут угрозу для населенных пунктов, хозяйственных объектов и объектов инфраструктуры, расположенных на пойме и по берегам рек. Наносы, поступающие в русло реки от размыва берегов, аккумулируясь ниже по течению, формируют перекаты, снижающие гарантированные глубины. Но несмотря на реальную угрозу, размывы берегов на притоках Оби и Иртыша, в отличие от магистральных рек, мало изучены.

Исследование размывов берегов в Обь-Иртышском бассейне проводилась на средних и больших реках, имеющих среднегодовые расходы воды больше 100 м³/с. К ним относятся правобережные притоки Оби: Томь, Чулым, Кеть, Тым, Вах, Тромъеган и Аган, Лямин, Казым и Полуи; левобережные – Парабель, Васюган, Большой Юган, Северная Сосьва. Среди притоков Иртыша рассматривались Демьянка, Тобол с Тавдой и Турой, Конда. У этих рек имеется достаточная ширина русла для дешифрирования, оцифровки и вычисления характеристик размыва берегов (C , м/год, L , км) при разрешении космических снимков от 10 до 30 м. Рассматривались космические снимки серий "Sentinel-2", "Landsat 4, 5 TM", "Landsat 7", "Landsat 1, 2 MSS" за два временных интервала: 1973-1989 и 2001-2006 гг. – 2016-2021 гг. Данные о темпах смещения русла были получены на основе нового автоматизированного подхода – относительно быстрого дешифрирования в программе ГИС ArcGIS Desktop осевых линий речных русел в определенном спектре цветовых каналов космических снимков.

Одним из основных факторов, влияющих на размывы берегов, является сток воды. Ввиду небольшой плотности гидрологических постов на реках Обь-Иртышского бассейна анализ связи между стоком воды и размывами берегов был проведен с использованием косвенного показателя – порядка реки (N), характеризующего изменение размеров реки и расходов воды вниз по течению. Обь-Иртышский бассейн в пределах лесной зоны на основе связи $Q_{cp} = f(N)$ разделяется на семь районов по природным условиям формирования стока (климатическим, гидрогеологическим и другим). С ростом порядка реки, т.е. размера и водоносности, интенсивность горизонтальных русловых деформаций увеличивается в среднем с 1,7 до 6,9 м/год.

*Выполнено при финансовой поддержке РФФ (проект 18-17-00086 П), РФФИ (проект № 20-35-90003\20) и по плану НИР (ГЗ) научно-исследовательской лаборатории эрозии почв и русловых процессов им. Н.И. Маккавеева МГУ имени М.В. Ломоносова.

Геолого-геоморфологические условия формирования русла, проявляющиеся в ширине днища долины и влиянии коренных берегов, наравне с постоянным изменением параметров русла и водности, взаимодействии руслового и пойменного потоков в половодье, также оказывают влияние на изменение скорости размыва берегов по длине рек.

Обь-Иртышский бассейн по условиям размыва берегов разделяется на семь районов, характеризующихся снижением темпов размыва берегов к северу и вглубь рассматриваемой территории (Обь-Иртышскому междуречью). Параметры излучин русла, излучин рукавов разветвлений рек (l/L , r , L) определяют структуру скоростного поля потока и циркуляционные течения, влияющие, в свою очередь, на расположение и протяженность фронтов и скоростей размыва берегов. Скорости размыва берегов растут с увеличением степени развитости излучин русла и излучин рукавов разветвлений, снижаясь после $l/L=1,5-1,6$, что обусловлено удлинением извилистой формы русла в ходе ее развития, приводящей к росту потерь напора и утрате гидравлической выгоды извилистой формы русла. Протяженность фронтов размыва берегов, при прочих равных условиях, больше у более пологих излучин (с большими r и L). Каждый из районов характеризуется гидролого-морфологическими зависимостями, коэффициенты которых изменяются с юга на север и с востока на запад, а также вглубь рассматриваемой территории.

Г.А. Ларионов, О.Г. Бушуева, А.В. Горобец, Н.Г. Добровольская,
Л.В. Кобыльченко (Куксина), Н.Р. Крючков, Л.Ф. Литвин
Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова

КИНЕТИЧЕСКАЯ КОМПОНЕНТА СКЛОНОВЫХ ПОТОКОВ И ЭРОДИРУЕМОСТЬ ПОЧВЫ*

Как правило, исследования интенсивности смыва и эродированности почв проводятся при скоростях водного потока не выше 1-1,5 м/с. Именно такие скорости характерны для склоновых и овражных потоков [География овражной эрозии, 2006]. В диапазоне до 1,5 м/с прослеживается прямолинейная зависимость интенсивности смыва от куба скорости потока, за исключением малых скоростей, когда лишь часть пульсационных значений скорости способны срывать почвенные частицы [Ларионов, Краснов, 2000]. При таких скоростях наблюдается резкое уменьшение интенсивности размыва [Ларионов, Бушуева и др., 2010]. Однако в верховьях равнинных оврагов наблюдаются и более высокие значения скоростей потока. Так, напри-

* Выполнено по плану НИР (ГЗ) Научно-исследовательской лаборатории эрозии почв и русловых процессов им. Н.И. Маккавеева при поддержке РФФ (проект 22-27-00316, <https://rscf.ru/project/22-27-00316> - модернизация оборудования и анализ результатов)

мер, во время схода селя в овраге Бабий Яр (Киевское Приднепровье) скорости потока превышали 5 м/с [География овражной эрозии, 2006].

По мере увеличения скорости потока растёт и воздействие гидродинамических сил на почву, поэтому при больших скоростях потока можно ожидать изменения соотношений этих сил и сил воздействия на межагрегатные связи самой почвы. По-видимому, изменение этого соотношения должно сказаться на изменении эродируемости почв в различных областях скоростного поля. Возможно и появление новой граничной скорости (или диапазона скоростей), по достижении или превышении которой эродируемость почвы существенно меняется.

Целью исследований была оценка динамики интенсивности размыва и эродируемости, а также нахождение граничной скорости при размыве модельных образцов почвы различной плотности, определяемых в широком диапазоне скоростей потока (0,5-6,7 м/с). В качестве объекта исследований использовались образцы пахотного горизонта легкого глинистого выщелоченного чернозема (Воловский район, Тульская область). В экспериментах использовалась фракция агрегатов 1-2 мм, полученная из воздушно-сухой почвы с помощью сухого просеивания. Диапазон плотности почвы в образцах задавался от 1,2 до 1,5 г/см³ с шагом 0,1 г/см³, объем образца составил 8,67 см³ (17×17×30 мм). Навески насыщались дистиллированной водой до влажности, равной 24% от массы воздушно-сухой почвы, и выдерживались в закрытых бюксах в течение 18–20 часов. Выбор данной влажности обусловлен наименьшей интенсивностью размыва модельных образцов пахотного горизонта чернозема [Ларионов, Бушуева и др., 2014].

Исследования проводились на специально сконструированной струйной установке, позволявшей изменять скорости потока во всем необходимом диапазоне. Для получения высоких скоростей потока на установке использовали струю воды из насадки сечением 2×2 см, которая имела наклон около 2° в сторону образца, чтобы размыв осуществлялся только за счет касательных сил. Предварительно увлажненный образец почвы помещался в металлическую кассету квадратного сечения (1,7×1,7 см). Почву экструдировали из кассеты подъемным винтом. Во время проведения опытов температуру воды в системе поддерживали постоянной на уровне 18–21°C [Ларионов, Горобец и др., 2019].

Эксперименты показали, что при оценке интенсивности размыва почвы в широком диапазоне скоростей потока (0,5-6,7 м/с) существует некоторая граничная скорость, после превышения которой существенно изменяется эродируемость. Для условий опытов (фракция агрегатов 1-2 мм) значения граничной скорости изменялись незначительно в диапазоне 1,6-1,7 м/с, хотя и несколько увеличивались с ростом плотности почвы. Однако эродируемость при скорости выше граничной величины значительно ниже (в 3 раза и более) эродируемости в дограничной области – смыв в этой области идёт по более отлогой кривой.

Описанные выше результаты трудно объяснить, исходя только из механических закономерностей взаимодействия потока и подстилающей

шероховатой поверхности агрегированной почвы. Очевидно, что в процессе размыва велика роль расклинивающих водных плёнок на поверхности глинистых частиц [Осипов, 2013]. При малых дограничных скоростях потока верхний слой агрегатов быстро насыщается водой. Вокруг агрегатов формируется внешняя плёнка, которая может приводить к полному исчезновению сил межагрегатного притяжения. В дальнейшем захвату и перемещению агрегатов водным потоком оказывает сопротивление только сила тяжести за вычетом подъёмной силы воды.

В области высоких скоростей, превышающих граничную, гидродинамическое воздействие потока на агрегаты почвы столь велико, что поток может преодолевать сцепления между частицами ещё до насыщения межагрегатных плёнок. В данном случае поток затрачивает относительно большую энергию, чем в области дограничных скоростей. Величина эродируемости при этом уменьшается в 3 раза и более по сравнению с эродируемостью в диапазоне дограничных скоростей.

Некоторые теоретические соображения и экспериментальные данные позволяют предположить, что размеры почвенных агрегатов могут влиять на эрозионную эффективность расклинивающего действия водных плёнок. Сравнение эродируемости фракции агрегатов размером <1 мм с фракцией 1-2 мм показало, что они различаются только при дограничных скоростях потока – 27,05 и 5,73 с²/м². В то время как при более высоких скоростях потока, превышающих граничную, эти различия для данных фракций почвы нивелируются – 1,58 и 1,86 с²/м², соответственно. Вероятно, в полевых условиях, когда скорости склоновых потоков редко превышают 1,5 м/с, почвы с более крупными агрегатами могут лучше противостоять эрозии.

Ф.Н. Лисецкий, А.О. Полетаев, Э.А. Терехин, К.Б. Морабандза

Белгородский государственный национальный исследовательский университет

ОСОБЕННОСТИ ФОРМИРОВАНИЯ ПОЧВОЗАЩИТНЫХ СВОЙСТВ У РАЗНОВРЕМЕННЫХ ПОСТАГРОГЕННЫХ ПОЧВ*

При использовании моделей оценки эрозионных потерь почвенный фактор представлен в формализованном виде как совокупность связанных параметров. Около 10 уравнений, разработанных в 1970-90-х гг. для расчета фактора эродируемости почв (К), при незначительных вариациях включают стандартный набор исходных данных. Так, в модели Revised Universal Soil Loss Equation (RUSLE) фактор K_{RUSLE} вычисляют как произведение четырех параметров: содержания органического углерода (Corg) и долей фракций частиц с диаметром 2,0-0,05, 0,05-0,002 и <0,002 мм соответственно. В России для определения смываемости почв по известной номограмме, разработанной в МГУ, определены зависимости перехода от массовых данных оп-

* Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 20-67-46017

ределения гранулометрического состава по методу пипетки в варианте Н.А. Качинского (с фракцией 0,25-0,05 мм) к содержанию фракций песка (1,0-0,1 мм) и суммы мелкого песка и пыли (0,01-0,001 мм). В последнее время накопление данных по лазерно-дифракционному методу позволяет рассчитывать по содержанию частиц <0,001 мм долю фракции глины по международной классификации <0,002 мм. Однако более широкий спектр параметров, определяющих противоэрозионную и противодефляционную устойчивость почв, как и водопроницаемость, связанную с понятием смываемости почв, хотя и находит всестороннее экспериментальное обоснование, но редко представлен даже в новых в аналитических уравнениях для расчета К-фактора. При оценке эрозионных потерь на масштабном уровне водосбора или склона роль других почвенных свойств, кроме гранулометрии и условий землепользования, будет сильно увеличиваться. При этом увеличение степени смывости почв, изменяющее их относительную смываемость до 3-3,5 раз, хотя и отражается в снижении гумусированности почвы, но при одночленных материнских породах вклад гранулометрического состава при расчете К-фактора будет относительно постоянным. Использование рядов агрогенных трансформаций почв, включающих эталоны (целинные аналоги), разновременные агропочвы и постагрогенные залежи, позволяет лучше понять механизмы как снижения устойчивости почв к деградации, так и воспроизводства их протекторного потенциала.

Объектами исследования обоснованы ряды агрогенных трансформаций почв в древнеземледельческих районах степной зоны Крымского п-ова, где доминируют черноземы карбонатные тяжелосуглинистые и легкоглинистые (содержание фракций 1,0-0,1 мм и 0,01-0,001 мм составляет 38 и 20% соответственно) при среднем содержании Сорг $1,39 \pm 0,08\%$. Используя иерархическую классификацию почв в агрогенных рядах, установлено, что агрофизические показатели играют определяющую роль в сравнении с параметрами химического состава почв. Хорошо диагностирует структурный состав почвы коэффициент микроагрегированности (K_A), который рассчитывается по соотношению содержания агрегатов и элементарных почвенных частиц (минералов и фрагментов пород) диаметром (d, мм): $0,25 > d > 0,05$. В частности, установлено, что у пахотных почв эффективность участия гумуса ($G, \%$) в микроагрегировании (по оценке отношения K_A/G , составляющей 22-23) не сопряжена с изменением диаметра водопрочных агрегатов. Тогда как у целинных и залежных почв величина соотношения K_A/G составляет 9-10, а повышение водопрочности структуры не обеспечивается усилением микроагрегированности и увеличением эффективности гумуса в этом процессе. Горизонт А степных почв характеризуется широким варьированием показателей агрофизического состояния: средний диаметр макроагрегатов составляет 5,3 (1,6÷9,4) мм; показатель водопрочности агрегатов диаметром 3-5 мм – 73 (37÷96) %; величина коэффициента дефляционной опасности (содержание макроагрегатов >1 мм) – 72 (52÷90)%. Но принципиальные различия отмечены для почв, сформированных на лессовидных суглинках и на элювии карбонатных пород (занимают 26,6% пло-

щади Крымского п-ова). Величина комковатости структуры у почв на карбонатном элювии в агрогенном ряду "целина-залежь-пашня" снижается от 70 к 59 и 53 %. Этот же показатель у суглинистых почв снижается от залежных к пахотным вариантам от 84 до 64 %. Таким образом, противодефляционная устойчивость пахотных почв на карбонатном элювии в среднем в 1,2 раза ниже по сравнению с почвами на породах суглинистого состава. У последних почв величины отношения содержания водопрочных агрегатов к доле структурных отдельностей диаметром от 1 до 5 мм составляют 44% (залежь) и 33% (пашня) в сравнении с целинными аналогами. С учетом величины интегрального агрофизического показателя почвы располагаются в следующий ранжированный ряд: постантичная залежь < целина < недавние залежи < старопахотные почвы < современные пашни. Положение старозалежных почв в этом ряду отражает положительный эффект от прежних – архаичных с современных позиций, но по факту ресурсосберегающих обработок почв (залежная система земледелия, рыхление на небольшую глубину и т.п.), аналогичных многочисленным вариантам минимальных обработок, практикуемых ныне, по своим возможностям воспроизводства почвенного плодородия. Наибольшие отличия структурного состояния постагрогенных слоев почв по сравнению с аналогичными слоями у целинных почв заключаются в более высоком содержании структурных отдельностей 3-10 мм и более низком содержании микроструктуры (<0,25 мм). Анализ водопрочности постантичных залежных почв показал, что наиболее часто водопрочными являются мезоагрегаты диаметром от 3 до 5 мм и реже – от 2 до 3 мм.

Г.В. Лобанов, М.И. Сарнецкая

Брянский государственный университет им. акад. И.Г. Петровского

ЛЕСИСТОСТЬ И ЕЕ ДИНАМИКА КАК ФАКТОР СТОКА МАЛЫХ РЕК БАССЕЙНА ВЕРХНЕГО ДНЕПРА

Важнейшим фактором, определяющим гидрологический режим малых и средних рек, а также их гидрологические характеристики, является лесистость и её динамика. Вместе с тем, в литературе распространено мнение о том, что влияние лесистости сложно и неоднозначно. Степень и характер влияния зависят от возраста, видового состава насаждений и особенностей лесопользования. Кроме того, оценка влияния динамики лесистости на сток усложняется трудностью выделить его в "чистом виде", отделить от действия других природных и хозяйственных воздействий.

Брянская область – удачный модельный регион изучения влияния динамики лесистости на речной сток. За последние 150 лет лесистость увеличивалась и уменьшалась вслед за социально-экономическими изменениями. Наименьшую долю площади леса занимают в первой четверти XX века в связи с промышленным освоением территорий, гражданским строительством. Впоследствии лесистость несколько вырастает в 30-е годы XX века в

связи с лесовосстановительными работами. В военные и послевоенные годы лесистость сильно уменьшается в результате потерь от боевых действий, вывоза древесины в Германию и послевоенного восстановления хозяйства. В послевоенные десятилетия лесистость медленно возрастала и к началу XXI века стабилизировалась на уровне 32-33%.

Для оценки направления и особенностей влияния динамики лесистости на характеристики стока выбраны бассейны рек Судость, Навля, Коста и Сев. По этим рекам есть ряды гидрологических наблюдений продолжительностью более 60 лет.

Физико-географические особенности водосбора приведены для частей бассейнов, расположенных выше гидропостов. Река Сев – с водосбором преимущественно на западном макросклоне Среднерусской возвышенности – лёссовой средне- и сильно эрозионно расчленённой равнине. Река Навля – с водосбором на относительно краевых участках Среднерусской возвышенности с высотами чуть более 200 м. Река Судость – средняя, с водосбором разнообразным по физико-географическим условиям. Часть территории занимают островные небольшие возвышенности, покрытые лёссовидными суглинками (Брянская, Стародубская возвышенности), часть – низменности, сложенные с поверхности флювиогляциальными отложениями. В бассейне Судости отдельно рассматривается малая река Коста с водосбором на возвышенной средне расчленённой равнине (Стародубской возвышенности). Все модельные территории хорошо сельскохозяйственно освоены, обладают плотной сетью сельского расселения, за исключением значительно компактного лесного массива на левобережье Судости

Динамика лесистости модельных бассейнов установлена сопоставлением топографических карт масштаба 1:25000 (состояние территории к середине 50-х годов XX века) и спутниковых снимков. Сравнение разновременных материалов показывает, что лесистость за 60–65 лет существенно увеличилась: в бассейне Судости на 16,9%, в бассейне Сева на 19,7%, в бассейне Навли на 15,3%, в бассейне Косты на 42,9%.

Ожидаемого с увеличением лесистости роста стока не происходит. Средний расход рек – модельных объектов уменьшился: Судости – на 18,1%, Сева – на 7,9%, Навли – на 0,3%, Косты – на 3,6%, соответственно сократились максимальные и минимальные расходы.

Объяснить разное направление динамики стока и лесистости, при условии, что изменение площади – существенный фактор стока, возможно следующими соображениями.

Во-первых, влиянием динамики климатических факторов стока – увеличением температуры воздуха и испаряемости. Среднегодовая температура в Брянской области от 50-х годов XX века увеличилась на 1,5°C. Причём, растёт температура всех климатических сезонов, а не только зимы. Количество осадков в этот же период изменяется квазиритмически, без выраженной поступательной тенденции.

Во-вторых, небольшой лесистостью, не превышающей нескольких процентов. Значительное относительное увеличение лесистости принципно

ально не изменяет ландшафтную структуру водосборов, в которой как в середине XX века, так и в настоящее время, преобладают сельхозгодья.

В-третьих, большой долей (34,6%) молодняков в возрастной структуре хвойных лесов, которые, по литературным данным, отличаются большой транспирацией. Хвойные (преимущественно сосновые) леса составляют значительную часть лесной растительности в бассейне средней Десны. По другим группам лесов ситуация отличается. В группе мягколиственных пород преобладают средневозрастные насаждения (52,2%); твердолиственные породы не оказывают существенного влияния на водный баланс из-за небольшой площади.

Приведённые сведения показывают сложное и разнонаправленное воздействие факторов стока на гидрологические характеристики рек. Очевидная связь: увеличение лесистости – замедление темпов снижения расходов не прослеживается. Вероятнее всего, большое значение имеет ландшафтная структура бассейна, например в бассейнах рек Сев и Судость леса сосредоточены на небольшой части водосборной площади, которая обеспечивает, хотя и существенный, но не определяющий вклад в значение расходов. В бассейне Навли леса распределены более равномерно. Здесь иссушающее влияние потепления климата компенсировалось увеличением лесистости.

Д.В. Магрицкий

Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова

ХРОНОКАРТОГРАФИЧЕСКОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ЭВОЛЮЦИИ АГРАХАНСКОГО ЗАЛИВА В ДЕЛЬТЕ ТЕРЕКА В XVIII–XX ВВ.

Дельта Терека – благодатный объект для специалистов, занимающихся изучением устьев рек и устьевых процессов. Поскольку часть гидролого-морфологических процессов, например переформирование гидрографической сети и морского края дельты (МКД), рассредоточение стока в дельте, изменения ландшафтного облика и др., развиваются здесь довольно быстро (в течение года и нескольких десятилетий) из-за отложения в дельте большого объема речных наносов и колебаний уровня Каспия, а также активной хозяйственной деятельности. Мало того, работы по морфологическим изменениям неплохо обеспечены палеогеоморфологическими данными, историческими описаниями и картами дельты, начиная уже с XVI–XVII вв.

Первыми это использовали в своих фундаментальных работах Самойлов И.В. [1952] и Беляев И.П. [1963], в которых было дано как описание, так и картосхемы изменений русловой сети дельты Терека с XVI в. по середину XX в. Развитие этой темы получило в работах [Байдин С.С., Скриптунов Н.А. и др., 1971; Гидрология устьев рек Терека и Сулака, 1993; Устья рек Каспийского региона, 2013; и др.], в итоге позволившее сделать выводы

о примерно 50-70-летней цикличности в кардинальной перестройке русловой сети дельты и смене основного выноса вод и наносов Терека в море.

В 2018-2020 гг. изучение внутри- и межвековой динамики водных объектов в дельте Терека на основе сравнения разновременных исторических карт было продолжено для задач идентификации факторов и закономерностей деградации бывшего Аграханского залива в XX – начале XXI в. Еще в начале XX в. он был типичным морским заливом, но к XXI в. утерел черты морской акватории и единого водоема, разделен на две части со своей гидрографической сетью, водным режимом, ландшафтами, биотой и антропогенной нагрузкой [Magritsky D.V., Samokhin M.A., Sokolov D.I., 2021]. Большим подспорьем в работе послужили многочисленные открытые и оцифрованные картографические материалы, начиная, в основном, с XVIII в., из фондов МГУ, Российской Государственной библиотеки, Русского Географического Общества, с сайтов Retromap.ru, Etomesto.ru и др., описания путешественников. Наиболее информативные и точные карты трансформировались в векторное изображение (в QGIS); по ним сравнивались границы и очертания объектов аграханской системы, их положение, оценивались площади открытой воды, заросшие тростником и др. С учетом реконструированных данных по среднему уровню Каспия и стоку Терека была обоснована связь с ними морфологических изменений Аграханского залива.

Согласно собранным материалам, Аграханский залив имел максимальные размеры во второй половине XVIII в. – начале XIX в. Уровень Каспия находился на отметках $-25...-24$ м БС, максимальная площадь водной акватории залива достигала $350-370$ км². В течение XIX в. площадь залива сокращалась из-за выноса наносов Нового Терека (или Кордонки) и Старого Терека, то ослабевавшего, то усиливавшегося по мере образования новых прорывов в дельте (в северном, северо-восточном или восточном направлениях), и из-за снижения уровня моря более чем на $0,5$ м. Удалось получить приближенную зависимость между средним уровнем моря (H_m) и площадью водного зеркала Аграханского залива. $(F_A): F_A = 64,2 \times H_m + 1994$, которая четко показывает сокращение размеров залива с падением уровня и его "гидрографическую гибель" при отметках менее $-30...-32$ м БС. И это все без участия стока воды и наносов Терека, который стал мощным фактором после 1914 г. В начале XX в. площадь залива оценена в $340-350$ км², еще приблизительно 68 км² приходилось на приаграханские плавни. Глубины увеличивались от западного берега к восточному – до $3,5-4,0$ м при уровне моря $-25,6$ м БС и, возможно, на выходе в Кизлярский залив (в фарватере).

Начало "конца существования" Аграханского залива датируется 1914 г., когда во время высокого половодья произошел прорыв русла Терека в сторону Аграханского залива [Байдин С.С., Скриптунов Н.А. и др. 1971; Беляев И.П. 1963; Гидрология устьев рек Терека и Сулака, 1993; Устья рек Каспийского региона, 2013]. Прорвавшиеся речные воды затопили имевшиеся на их пути понижения, образовав систему озер, плавней и проток общей площадью ~ 740 км². Именно в их окружении в течение нескольких десятилетий формировалось русло нового магистрального дельтового рука-

ва – Каргалинского Прорыва. О том, как это происходило, как развивалась дельта Аликазгана и одновременно "отмирал" Аграханский залив изложено в текстовой форме в [Беляев И.П.; Гидрология устьев рек Терека и Сулака, 1993; Устья рек Каспийского региона, 2013]. Привлечение карт и картосхем, начиная с 1920 г. (и вплоть до первых спутниковых снимков), позволило не только это проиллюстрировать, но и уточнить некоторые важные аспекты этих процессов, в дальнейшем увязав их с данными полевых измерений 2018-2020 гг., приводимых в [Magritsky D.V., Samokhin M.A., Sokolov D.I., 2021] с этапами водохозяйственного освоения дельты, оценить вклад понижения уровня Каспия (до 1977 г.) и отложения наносов в уменьшении площади водного зеркала Аграхана, т.е. за счет активного и пассивного выдвигания дельты Аликазгана.

А.Н. Махинов, В.И. Ким, Д.В. Матвеев, В.Д. Паушкина
Институт водных и экологических проблем ХФИЦ ДВО РАН

ВЛИЯНИЕ КРУПНЫХ ПАВОДКОВ НА РУСЛОВЫЕ ПРОЦЕССЫ В НИЖНЕМ ТЕЧЕНИИ р. АМУРА

В последние десятилетия в дальневосточном регионе России происходит активизация опасных гидрологических явлений и экзогенных геоморфологических процессов, что может быть обусловлено изменением климата и влиянием хозяйственной деятельности. Особую опасность для рассматриваемой территории представляют высокие летне-осенние паводки, вызывающие большие наводнения на реках.

Крупные наводнения осуществляют значительные преобразования в руслах рек, оказывая негативное влияние на различные виды хозяйственной деятельности. В результате прохождения высоких паводков изменяются морфологические характеристики русла и особенности русловых процессов на отдельных его участках. На реках с разветвленными руслами наводнения способствуют активному перераспределению стока воды между рукавами, изменяют динамику и направленность их развития, увеличивают скорость размыва берегов и приводят к формированию крупных аккумулятивных форм рельефа в русле и обширных песчаных шлейфов на пойме.

Имеющиеся данные наблюдений на постах Гидрометеослужбы свидетельствуют о том, что большие наводнения в начале XXI века в бассейне Амура участились. Четырежды за последние десять лет в среднем и нижнем течении реки формировались очень большие наводнения. Два из них оказались наиболее масштабными за 126 лет со времени организации наблюдений за гидрологическим режимом реки. Первое большое наводнение случилось в 2013 году, последующие — в 2019, 2020 и 2021 годах. И каждый раз они нанесли серьезный ущерб населению и хозяйству Приамурья.

Катастрофические паводки последних лет активизировали эрозионно-аккумулятивную деятельность в русле Амура. Самыми проблемными участками реки были крупные пойменно-русловые разветвления, на кото-

рых современное распределение стока воды по рукавам в относительных величинах указывает на явно выраженную направленность в их развитии. При этом о тенденции развития рукава реки можно судить по изменению его относительной водности в разные фазы гидрологического режима. Как известно, развивающиеся рукава обычно увеличивают долю поступающего в них расхода воды по мере снижения уровней; отмирающие или мелеющие протоки увеличивают свою относительную водоносность в многоводную фазу водного режима. Такие участки рек установлены не только в среднем и нижнем течениях Амура, но и в нижнем течении реки Уссури.

Особенно интенсивно проявился размыв дна и берегов в рукавах Амура, увеличивающих свою водность в результате перераспределения стока воды. На отдельных протяженных участках произошло отступление береговой линии на 15-20 м только за один паводок. Отвесные эрозионные уступы, образовавшиеся в результате размыва, протягиваются в вершинах пологих излучин основного русла реки на несколько километров. По наблюдениям 2014 года, проведенным после паводка 2013 года, выявлен ускоренный размыв берегов на тех участках, где они происходили и ранее. Активизация размыва нередко обусловлена смещением перекатов в русле Амура или формированием крупных аккумулятивных форм в основном и второстепенных рукавах реки.

Наиболее существенные изменения в рельефе дна речного русла произошли на участках вблизи истоков и устьев второстепенных рукавов Амура, а также в окрестностях крупных населенных пунктов вследствие наличия различных гидротехнических сооружений (мостов, польдеров, переливных дамб и др.). Здесь активизировались аккумулятивные процессы, вызвавшие увеличение размеров и быстрое смещение существовавших и вновь образованных кос. В русле появились также новые многочисленные осередки и побочни. Эти процессы, характерные в целом для Амура, усиливались во время наводнений, обостряя проблемы безопасности судоходства, водоснабжения, устойчивости берегозащитных сооружений и других хозяйственных объектов в окрестностях городов Хабаровск, Амурск и Комсомольск-на-Амуре.

В связи с активизацией опасных гидрологических процессов в дальневосточном регионе особую актуальность представляет задача управления водно-хозяйственными системами в экстремальных условиях. Примером эффективного решения проблемы нежелательного перераспределения стока воды между рукавами и защиты берегов от размыва является создание переливных плотин в окрестностях Хабаровска. Полузапруды в протоках Пемзенская и Бешеная, возведенные с целью восстановления водного стока основного русла реки Амур на этом участке реки, выполнили роль регуляторов, возвративших сток к городу.

Однако во время последних крупных наводнений, особенно при прохождении экстремального паводка 2013 г., эти сооружения оказались под угрозой разрушения. Пропускная способность протоки Пемзенской существенно увеличилась вследствие частичного разрушения полузапруды и

углубления русла в ее истоке. После наводнений 2019-2021 гг. в протоке продолжает увеличиваться сток воды и, соответственно, размыв берегов и дна. Аналогичная ситуация сложилась на участке истока протоки Бешеная.

В настоящее время необходимо надежное инженерное решение проблемы стабилизации русла Амура на участках реки в окрестностях городов Хабаровск, Амурск и Комсомольск-на-Амуре с целью минимизации негативных последствий активных русловых деформаций для сохранения сложившихся условий природопользования.

А.Ф. Махинова, А.Н. Махинов

Институт водных и экологических проблем ХФИЦ ДВО РАН

ВЛИЯНИЕ СТОКА НАНОСОВ НА МИГРАЦИЮ ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ В РУСЛЕ р. АМУРА В ПАВОДКИ

Русловые процессы и неравномерность стока по сезонам года оказывают большое влияние на динамичность многих показателей качества воды. Сток наносов и загрязняющих веществ с поверхности суши в Тихий океан осуществляется в основном с территории Восточной Азии реками Амур, Янцзы и Меконг. Из них Амур занимает первое место по площади бассейна и третье место по водности.

Средний многолетний расход воды в устье реки равен 10900 м³/с. Максимальный измеренный расход у г. Хабаровска составил 46200 м³/с (сентябрь 2013 г.), минимальный – 153 м³/с (март 1922 г.). Каждый год в море выносится около 369,1 км³ воды, 24 млн. т взвешенных наносов, 20,2 млн. т растворенных веществ, 5,3 млн. т органических веществ. С российской части бассейна в р. Амур ежегодно сбрасывается около 1 млрд. м³ промышленных и коммунальных сточных вод, из них более 400 млн. м³ загрязненных (недостаточно очищенных), из которых около 15 % недоочищенных.

Показатели взвеси определяются интенсивностью русловых процессов. Проведенные исследования во время паводков 2019-2021 гг. в двух створах реки Амур – в 10 км выше г. Хабаровска при ширине русла 2425 м и в 7 км ниже г. Хабаровска при ширине русла 1920 м показали, что высокая скорость размыва берегов в паводки способствует поступлению в русло реки большого количества взвешенных веществ. Перенос массы твердого вещества G через поперечное сечение потока рассчитывали с использованием уравнения:

$$G = kQV_1L[C/hg - 10^3(1-f)I]\sqrt{dt}$$

где k – коэффициент пересчета массы твердого вещества в пробе воды к его истинной массе; Q – расход воды, м³/с; V_1 – средняя скорость потока в поверхностном слое, м/с; L – расстояние между расчетными створами, м; C – скорость седиментации в водном потоке, кг/(м·с²); h – средняя глубина потока, м; g – ускорение свободного падения, м/с²; f – коэффициент трения в придонном слое; I – уклон дна; 10^3 – плотность воды, кг/м³; t – время. Расчеты по уравнению проводили при определенных допущениях при $f > 1$ (для

р. Амур при $h \geq 8$ м, $V_1/V_2 \geq 10$, где V_2 – скорость придонного течения). Выявили, что в составе твердого стока органические и минеральные коллоиды составляют 85-90%. Масса терригенного материала фракций 0,001-0,05 мм в русле около Хабаровска в период наводнений увеличивалась в 1,5-1,7 раза относительно средних показателей в летнюю межень, а доля органического материала в 2,0-4,4 раза.

Полученные результаты исследований дают представление о механизмах концентрирования, динамики поведения и закономерностях миграции химических соединений в русле р. Амур во время паводков. Главную роль в химическом стоке многих соединений металлов играет сорбционная активность органических и минеральных коллоидов (70-100 нм), однако механизмы их сорбции различны:

1. Сорбция как электростатическое притяжение электрически нейтральных атомов и их соединений происходит на поверхности минеральных частиц с большой удельной поверхностью и высоким отрицательным зарядом.

2. Органические коллоиды обладают большей сорбционной емкостью по отношению к комплексным катионам $[\text{FeHSO}_4]^+$, $[\text{FeHSO}_4]^{2+}$, $[\text{CuHSO}_4]^+$. Они образуют устойчивые соединения с органическими лигандами.

На участках основного русла и второстепенных рукавов отмечается значительная неравномерность концентраций органической и минеральной взвесей в поперечном сечении потока. Обнаружено, что в составе крупных органических и минеральных коллоидов (0,45-1,0 мкм) вдоль левобережья мигрирует большая часть умеренно- и малоподвижных элементов (Fe, Mn, Al, Cu, Zn и Ni). Динамика их концентраций имеет U-образное распределение с минимальными значениями в средней части русла и наиболее высокими – в прибрежных частях створа. Концентрирование химических элементов, связанное с сорбционной активностью аллохтонных коллоидов, их миграция и изменчивость во времени имеет прямую зависимость с высокими скоростями размыва берегов и турбулентностью потока.

Миграция умеренно- и малоподвижных элементов (Fe, Mn, Al, Cu, Zn и Ni) составляет около 85% от общего химического стока. Растворимые формы этих соединений составляют 10-15%, которые мигрируют в составе комплексных солей, образующихся путем химического взаимодействия ионов металлов Fe^{3+} , Cu^{2+} , Zn^{2+} , Mn^{2+} , Pb^{2+} с растворимыми фракциями агрессивных фульвокислот. Процессы химического перераспределения элементов между их коллоидными и растворимыми формами в воде определяются содержанием органического вещества (ОВ). Максимальные концентрации ОВ (коллоидных и истинно-растворенных форм составляют 4,7 и 12,1 мг/дм³ соответственно) наблюдаются вдоль берегов с широким распространением болотных ландшафтов. Активность русловых процессов контролирует их перераспределение.

В последнее десятилетие р. Амур вступила в режим высокой водности, что повышает риски потенциальных экологических угроз при антропогенном воздействии. К ним можно отнести деятельность производств химической промышленности (Цилинский лакокрасочный завод, сернокислотный в Комсомольске-на-Амуре), предприятий машиностроения и сельское

хозяйство. Сброс городских и производственных сточных вод способствует поступлению широкого спектра загрязнителей в русло, среди которых особого внимания требуют тяжелые металлы. Крупные наводнения также усугубляют процессы загрязнения рек не только за счет размыва берегов, но и поступления стоков с урбанизированных территорий.

А.А. Мироненко¹, Е.П. Рец², Н.Л. Фролова¹

¹Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова,

²Институт водных проблем Российской академии наук

АНАЛИЗ ДАТ ПРОХОЖДЕНИЯ МАКСИМАЛЬНЫХ СРОЧНЫХ ГОДОВЫХ УРОВНЕЙ ВОДЫ РЕК СЕВЕРНОГО КАВКАЗА*

Выполнен анализ изменчивости средних дат прохождения годовых максимумов уровней воды по данным наблюдений 59 гидрологических постов при сопоставлении 1961-1990 и 1991-2017 гг. Осуществлена оценка сезонного распределения максимальных срочных годовых уровней воды за период 1961-2017 гг., на основании которой предложена классификация рек по преобладающему сезону прохождения максимумов уровней воды. Выявлены географические закономерности сезонного распределения максимумов уровней воды. Проведен анализ первых, вторых и третьих максимумов рядов максимальных срочных годовых уровней воды за рассматриваемый период. Исследованы даты, в которые превышались отметки неблагоприятных и опасных явлений на реках Северного Кавказа за период наблюдений.

На реках юга Черноморского побережья Кавказа и большинства участков рек бассейна Кубани наблюдается более позднее прохождение максимальных срочных годовых уровней воды от 1961-1990 к 1991-2017 гг. Для остальных рек Северного Кавказа в целом характерна тенденция к смещению максимумов уровней воды на более ранние сроки.

В основу предложенной классификации по сезонам прохождения максимальных срочных годовых уровней воды положен принцип классификации М.И. Львовича. Приняв буквенные обозначения сезонов прохождения максимальных уровней воды согласно классификации М.И. Львовича, где Р – весна, Е – лето, А – осень, Н – зима, и обозначив максимальные срочные годовые уровни воды индексом h_{max} , получим 4 группы по сезонам и 12 теоретически возможных типов распределения максимальных срочных годовых уровней воды по сезонам, каждый из которых представляет комбинацию индексов.

Всего на территории Северного Кавказа встречается 7 характерных типов сезонного распределения максимумов уровней воды. Наиболее многочисленной является группа с летними максимумами уровней воды, в рамках которой преобладают реки с летними максимумами повторяемости 50-80% за рассматриваемый период (индекс Eh_{max}).

Установлено, что при движении с северо-запада на юго-восток территории Северного Кавказа зимние максимумы уровней воды сменяются

* Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (грант № 20-35-90120)

летними. Преимущественно зимние максимумы уровней воды на реках северо-восточного побережья Чёрного моря к югу сменяются пестрой картиной сезонного распределения с преобладанием осенних максимумов. При удалении от юго-восточного побережья Чёрного моря к востоку вглубь материка смешанная сезонность распределения максимумов сменяется преобладанием летних максимумов. Полученные результаты легли в основу выделения на территории Северного Кавказа секторов с характерным сезонным распределением максимальных срочных годовых уровней воды.

Показано, что распределение дат превышения отметок неблагоприятных и опасных явлений за период 1961-2017 гг. имеет временные и пространственные закономерности, в целом схожие с сезонным распределением максимальных годовых уровней воды.

Э.И. Михневич, Ли Цзэмин

Белорусский национальный технический университет

ПРОПУСКНАЯ СПОСОБНОСТЬ ГЛАВНОГО МАГИСТРАЛЬНОГО КАНАЛА, ПОДАЮЩЕГО ВОДУ ИЗ р. ХУАНХЭ НА ИРРИГАЦИОННУЮ СИСТЕМУ ХЭТАО

Район орошения Хэтао в среднем течении реки Хуанхэ – одна из крупнейших ирригационных систем в Китае. Площадь орошения составляет: плановая – 10,2 млн. м² (680 тыс. га); фактическая – 8,61 млн. м² (574 тыс. га). В 2021 г. суммарный объем водозабора оросительной зоны Хэтао составил 4,0 млрд. м³.

Общая протяженность главного магистрального канала, подающего воду из р. Хуанхэ на ирригационную систему Хэтао, составляет 188,6 км; от главного канала воду в зону орошения отводят 16 магистральных каналов. Расход воды на входе в главный канал составляет 565 м³/с, а в конце канала – 9 м³/с. При отводе воды по трассе главного канала в отводящие магистральные каналы происходит ступенчатое снижение расхода по длине русла и, соответственно, уменьшается его поперечное сечение.

Нами дана оценка пропускной способности русла канала на его начальном участке с максимальным расходом. Этот участок имеет следующие гидравлические характеристики: уклон дна $i = 0,0001$; коэффициент шероховатости $n = 0,019$; коэффициент заложения откосов трапецеидального сечения $m = 2,5$. Откосы закреплены бетонными плитами. Далее по длине канала облицовка русла сегментирована, во многих местах облицовка отсутствует. Местность в зоне орошения равнинная, уклон дна канала изменяется по его трассе от 0,0000714 до 0,000125.

Если глубина и ширина канала не ограничиваются какими-либо условиями, то проектируют поперечное сечение русла гидравлически наивыгоднейшего профиля, который характеризуется соотношением $\beta_{г.н.}$ между шириной по дну b и глубиной h :

$$\beta_{г.н.} = (b/h)_{г.н.} = 2(\sqrt{1+m^2} - m). \quad (1)$$

Глубину канала гидравлически наивыгоднейшего профиля можно определить по формуле Э. И. Михневича:

$$h = \frac{(Qn)^{1/(2,5+y)}}{0,5^{2,5+y} (\beta_{г.н.} + m)^{1/(2,5+y)} i^{0,5/(2,5+y)}}. \quad (2)$$

Расчетом, выполненным по формуле (2), получены $h = 10,85$ м; ширина русла по дну $b = \beta_{г.н.}h = 0,385$, $h = 4,18$ м.

Топографические условия местности и требования к сопряжению уровней воды в р. Хуанхэ и главном магистральном канале не позволяют создать гидравлически наивыгоднейшее сечение канала такой большой глубины. Эти условия позволяют принять глубину на входном участке канала $h = 6,15$ м. При назначенной глубине русла h неизвестным размером поперечного сечения является ширина русла по дну b , которую можно определить по разработанной нами формуле (3) для ширины русла гидравлически наивыгоднейшего профиля $b_{г.н.}$ при одном заданном параметре поперечного сечения:

$$b_{г.н.} = \frac{K_0 n}{h \cdot R_{г.н.}^{0,5+y}} - mh, \quad (3)$$

где $R_{г.н.}$ – гидравлический радиус наивыгоднейшего сечения при одном заданном параметре русла, определяемый по формуле:

$$R_{г.н.} = \left(\frac{K_0 n}{4m_0} \right)^{\frac{1}{2,5+y}}; \quad (4)$$

m_0 – характеристика откоса, которую находят по формуле

$$m_0 = 2\sqrt{1+m^2} - m; \quad (5)$$

K_0 – расходная характеристика: $K_0 = Q/\sqrt{i}$.

Если задана ширина русла по дну b (обычно из удобства производства работ по сооружению канала), то в этом случае искомой является глубина русла h , которую можно определить по нашей формуле

$$h_{г.н.} = \frac{-b + \sqrt{b^2 + 4mK_0 n / R_{г.н.}^{0,5+y}}}{2m}, \quad (6)$$

Поскольку в приведенных формулах принят в расчет гидравлический радиус наивыгоднейшего сечения при одном заданном параметре русла, то производят корректировку значений гидравлического радиуса $R = \omega / \beta$, а ширины русла по дну b или глубины h путем умножения полученного по формуле (3) или (6) значения размера сечения на отношение $R_{г.н.} / R$, т. е.

$$\begin{cases} b = b_{г.н.} \cdot R_{г.н.} / R; \\ h = h_{г.н.} \cdot R_{г.н.} / R. \end{cases} \quad (7)$$

По приведенным формулам получено значение ширины канала по дну $b = 46,6$ м и соответственно ширины русла по верху $B = 77,35$ м. Скорость течения воды $v = 1,5$ м/с. Фактически размеры русла приняты значительно больше расчетных, чтобы обеспечить пропускную способность русла при его частичном заилении. Даже после осаждения наносов, содержащихся в реке Хуанхэ (порядка 30 кг/м^3), их концентрация в канале составляет $0,365 \text{ кг/м}^3$. Кроме того, канал может дополнительно пополняться водой, поступающей из притоков р. Хуанхэ во время половодья, которое проходит в бассейне реки в июле – августе в период муссона.

Н.Н. Назаров¹, С.В. Копытов¹, А.В. Чернов²

¹Пермский государственный национальный исследовательский университет, ²Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова

СМЕНЫ ТИПОВ МОРФОЛИТОГЕНЕЗА В КЕЛЬТМИНСКОЙ ЛОЖБИНЕ (ПОЗДНИЙ НЕОПЛЕЙСТОЦЕН-ГОЛОЦЕН)

Изучение причин, скорости и направленности смены типов морфолитогенеза (ТМ) – одна из наиболее актуальных проблем геоморфологии и палеогеографии. Объясняется это тем, что изучение особенностей рельефообразования и формирования новейших отложений имеет прямое отношение не только к решению фундаментальных проблем, но и четко выраженные прикладную и прогностическую составляющие. Наиболее актуально изучение смены ТМ для регионов, в которых позднеледниковый и голоценовый этапы формирования рельефа отличались высокой активностью и разнообразием воздействия различных агентов на земную поверхность. В первую очередь это касается территорий, располагающихся по периферии зоны распространения последнего оледенения. Изменение климата, ставшее причиной деградации ледникового покрова, привело к многократному увеличению увлажненности и обводненности смежных территорий, что в свою очередь обусловило кардинальную перестройку рельефа. В относительно короткое время произошло заложение новой гидрографической сети и переустройство внутрибассейновых водосборов. Одновременно со сменой (сменами?) климата территории, сложенные ледниковыми, водно-ледниковыми и эоловыми отложениями, оказались под воздействием "новых" экзогенных геоморфологических и геологических процессов. Формы земной поверхности, образованные в гляциальных и перигляциальных условиях, подверглись экзогенной моделировке уже в условиях гумидного климата со всеми вытекающими из этого последствиями для "не правильного" рельефа. На первый план в рельефоформировании стали выходить флювиальные процессы, определившие направленность и последовательность смены ТМ.

К районам, в которых проходила постледниковая ("зональная") смена ТМ, относится северная часть Пермского Прикамья, включающая в себя большую часть бассейна верхней Камы. В настоящее время одним из

самых распространенных элементов ландшафта в бассейнах ее главных притоков (Весляны, Косы, Южной Кельтмы, Пильвы, Сумыч), а также некоторых участков расширения долины самой Камы от п. Гайны до п. Бондюг являются массивы верховых болот. Широкое распространение получили озерно-болотные отложения, выполняющие днища обширных депрессий среди ледниковых и водно-ледниковых отложений, перекрывающих склоны водоразделов.

В качестве объекта изучения смены ТМ была выбрана южная часть Кельтминской ложбины. Особое внимание было уделено отложениям, вскрытым ручным бурением в болотных массивах. Выбор мест проведения отбора проб на палинологический и радиоуглеродный анализы осуществлялся по результатам дешифрирования космических снимков и проведения георадарной съемки. По результатам исследований были выявлены точки опробований и рельеф минерального основания торфяной толщи. Были установлены местоположение элементов древней гидрологической сети и контуры древних озерных водоемов, являющихся вместилищем озерно-болотных отложений. Целью отбора проб на палинологический и радиоуглеродный анализы является определение временных рамок смены ТМ в Кельтминской ложбине. По предварительной оценке, смена *озерного* типа морфолитогенеза *биогенным*, являющимся ведущим в бассейне верхней Камы до настоящего времени, произошла в начале пребореала. На месте заиленных озер формировались торфяные болота. По материалам бурения зеленовато-серые илы позднего триаса (11848 л. н. кал., IGAN-8762) выше по разрезу замещаются черно-синими илами, перекрытыми выше сапропелем разной расцветки (10525 л. н. кал., IGAN-8761; 8688 л. н. кал., IGAN-8760) и разложившимся торфом (4255 л. н. кал., IGAN-8757; 3415 л. н. кал., IGAN-8756).

Е.А. Никитина, И.В. Никонорова, А.А. Ильина, В.Н. Ильин
Чувашский государственный университет им. И.Н. Ульянова

ПРОБЛЕМЫ ИЗУЧЕНИЯ РУСЛОВЫХ ПРОЦЕССОВ НА МАЛЫХ РЕКАХ ЧУВАШСКОЙ РЕСПУБЛИКИ

Проблемы русловых процессов на реках и развития овражно-балочной сети на территории Чувашской Республики тесно связаны с хозяйственной деятельностью. Гидротехническое строительство на реках и интенсивное развитие агролесомелиоративных и сельскохозяйственных работ в бассейнах рек оказывают возрастающее влияние на русловые процессы. Под последними, как известно, понимаются изменения морфологического строения речных русел и речных долин.

Малые реки Чувашии с точки зрения русловых процессов исследовались в меньшей степени, чем средние и крупные, хотя в последнее время интерес к ним заметно возрос из-за их заиления и деградации. Именно эти явления оказываются в сфере внимания исследователей. Актуален вопрос и

в связи с возможностью использования долин рек в качестве экокоридоров при проектировании экологического каркаса региона. Кроме того, в Чувашской Республике после 90-ых гг. 20 в. осталось большое количество заброшенных малых гидротехнических сооружений, созданных в свое время не только для регулирования водоснабжения, но и для борьбы с овражной эрозией. Вопросы морфологии и динамики русел малых рек, составляющих большую часть общей длины всей русловой сети в регионе, оказались не достаточно исследованными и освещение их в литературе требует дальнейшего развития.

В Чувашии малые реки составляют большую часть от всех водотоков и протекают в различных физико-географических и антропогенных условиях. Поддерживая равновесие и перераспределение влаги, малые реки выполняют функцию регулятора водного режима ландшафтов, определяя также гидрологическую и гидрохимическую специфику более крупных рек.

Цель работы – выявить закономерности динамики и характерных особенностей формирования русел и долин малых рек в лесостепной зоне в границах Чувашской Республики, обосновать необходимость учета процессов в руслах при строительстве инженерных сооружений и коммуникаций. Достижение данной цели предполагает решение следующих задач: 1. Провести морфометрические исследования рек, используя картографический материал разных лет; 2. Разделить реки на группы по длине и стадиям развития их русел; 3. Выявить закономерности формирования речных долин на изучаемой территории; 4. Изучить влияние внешних факторов на русловые деформации.

Изучение морфологии, динамики и закономерностей развития русел малых рек являются одним из важнейших, но наименее исследованных вопросов для освоения и рационального использования водных ресурсов. Для получения динамики длин рек и антропогенных изменений ландшафта их бассейнов использовались картографические, графические, фотографические, цифровые и текстовые источники разных лет. Все водотоки Чувашии были разделены на пять групп: 1) до 1 км, 2) от 1 до 3 км, 3) от 3 до 5 км, 4) от 5 до 10 км, 5) более 10 км. По полученным данным были построены диаграммы, которые показывают, что более 50% рек на территории изучаемого района имеют протяженность до 3 км. Эти реки являются верхними звеньями гидрографической сети; чаще всего это временные водотоки, обладающие наибольшей динамикой. Их число увеличивается за счет перехода рек из групп с протяженностью более 3 км в группы до 3 км, а также в результате развития овражно-балочной сети.

Отмечено, что русла рек протяженностью более 20 км меандрируют с образованием новых излучин и озер-стариц. Вблизи населенных пунктов происходит активное берегообрушение и наступление русла на хозяйственные застройки. Это объясняется возрастающей антропогенной нагрузкой. С середины 20 в. многие реки степной зоны регулируются плотинами или превращены в каскады прудов, кроме этого русла спрямлены антропогенно для сельскохозяйственных нужд.

Мелкие реки и ручьи, собирающие более мелкие водотоки, стекают с водоразделов (180-200 м), базисом эрозии для которых является местная река с отметками уреза воды – 100-150 м. В этих водотоках преобладает глубинная эрозия. Данные водотоки находятся на стадии молодости. Их коэффициент извилистости минимален, долина не выработана.

У рек протяженностью более 10 км по ее длине могут наблюдаться несколько стадий развития. В верхнем течении - стадия молодости, где развита глубинная эрозия, в среднем течении, с появлением излучин и пойм, переход к стадии старости и в нижнем течении, где преобладает боковая эрозия – стадия зрелости.

Таким образом, наибольшие изменения в длине испытывают реки длиной меньше 3 км, они превращаются в суходолы или, вскрывая грунтовые воды, увеличиваются в длину. Являясь важной образующей более крупных рек, они влияют на динамику принимающих водотоков. Развитие овражно-балочной сети обусловлено подстилающими горными породами, среди которых преобладают песчано-глинистые отложения, алевриты и мергели пермской системы, а также неглубоким залеганием водоносных горизонтов (в среднем 3-5 м).

Из-за их заиления и деградации, исследования процессов в руслах малых рек имеют большое практическое значение при прокладке через них коммуникаций, реализации мероприятий по борьбе с овражной эрозией, решении вопросов водоснабжения территорий. Полученные данные будут использованы для реконструкции большого числа заброшенных малых гидротехнических сооружений на реках Чувашской Республики и рекомендаций по оптимизации их функционирования, регулированию стока воды и наносов, формированию русел водотоков.

М.С. Осипова, А.П. Жидкин, Н.Н. Иванова, В.Н. Голосов

*Почвенный институт им. В.В. Докучаева, Московский Государственный
Университет имени М.В. Ломоносова*

ВЕРИФИКАЦИЯ ЭРОЗИОННЫХ МОДЕЛЕЙ НА ОСНОВЕ РЕЗУЛЬТАТОВ ПОЛЕВЫХ ОЦЕНОК ЭРОЗИИ И АККУМУЛЯЦИИ НА МАЛОМ ВОДОСБОРЕ В КУРСКОЙ ОБЛАСТИ*

Применение современных эрозионных моделей для оценок средне-многолетних темпов эрозии почв на пашне при крупномасштабных исследованиях позволяет определить не только потери почв при формировании поверхностного стока воды, но и оценить пространственное распределение участков смыва и аккумуляции внутри исследуемого участка. Большинство верификаций подобных моделей основаны на результатах оценки суммарного выноса наносов за пределы конкретного водосбора, что не позволяет с

* Работа выполнена за счет средств гранта РНФ (проект № 22-17-00071) и по плану НИР (ГЗ) научно-исследовательской лаборатории эрозии почв и русловых процессов им. Н.И. Маккавеева МГУ имени М.В. Ломоносова)

достаточной уверенностью судить о степени достоверности результатов расчётов в части отражения местоположения участков с различной интенсивностью смыва и аккумуляции. Цель данного исследования состояла в определении точности расчётных данных по перераспределению наносов на малом полевом водосборе Спокоевка, расположенном в бассейне р. Воробжи, левобережного притока р. Сейм, примерно в 20 км к югу от г. Курск. Они были получены на основе расчётов ливневого смыва с использованием эрозионной модели WATEM/SEDEM и талого смыва на основе модифицированной версии модели ГГИ. Набор полевых методов, использованных для определения объёмов смыва и аккумуляции в пределах исследуемого малого водосбора, включал почвенно-морфологический метод, крупномасштабное геоморфологическое картирование и радиоцезиевый метод. Для оценки аккумуляции наносов в залуженном днище балки с использованием радиоцезиевого метода в шести разрезах, характеризующих различные участки днища, определялись скорости аккумуляции за два временных интервала: 1954-1986 и 1986-2020 гг. Кроме того, на основе почвенно-морфологического метода определялась суммарная мощность стратозёмов в днище балки на основе дополнительного бурения в местах заложения разрезов. По результатам полевого геоморфологического картографирования выделялись различные элементы рельефа водосбора, а также границы обрабатываемых земель. В пределах междулучной части водосбора, занятого пашней, на основе ЦМР высокого разрешения были выделены границы склоновых водосборов ложбин и отделяющие их друг от друга склоны различного типа. При выделении этих границ дополнительно учитывалось влияние сети грунтовых дорог. Почвенно-морфологический метод был использован и для оценки степени эродированности почв и выявления участков намытых почв в пределах пашни. Дополнительно были собраны и проанализированы доступные картографические материалы за период с конца 18-века, позволившие оценить общую продолжительность распашки данного водосбора.

Результаты расчётов среднегодовых потерь почвы на пашне, переотложения наносов внутри водосбора и выноса материала за его пределы с использованием эрозионных моделей, выполненные для двух временных интервалов (1986-2020 гг. и весь период земледельческого освоения) показали удовлетворительную сходимость с аналогичными оценками, выявленными на основе совместного использования полевых и аналитических методов. В пересчёте на среднегодовые потери расчётные величины потерь почв за счёт смыва на пашне превысили фактические, определённые почвенно-морфологическим методом на 13-26% в зависимости от принципа выделения почв различной степени смытости. Оценки расчётной среднегодовой массы почвы, вынесенной за пределы пашни, также незначительно отличаются от величин потерь, полученных на основе применения почвенно-морфологического метода. Точность оценок массы наносов, переотложившейся в днище балки несколько ниже, так как расчёты по модели WATEM/SEDEM показывают прерывистое расположение зон аккумуляции в днище, что не отражает фактическую ситуацию. Но при этом расчётная

величина коэффициента доставки наносов в принимающую сток из данного водосбора долину, составившая 13%, вполне соответствует имеющимся представлениям о соотношении процессов эрозии и аккумуляции в пределах водосборов подобного типа (Голосов, 2006). Важно отметить, что в расчётах ливневого смыва учитывается также и переотложение наносов на задернованных бортах балки, количественно оценить которое на основе полевых методов достаточно затруднительно из-за высокой пространственно-временной неравномерности, но которое, несомненно, происходит и неоднократно фиксировалось при наблюдавшихся эрозионных событиях. На точность оценок суммарных потерь почвы, полученных на основе расчётов по эрозионным моделям, влияет также, что модифицированная модель ГГИ не позволяет рассчитывать аккумуляцию наносов на пашне и за её пределами в период формирования талого стока.

К. М. Панышева¹, В. Г. Пальмов¹, С.Д. Дегтярев¹, М. А. Самохин²

¹Институт Гипростроймост, ²Московский государственный университет имени М. В. Ломоносова

АНТРОПОГЕННЫЕ ВОЗДЕЙСТВИЯ НА РУСЛОВЫЕ ПРОЦЕССЫ В РАЙОНЕ МОСТОВОГО ПЕРЕХОДА НА р. АМУРЕ У СЕЛА НИЖНЕЛЕНЕНСКОЕ

Одной из основных задач в процессе проектирования мостового перехода через р. Амур у с. Нижнелененское являлась оценка развития русловых деформаций в условиях антропогенного воздействия.

Важнейшей особенностью плановых очертаний русла является ярко выраженная левосторонняя излучина длиной около 17 км. Излучина имеет слегка асимметричную форму с относительно пологим верховым (по течению реки) крылом и более крутым изгибом в низовой части, где она прижимается к надпойменной террасе. Створ мостового перехода расположен в вершине излучины. Во второй половине XX в. левый берег был частично укреплен, что послужило стабилизации планового положения береговой линии.

По результатам съёмки русла 2007 г. в вершине излучины находился узкий плес, длиной около 3 км и шириной до 150-200 м. Наибольшие глубины плеса приурочены к верховой и низовой частям с отметками дна 31,2-31,6 м БС, а в средней части плеса отметки дна составляли 33,4-33,5 м БС. Прошедший в 2013 году экстремальный паводок (обеспеченностью 0,6%) не привел к существенным русловым деформациям. Сопоставление русловых съёмок 2007 и 2016 гг. показало небольшое увеличение глубин в русле, что может быть связано с переотложением наносов на спаде паводка 2013 г.

В период 2013-2016 гг. в пределах правобережной поймы были возведены опоры мостового перехода, временный мост и ряд дамб, что снизило ее пропускную способность. Кроме того, частично укреплен осередок, расположенный в 1,2 км выше по течению относительно проектируемого моста.

Строительство этих временных и постоянных сооружений привело к перераспределению стока в левую часть русла и увеличению скорости течения.

В 2016 году началось строительство российской части мостового перехода. К этому моменту большая часть мостового перехода с китайской стороны была построена, однако, временные сооружения и насыпи подъездных дорог разобраны не были. Временное шпунтовое ограждение для сооружения опоры российской части моста, которая расположена на динамической оси потока, возведено в июле 2017 года.

Сопоставление съемки 2016 г. и контрольных промерных работ 03.08.2017 г. позволило выявить снижение отметок дна на участке р. Амур выше по течению относительно створа проектируемого перехода (вне зоны его влияния) на 0,5-1,5 м. В то же время низшая отметка дна русла непосредственно у шпунтового ограждения данной опоры составила 16,5 м БС. Глубина воронки местного размыва, сформированной за несколько месяцев, превышала 15 м, что на 11 м ниже глубины суммарного размыва, определенной на стадии проектирования. Частично причина таких значительных размывов обусловлена отклонением от проектных решений временных сооружений (изменение формы шпунтового ограждения с двугранного угла на прямоугольную).

По результатам анализа не выявлена связь столь значительной глубины размыва у рассматриваемой опоры и наблюдаемых отметок паводков. Обеспеченность пиковых уровней воды 2014-2017 гг. не превышала 50%. Измерения, выполненные в августе 2017 г., показали, что средняя скорость течения в подмостовом пространстве составила 2,2 м/с, что больше расчетной бытовой скорости течения обеспеченностью 10% равной 1,3 м/с.

Основными причинами сложившейся ситуации являются сосредоточенный размыв, вызванный природными (за счет роста осередков на правом берегу и развития плесовых лощин на левом берегу) и антропогенными факторами (устройство временных островов, насыпи дороги к этому мосту с китайской стороны, русловыправительные сооружения, строительство временного моста, опоры которого создали повышенное сопротивление течению воды), а также принятие неоптимальной конструкции шпунтового ограждения. В дополнение размыв усилился в процессе сооружения временного полуостровка на левом берегу. Следует отметить, что согласно проекту полуостровок должен был быть разобран на момент работ в русле реки.

Для устранения сложившейся ситуации был разработан комплекс мероприятий по борьбе с сосредоточенным и местным размывом, включающий засыпку ямы местного размыва до отметки 30,0 м БС камнем диаметром 0,30-0,50 м (до разборки шпунтового ограждения) и досыпку защитного островка камнем со средним диаметром 0,25-0,3 м до отметки 35,4 м БС (после разборки шпунтового ограждения).

Проведенные мероприятия по отсыпке защитного острова у опоры моста привели к снижению интенсивности русловых деформаций на российском участке. Однако, антропогенные воздействия в процессе эксплуатации требуют постоянного мониторинга русловых деформаций, в том числе и с китайской стороны.

А.И. Петелько

Новосильская зональная агролесомелиоративная опытная станция – филиал ФНЦ агроэкологии РАН

ПОВЕРХНОСТНЫЙ СТОК ТАЛЫХ ВОД В САДУ НА СКЛОНАХ

Защита почвы от водной эрозии обязывает землепользователей проводить эффективные мероприятия по сохранению почвенного плодородия. Научкой и передовой практикой доказано, что эрозию почв можно предотвратить. Более чем вековой опыт работы Новосильской агролесомелиоративной опытной станции им. А.С. Козменко в Орловской области наглядно показывает, что применение противозрозийного комплекса в условиях сложного рельефа практически прекращает оврагообразование, резко уменьшает смыв и размыв почвы, повышает продуктивность эродированных земель.

Проблема задержания и регулирования стока талых и ливневых вод в садах на серых лесных почвах центральной лесостепи недостаточно изучена, меры борьбы с водной эрозией разработаны слабо. Перед нами была поставлена задача исследовать влияние наиболее эффективных агротехнических приемов на уменьшение поверхностного стока талых вод и эрозию. Работа выполнялась на Новосильской опытной станции.

Полевые опыты со стоковыми площадками были заложены в Бугровском саду. Он расположен на склонах южной и юго-восточной экспозиций, примыкающих к правому берегу Глубковского суходола. Площадь сада 50,6 га, крутизна склонов варьирует от 1,6° до 7,5°.

До посадки яблонь сад разделили на кварталы садозащитными лесными полосами. Межквартальные 2-3 рядные лесополосы состояли из березы повислой, клена остролистного. Сеянцы сажали 3,5×0,5-1,0 м. Длина садозащитных межквартальных полос 300 м, ширина 7,0 и 10,5 м. Почвы в саду серые лесные, разной степени смытости. По механическому составу почвенные разности можно отнести к средним и тяжелым суглинкам, с преобладанием пылевато – песчаных фракций в горизонте А и иловато-пылеватых в горизонте В. Высокое содержание пылеватых и песчаных частиц в пахотном слое свидетельствует о его распыленности и слабой оструктуренности. С увеличением смытости почвы наблюдается утяжеление механического состава как пахотного, так и подпахотного горизонта, что связано с вовлечением в распашку иллювиального горизонта.

Объемная масса пахотного слоя составляет 1,24-1,30 г/см³, что свидетельствует о его уплотнении. Наблюдается такая закономерность: чем больше почва содержит гумуса, тем меньше объемная масса и плотность твердой фазы почвы.

Порозность почвы в пахотном слое составляет 51-53%. В иллювиальном горизонте с возрастанием значений объемной массы и плотности твердой фазы почвы порозность снижается до 44-47 %.

Задачей настоящей работы является изучение стока талых вод, смыва почвы и других процессов на различных агротехнических агрофонах с целью усовершенствования мероприятий по регулированию и защите почв

от водной эрозии, обеспечивающих повышение почвенного плодородия [Петелько, 1976; Сурмач, Петелько, Куницкий, 1978; Петелько, 1978].

Эрозионно-гидрологические показатели за многолетний период приведены в таблице.

Таблица. Средние показатели водного баланса и смыва почв в саду на склоне

Агротехнический фон	Кол-во лет наблюдений	Н	П	С	К	P ₁	P ₂
Зяблевая вспашка поперек склона (контроль)	7	109	69	40	0,395	3,2	7,7
Зяблевая вспашка вдоль и поперек склона	7	104	66	38	0,389	1,8	5,8
Зяблевая вспашка поперек склона (контроль)	4	136	85	51	0,409	2,9	6,7
Зяблевая вспашка поперек склона + лункование	4	141	78	63	0,457	1,9	4,7
Зяблевая вспашка поперек склона (контроль)	3	82	49	33	0,420	3,1	8,6
Зяблевая вспашка поперек склона + канава с валом	3	81	68	13	0,170	0,06	7,2
Зяблевая вспашка поперек склона + залуженная садовая полоса	3	80	55	25	0,339	0,2	7,6
Зяблевая вспашка поперек склона + залуженная садовая полоса + канава с валом	3	75	70	5	0,067	0	6,4
Залуженная садовая полоса (контроль)	3	85	58	28	0,47	0	0
Залуженная садовая полоса + канава с валом	3	93	0	0	0	0	0

Примечание: Н – запасы воды в снеге + осадки за период снеготаяния, мм; П – просочилось воды в почву, мм; С – сток, мм; К – коэффициент стока; P₁ – смыв почвы по твердому стоку, т/га; P₂ – смыв почвы по водороннам, м³/га.

Наблюдения на стоковых площадках показали, что сток талых вод за 7 лет на двух вариантах зяблевой вспашки составил 40 и 38 мм. На перекрестной зяби сток талых вод на 2 мм меньше, что объясняется большей площадью рыхления почвы (см. табл.)

Четырехлетние данные по лункованию зяби в междурядьях сада свидетельствует о том, что этот прием, в связи с дополнительным уплотнением почвы, способствовал значительному увеличению поверхностного стока на 12 мм по сравнению с контролем.

На варианте зяби+канава с валами произошло сокращение стока на 20 мм, значительно уменьшился смыв почвы по твердому стоку по сравнению с зяблевой вспашкой поперек склона (контроль).

На зяби с залуженной садовой полосой средний сток за 3 года составил 25 мм, смыв почвы по твердому стоку незначительный. На таком же варианте с канавой и валом произошло задержание талой воды канавой и валом. По интенсивности средний сток талых вод был очень слабый – 5 мм.

На залуженной садовой полосе трехлетний сток достиг 28 мм, смыва не наблюдалось.

На агрофоне залуженной садовой полосы с канавой и валом весеннего стока и смыва почвы не было [Петелько, 1978; Петелько, 1979; Коломейченко, Петелько, Крупчатников, 2000].

Таким образом, научные исследования за ряд лет показали, что простейшие гидротехнические сооружения (канава с валом) на разных агрофонах способствовали сокращению стока талых и уменьшению смыва почвы.

На варианте залужения садовая полоса + канава с валом за 3 года наблюдений смыва почвы не наблюдалось, поверхностный сток отсутствовал.

А.И. Петелько

Новосильская зональная агролесомелиоративная опытная станция им. А. С. Козменко – филиал ФНЦ агроэкологии РАН

ЗАЩИТНЫЕ ЛЕСНЫЕ НАСАЖДЕНИЯ

Водная эрозия наносит большой вред сельскому хозяйству и другим отраслям народного хозяйства. Происходит смыв и размыв почвы, образуются овраги, заиливаются реки, водоемы, озера. Защита почв от водной эрозии является сложной. Наибольшее распространение эрозионные процессы имеют в районах с выраженным рельефом, где территория расчленена гидрографической сетью – балками (суходолами), разными долинами и изрезана оврагами.

Для решения этих вопросов Новосильская опытная станция, которой в 2021 году исполнилось 100 лет со дня основания, разработала и применила на практике комплекс противоэрозионных мероприятий: организационно-хозяйственных, агротехнических, лугомелиоративных, гидротехнических и лесомелиоративных. Среди них важное место отводится защитным лесным насаждениям. Большая часть насаждений расположена на прибалочных склонах и крутых берегах гидрографической сети со смывыми и недоразвитыми почвами [Каргов, 1972].

Система лесомелиоративных мероприятий включает полезащитные, стокорегулирующие, садозащитные, прибалочные, приовражные лесные полосы, овражно-балочные насаждения, лесополосы вдоль дорог, рек, вокруг прудов и водоемов, насаждения на песках, пастбищах, в населенных пунктах и полевых станах. На пашне защитные лесные насаждения размещают с учетом рельефа местности, а на деформируемых почвах учитывают направление господствующих ветров, увязывая их с размещением полей севооборотов.

В лесостепной зоне создают полезащитные лесные полосы продуваемой конструкции из трех – четырех рядов, одной главной породы деревьев и сопутствующих пород. Ширина междурядий 2,5-3,0 м, расстояние в ряду между сеянцами 1,0 - 1,5 м.

Стокорегулирующие лесополосы закладывают шириной не более 15 м с междурядьями 2,5-3,0 м, в рядах – 1,0-1,5 м, из одной или нескольких пород чистыми рядами. С верхней стороны полосы при необходимости высаживают один ряд кустарников.

Прибалочные и приовражные лесные полосы создают шириной 12,5-21,0 м. Главные, сопутствующие и кустарниковые породы высаживают частыми рядами с размещением 2,5×1,0 м или 3,0×1,0 м. Со стороны поля

размещают обычный кустарник, а со стороны бровки оврага – корнеотпрысковые (терн, вишня степная, облепиха и т.д.).

Подготовка почвы под лесные насаждения проводится по системе черного пара или раннего пара на глубину 27-30 см с последующим безотвальным рыхлением или перепашкой осенью на 35-40 см. На малозасоренных почвах допускается зяблевая вспашка.

Перед началом работ по созданию защитных лесных насаждений на том или ином гидрографическом стволе определяют площади, на которых необходимо выполнить следующие работы:

- выколаживание оврагов глубиной до 5 м и устройство водоотводящих валов;
- засыпка промоин с устройством перемычек;
- устройство водоотводящих валиков, распылителей стока, донных запруд и т.д.;
- отсыпка откосов оврагов свыше 5 м и устройство водоотводящих валов.

Выколаживание и отсыпка оврагов позволяет в определенной степени механизировать работы по облесению и обеспечивает создание лучших условий для роста древесных и кустарниковых пород.

Лесные насаждения должны отвечать следующим требованиям:

- быть типичными для данной зоны по породному составу, конструкции, размещению деревьев и др.;
- размещение по горизонталям или приближаясь к ним.

Наряду с созданием чистых полезащитных полос из березы, дуба, лиственницы, тополя, сосны и других пород эффективны смешанные насаждения, например дуб с березой, береза с тополем. При этом хорошие показатели по росту и влиянию на определенную территорию дают трехрядные насаждения. В качестве сопутствующих можно ввести липу, клен остролистый, лещину и др. В узких полосах формируют ажурную и ажурнопродуктивную конструкции. Эти насаждения обеспечивают оптимальное накопление твердых осадков и хорошее распределение их на поле. Кустарники способствуют формированию плотной конструкции, что приводит к накоплению большого количества снега и как следствие выпреванию, вымоканию посевов озимых, задержке полевых работ [Сурмач,1973; Петелько, 2012]. На станции испытывалось более 100 древесных и кустарниковых пород. По агролесомелиоративному устройству имеется 779 га лесных насаждений, в том числе 307 га насаждений искусственного происхождения и 472 га естественных лесов. Естественные леса представлены преимущественно самооблесившимися в военные и первые послевоенные годы залежами, а также куртынными насаждениями на пастбищах, берегах и откосах размывов. Общая лесистость территории опытной станции в современных границах - 15,2 %, в том числе в пределах старой территории – 22,6%.

Территория Новосильской ЗАГЛОС представлена склонами различных экспозиций. Коэффициент расчленения территории древней гидрографической сетью составляет 1,36 км/км² [Гаршинев,2002]. Наибольшее

распространение получили склоны выпуклой, реже прямой и вогнутой формы. Длина и крутизна их различна.

Таким образом, правильное проведение организационно – хозяйственных мероприятий при внутривозвратном землеустройстве является надежным каркасом защиты почвы от водной эрозии, улучшает микроклимат и экологическую обстановку.

Н.Ф. Петров, И.В. Никонорова, С.П. Вдовенков, А.Л. Прохоров
Чувашский государственный университет имени И.Н. Ульянова

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)

На территории Чувашии и за её пределами к опасным для строительства относятся склоны долин крупных рек (Волги, Суры) и их многочисленные притоки – малые рек, балки и овраги. Это особенно касается г. Чебоксары – города "на семи холмах", на междуречье веерообразно расходящихся малых рек – Чебоксарки, Кайбулки, Трусихи, Сугутки и др., долины которых являются местом современного активного строительства. В связи с этим на этой территории проводятся инженерные изыскания для обеспечения надежной устойчивости объектов.

По опыту изысканий, выполненных в Чувашии в различные годы (МГУ им. Ломоносова, институты Гидропроект, Гипрокоммунстрой (Москва), Чувашгипроводхоз, ЧувашТИСИЗ и др.) данная задача решалась наиболее надежно и убедительно в тех случаях, когда устойчивость обосновывалась не столько геотехническими расчетами, сколько историко-геологическим и палеогеоморфологическим анализом развития долин рек и их склонов.

Разработанной нами методологией, как наиболее объективной и прогрессивной, мы пользуемся с различным успехом с 70-ых годов прошлого века. С её помощью были геологически обоснованы десятки проектов строительного освоения оползнеопасных склонов долин малых в Молдавии рек (Бык, Икель, Реут и др.), а в Чебоксарах – при проектировании многоэтажной застройки 4-го и 6-го микрорайонов "Центр" и монумента "Матери" на оползневых склонах левобережья р. Чебоксарки, противооползневых мероприятий (ПОМ) в правобережье Волги для защиты монумента "Славы" (1998-2000 гг.), при строительстве трех очередей 30-й автодороги на оползневых склонах рек Трусихи, Чебоксарки (2000-2018 гг.) и др., которые давно осуществлены и нормально функционируют.

Достоинство данного метода: он позволяет представить в геологическом времени, на фоне закономерной смены глобальных климатических условий (ледниковых, межледниковыми и обратно) этапы формирования

долины данной реки, геометрические параметры ее террас и склонов, конкретно судить по последним о скоростях и величинах углублений и расширений (донной и боковой эрозии) долины, а по фациальному составу и строению отложений террас – о видах рельефообразующих процессов (смыв, осыпь и обвал, оползень, солифлюкция и др.), об их роли и интенсивности в прошлом и в прогнозном будущем. Без такой информации невозможны геологически обоснованные корректные расчетные модели склонов долин данных малых рек.

Судя по количеству террас (не более 3–4), их строению и взаимоотношениям между собой возраст малых рек не древнее среднего неоплейстоцена (днепровского ледникового, около 250 тысяч лет), хотя в междуречье Чебоксарки и Волги возраст исходной приводораздельной поверхности в пределах отметок от 100 (цоколи погребенных балок с ачкагыльскими черными глинами) до 140 м не менее 2-х млн. лет. В бассейне р. Сугутки признаки плиоценовой поверхности не встречены, и возраст поверхности коренных пород междуречья можно считать с учетом лёссового покрова московским. Палеогеографическим анализом особенностей развития левобережного склона долины р. Сугутка с целью оценки его пригодности для многоэтажного жилищного строительства, выполненного в 2021 г., была доказана невозможность возникновения здесь подошвенных оползней. Развивались только локальные неглубокие оползни пластического течения, менее опасные для капитального строительства.

Проведенные изыскания позволили впервые выделить в развитии долины малой реки после днепровского оледенения четыре этапа, тесно связанных с неотектоническими и климатическими (ледникового-межледникового) условиями Среднего Поволжья в антропогене. Из них в нижние два этапа (московский – 3-я, и калининский – 2-я террасы) происходило углубление долины почти на 45 м, что не могло не сопровождаться активизацией оползневых процессов особенно в пределах тыловых швов террас. Третий этап (скорее калининский) – активная солифлюкционная денудация, покрывшая нижнюю половину склона и днище долины слоем отложений мощностью 2–3 м. На 4-ом аккумулятивном этапе на нем формируется 1-я, осташковская терраса мощностью до 10 м, пригрузив склон и делая невозможным глубокие оползневые деформации. Данная терраса, как и 3-я, завершается лёссонакоплением. В результате весь склон оказался с поверхности лёссовым, очень пологим, влагоемким на сплошном местном водоупоре из татарских глин. На 5-м, голоценовом, этапе склон не претерпел существенных изменений параметров, и его напряженно-деформационное состояние осталось устойчивым. Что же касается покровных водонасыщенных лёссовых пород, периодически очень медленно сползающих вязкопластически на склоне, они могут быть стабилизированы водопонижением по мелиоративным проектам.

Таким образом, палеогеографический анализ развития склона малой реки убедительно доказал общую его устойчивость и возможность стабилизации покровных образований мелиоративными мероприятиями.

Е.В. Промахова

Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова

ПРОЯВЛЕНИЕ ЭРОЗИОННЫХ И РУСЛОВЫХ ПРОЦЕССОВ В ПРИЭЛЬТОНЬЕ*

Озеро Эльтон расположено на севере Прикаспийской низменности на высоте –17 м, бессточное, высокоминерализованное – 200–500‰ [Измайлова, 2015], самосадочное, его площадь 152 км². Находится на левобережье Волги в 160 км к северо-западу от Волгограда. В озеро впадает 7 малых рек (самая большая из них Хара, её длина 40 км, площадь бассейна 950 км²), а также множество оврагов, балок, в которых встречаются выходы грунтовых вод. Вода в реках солёная и солоноватая [Зинченко и др., 2021]. Суммарная площадь озёрного водосбора по нашим данным 1970 км², густота речной сети 0,05 км/км², его большая часть относится к биосферному резервату "Эльтонский" [Калюжная и др., 2019].

Окрестности озера существенно отличаются от равнинных ландшафтов Прикаспия благодаря солянокупольной тектонике. Всего в Прикаспийской низменности наряду с Южным Предуральем насчитывается около 3000 сводов соляных поднятий (помимо Эльтонского купола наиболее крупные из них Баскунчакский, Челкарский, Индерский, Илецкий), самые активные из них поднимаются со скоростью 0,5–1 мм/год [Петрищев, 2007], по другим оценкам со скоростью 9–14 мм/год [Кузнецова, 2000]. Эльтон окружён соляными куполами с северо-востока (гора Улаган, высота 68 м), с запада (Преснолиманская возвышенность, наибольшая высота 43 м) и с юга (Южно-Эльтонское поднятие, высота до 30 м) [Рулёв и др., 2017], чаша озера является их компенсационной мульдой (прогибом). В результате перепад высот достигает 85 м, что является аномалией для плоско-западного окружающего рельефа.

Несмотря на большой интерес учёных к самому озеру ещё со второй половины XVIII века в первую очередь благодаря месторождению соли [Моников, Судаков, 2011; Широкова, 2010; Гроховский, 1972], реки, впадающие в него, остаются практически неизученными. На региональных гидрологических и эрозионно-русловых картах на эту территорию либо экстраполированы значения окружающей равнины, либо она вовсе является белым пятном [Ресурсы поверхностных..., 1971; Основные гидрологические..., 2015; География овражной..., 2006; Эрозионно-русловые..., 2017 и др.]. Задачей исследования является изучение эрозионных и русловых процессов в Приэльтонье.

Реки, впадающие в Эльтон, протекают в большинстве своём в адаптированных условиях, русла преимущественно меандрирующие. Периодически встречаются относительно прямолинейные участки, их наличие как правило связано с увеличением энергии потока: при повышении уклонов русла

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

(характерно для приустьевых участков, где реки выходят в котловину озера) и при концентрации стока воды ниже мостов и земляных дамб. В случае с прудами эффект усиливается из-за недостатка наносов ниже по течению.

В верховьях водосборов сток воды носит эпизодический характер, на пологих участках он осуществляется по временной довольно разветвлённой русловой сети, которая имеет древовидный рисунок. При увеличении эрозионного вреза в среднем и нижнем течении рек борта их долин прорезают многочисленные балки и овраги преимущественно прямолинейного характера, рисунок временной русловой сети приобретает более простую иерархическую структуру. На участках с пологим рельефом и для рек с меньшим эрозионным врезом расчленённость речных долин снижается (рр. Малая Сморогда, Карантинка на юго-восточном побережье Эльтона, в меньшей степени рр. Чернавка, Солянка к северу-западу от озера).

К основному антропогенному воздействию на эрозионно-русловую сеть бассейна Эльтона относятся пруды, образованные преимущественно глухими земляными плотинами, их сооружают в конце весеннего половодья для нужд сельского хозяйства, при наступлении следующего половодья они размываются. Это явление получило широкое распространение в южных районах Заволжья [Ресурсы поверхностных..., 1971]. При анализе топографических карт и спутниковых снимков среди прудов встречаются как постоянно действующие, так пересыхающие в маловодную фазу или не функционирующие (в результате заиливания, размыва дамб). Наибольшее сосредоточение прудов находится на реках вблизи посёлка Эльтон: в долине Большой Сморогды расположено шесть земляных дамб, две из них не функционируют, так как речной поток в обход них проложил новое русло; на Малой Сморогде из семи прудов, дамбы разрушены на трёх. На Харе и её притоках насчитывается шесть действующих дамб и четыре разрушенных. На Ланцуге в верхнем течении, где сток наблюдается эпизодически, расположен один пруд. На оставшихся реках (Чернавка, Солянка, Карантинка) прудов нет.

Существенные эрозионные врезы являются другим следствием деятельности человека. На Большой Сморогде они расположены со стороны верхнего течения вдоль насыпей автомобильной и железной дорог, из-за которых происходит перехват и концентрация поверхностного стока, а также вдоль просёлочных дорог, пересекающих долину реки, длина таких врезов достигает 400 м. Перевыпас скота усиливает линейную эрозию по берегам озера и долинам рек, на эту проблему ещё в начале XX века обращал внимание П.А. Можайкин (1915). К другим видам антропогенной нагрузки, вызывающим эрозию почв, относятся распашка земель и пожары [Калужная, 2007; Кулик и др., 2017].

Таким образом, для Приэльтона характерно активное развитие эрозионных и русловых процессов. Это вызвано рядом факторов: геологическими (направленным на увеличение перепада высот), геоморфологическими (поверхность Северного Прикаспия покрыта хвалынскими легкоразмываемыми суглинистыми отложениями), антропогенными и климатическими (к концу XX века количество и интенсивность летних осадков в регионе увеличились на 30% [Сотнева, 2004]).

РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ИНТЕНСИВНОСТИ СМЫВА ПОЧВО-ГРУНТОВ В БАССЕЙНАХ ГОРНЫХ РЕК ПО ВЫСОТНЫМ ЗОНАМ

В результате глобального изменения климата, протекающего в мировом масштабе, наблюдается увеличение площади аридных территорий с повышенной интенсивностью эрозии почв. Сегодня усовершенствование методов оценки интенсивности смыва почвогрунтов с поверхности водосборов горных рек и, на этой основе, проектирование ирригационных систем, гидротехнических сооружений и других инженерных коммуникаций, их строительство и эффективная эксплуатация, в будущем поэтапное освоение земельно-водных и водно-энергетических ресурсов горных территорий аридных стран, а также разработка перспективных планов их оптимального использования, являются актуальными вопросами.

В Узбекистане осуществляется ряд мероприятий, направленных на развитие сельскохозяйственного производства, рационального использования земельных и водных ресурсов страны, эффективного использования водных и гидроэнергетических ресурсов малых рек и водотоков, строительства малых водохранилищ и достигнуты существенные положительные результаты. В этой связи, в частности, большое значение приобретают научные исследования, направленные на изучение гидрологического режима и стока взвешенных наносов горных рек, усовершенствование методов расчета их гидрологических характеристик.

Процесс водной эрозии, происходящий в речных бассейнах и формирование его продукта – стока взвешенных наносов рек и вопросам их количественной оценки посвящены исследования многих зарубежных ученых. В частности, эти вопросы рассмотрены в работах ученых бывшего Союза и нынешнего СНГ – Д.И. Абрамовича, Б.В. Полякова, Г.И. Шамова, Г.В. Лопатина, Н.И. Маккавеева, А.В. Караушева, Г.Н. Хмаладзе, М.Н. Заславского, К.С. Кабановой, Р.С. Чалова, Г.И. Швобс, А.П. Дедкова, В.И. Мозжерина, учеными дальнего зарубежья – Р.Е. Хортона, Н.Н. Bennett, A. Barat, N.L. Coleman, J.M. Jansen, R.B. Painter, V.A. Vanoni, W.D. Ellison, J.N. Holeman, W.H. Wischmeier и других. В Узбекистане первые монографические исследования по данному направлению выполнены В.Л. Шульцем, О.П. Шегловой и другими. В дальнейшем эти вопросы изучены А.А. Ханазаровым, Х.М. Махсудовым, Ю.Н. Ивановым, А.Р. Расуловым, С.Р. Саидовой, З.С. Сирлибаевой, Ф.Х. Хикматовым, Х.К. Ташметовым, Д.П. Айтбаевым и другими.

Целью исследования является выявление особенностей распределения интенсивности смыва почвогрунтов с бассейнов горных рек Узбекистана и сопредельных территорий по высотным зонам.

Задачи исследования заключаются в следующем: определение средних многолетних величин, т.е. нормы гидрологических показателей – расходов и объёмов стока взвешенных наносов, модуля смыва, слоя смыва и

других, характеризующих интенсивность смыва почвогрунтов с поверхности бассейнов рек; выявление особенностей распределения интенсивности смыва почвогрунтов с бассейнов рек по высотным зонам.

Изменение интенсивности смыва с поверхности речного бассейна с высотой О.П. Щеглова представила в виде кривых. Они позволяют определить количественные значения интенсивности эрозии для каждой из высотных зон. Это же положение было использовано как основа для разработки дифференциальных карт смыва почвогрунтов (табл.).

Таблица. Распределение интенсивности смыва почвогрунтов с поверхности бассейна реки Сурхандарья по высотным зонам

Бассейн реки	Высотные зоны, т/км ² -год								
			201-300	301-400	401-500	501-750	751-1000	1001-2000	2001<
Каратаг			900-1700	1700-3000	3000-4000		700-900	600-700	
Шеркент			800-1700	1700-4200		500-600	600-800		
Гупаланг			1100-1500	1500-2500	2500-4100	600-700	700-1100		
Сангардак			1600-1900	1900-3700		500-800	800-1600		
Халкаджар			1600-3000			600-1100	1100-1600		
Шерабаддарья	300-400	400-1100	1100-2700						

С помощью этих кривых были построены карты смыва почвогрунтов для Чирчикского, Ахангаранского, Кашкадарьинского и Сурхандарьинского бассейнов. Для этой цели были определены количественные показатели изменения значений смывов по высотным зонам. На следующем этапе эти показатели были переведены на гипсометрическую основу. При картировании смыва почвогрунтов с поверхности речных бассейнов нами использована шкала, выделенная О.П. Щегловой, т.е. 9 высотных зон смыва почвогрунтов в тоннах с квадратного километра: <50, 50-100, 100-200, 200-250, 500-1000, 1000-2000, 2000-5000, 5000-10000 и >10000 т/км².

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

ПОДХОДЫ К ОЦЕНКЕ ЭРОЗИОННОГО ПОТЕНЦИАЛА ДОЖДЕВЫХ ОСАДКОВ*

Эрозионный потенциал дождей осадков является одним из шести факторов эрозии почвы (R-фактор) в Универсальном уравнении потерь почвы (USLE/RUSLE). Он определяется как сумма событий E·I30 (произведение кинетической энергии дождя и его максимальной 30-минутной интен-

сивности) за год и рассчитывается по определению на основе данных гиетографа (или плювиографа) (Wischmeier & Smith, 1978). Крайне важно оценить R-фактор в глобальном и региональном масштабах, чтобы определить потенциальные зоны риска эрозии почвы и разработать стратегии противоэрозионных мероприятий. Большинство исследований эрозионности дождей с широким пространственным охватом связано с разработкой методов оценки R-фактора на основе данных об осадках с более грубым временным разрешением (таких как срочные, ежедневные, ежемесячные, ежегодные), чем данные гиетографа.

Нами в рамках решения задачи оценки эрозионного потенциала дождевых осадков для европейской территории России (ЕТР) проводилось статистическое изучение численных характеристик дождевых осадков, таких как средняя интенсивность дождя (I.mean), максимальная 30-ти минутная интенсивность (I30), сумма осадков одного дождя (Prec), энергия (E) и эрозионность дождя (E·I30). Анализировались плювиографические описания 4220 дождей, полученные в разные периоды наблюдений (с 1961 по 1989 гг.) на 32 метеостанциях, расположенных на ЕТР.

Для оценки вида распределений изучаемых величин (характеристик дождя) рассматривались асимметричные законы распределения: логнормальное распределение, гамма распределение, распределение Пирсона 3 типа, распределение Гумбела, обобщенное распределение экстремальных величин (GEV). Параметры распределений определялись методом максимального правдоподобия помесечно. Для оценки соответствия выборки тому или иному теоретическому распределению применялись статистические критерии согласия: статистика Крамера-фон Мизеса, статистика Андерсона-Дарлинга, их модифицированные версии с весами, логарифм правдоподобия (Laio, 2004). Эти тесты считаются более мощными, чем классический тест Колмогорова-Смирнова и гораздо более чувствительны к хвостам распределения, тогда как тест Колмогорова-Смирнова более чувствителен к отклонениям в центре распределения (Razali & Wah, 2011). Каждому из теоретических распределений для каждой подвыборки и каждого теста присваивался ранг (от 1 - худший кандидат до 5 - лучший кандидат). Средние значения рангов служили критерием для выбора закона распределения. Наилучшими вариантами для всех характеристик дождей (I30, I.mean, Prec, E, E·I30) по всем критериям являются распределения GEV и логнормальное. Достоинством логнормального распределения является то, что его параметры не коррелированы, что позволяет строить для них пространственно-временные модели независимо. Кроме этого, для эмпирического распределения суммы осадков дождя (Prec) логнормальное распределение лучше, чем GEV согласовано с данными в области больших значений, приоритетных для оценки R-фактора.

Численная оптимизация метода максимального правдоподобия позволила одновременно оценивать параметры распределений, а также и их зависимость от заданных внешних факторов, - как нелинейную регрессию параметров распределений на эти факторы. В качестве ковариат (внешних

* Исследование выполнено при финансовой поддержке Российского научного фонда (проект № 22-17-00025)

факторов - независимых переменных, которые могут повлиять на результат) использовались географическое положение (долгота/широта), высота над уровнем моря, день года. Для логнормального распределения, в предположении независимости дисперсии от внешних факторов, дополнительно использован робастный метод GAM (Generalized Additive Model) с интегрированной оценкой гладкости и обобщенной перекрестной проверкой (Wood, 2011; Wood, 2017)), позволяющий упростить прогноз. Нелинейные зависимости от внешних факторов для обоих методов (численной максимизации правдоподобия и GAM) моделировались с помощью сплайнов. Сумма осадков дождя рассматривалась как дополнительная ковариата в GAM-моделях для I30 и I.mean, а в GAM-моделях для E и E·I30 такими дополнительными ковариатами служили сумма осадков и средняя интенсивность дождя.

Построенная целевая GAM-модель зависимости логарифма E·I30 от средней интенсивности дождя, суммы выпавших осадков, дня в году, долготы, широты и высоты рельефа объясняет 87% изменчивости данных. Для оценки адекватности моделей проведено сравнение полученных модельных оценок R-фактора (суммы E·I30 за год, среднемноголетней) на 32 метеостанциях, обеспеченных плювиограммами, с референсными результатами, использованными при построении карты Global Rainfall Erosivity map (Panagos et al., 2017). И наши, и референсные оценки R сделаны для периода 1961-1989 гг. С референсными данными сопоставляется R, полученный по модельным E·I30, где предиктор I.mean определен по прогнозу своей GAM-модели от внешних факторов, а предиктор Prec по срочным данным о количестве осадков (ФГБУ «ВНИИГМИ-МЦД», <http://meteo.ru/>), где событие дождя (квази-дождь) определялось как последовательность интервалов (сроков) с ненулевым количеством осадков. Показано хорошее согласие модельных значений с референсными данными (коэффициент корреляции 0.912).

Таким образом, с использованием построенных GAM-моделей E·I30 и I.mean может быть выполнена оценка эрозионного потенциала дождей на метеостанциях, обеспеченных срочными данными об осадках – 189 метеостанций на ЕТР.

А.Ю. Сидорчук

Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова

РАСЧЕТ ОВРАЖНОЙ ЭРОЗИИ НА МЕЖДУРЕЧЬЕ РЕК СЕ-ЯХА И НАДУЙ-ЯХА НА ПОЛУОСТРОВЕ ЯМАЛ *

Бассейны рек Се-Яха и НадуЙ-Яха на полуострове Ямал характеризуются экстремальной горизонтальной расчлененностью рельефа. Густота эрозионной сети составляет здесь 18-27 км/км² на водосборах площадью 10-

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

60 км². В основном это балки и привязанные к ним ложбины с хорошо развитым растительным покровом. Эрозия возникает здесь только после уменьшения защитных свойств растительного покрова в ходе как природных, так и антропогенных процессов. Для получения пространственного распределения характеристик линейной эрозии предложена стохастическая модель овражной эрозии с учетом накопления повреждений в почве при размыве. Эта модель позволяет провести расчет изменения морфологии конкретных оврагов во времени и в пространстве.

Стохастическая модель эрозии почв (STOSEM) основана на решении уравнения баланса срывающих и стабилизирующих сил, действующих на частицу (агрегат) почвы в турбулентном потоке. При этом применяются законы детерминистической механики (второй закон Ньютона), но основные характеристики потока (скорость) и почвы (крупность частиц, связность, слитность) рассматриваются как вероятностные переменные и описываются функциями плотности вероятности. Для пульсаций скорости потока применяется нормальное распределение во времени, для изменчивости крупности частиц (агрегатов) и связности – начальное логарифмически-нормальное распределение в пространстве. В ходе моделирования во времени для каждой актуальной скорости потока определяются те частицы почвы из распределения, для которых срывающие силы больше стабилизирующих. Такие частицы считаются смытыми и начальное логарифмически-нормальное распределение изменяется за счет удаления из него неустойчивых частиц верхнего слоя почвы и замены их частицами из нижележащего слоя, имеющих начальное распределение по крупности и связности. Последовательное применение такого алгоритма приводит к селективной эрозии, быстрому смыву всех неустойчивых частиц и экспоненциальному затуханию эрозионного процесса. Начальное логарифмически-нормальное распределение по крупности и связности преобразуется в усеченное логарифмически-нормальное распределение, где отсекается та его часть, что относилась к неустойчивым частицам в данном потоке. Такой тип селективной эрозии наблюдается в экспериментах, однако затухание происходит существенно медленнее, чем рассчитанное. Как показано Ц.Е. Миртцхулава (1988), даже в конце длительного (несколько суток) размыва образца почвы, наблюдается отрыв отдельных частиц.

Такое явление Ц.Е. Миртцхулава [1988] объясняет накоплением повреждений в почве во времени при воздействии на нее турбулентного потока. При этом происходит увеличение числа неустойчивых частиц, уменьшение средних связности и слитности и преобразование функции их распределения – общего ее смещения в сторону меньших значений связности. В простейшем случае это экспоненциальное накопление повреждений, которое определяется одним параметром, не зависящим от времени. Предлагаются также более сложные представления этого процесса: закон химической реакции *n*-ного порядка [Миртцхулава, 1988] или функция Вейбулла-Гнеденко [Сидорчук, 2006].

Расчет интенсивности овражной эрозии происходит в "реальном" времени, на всей длине линии тока на овражном водосборе при заданной последовательности расчетных расходов воды, с учетом изменений литологии прорезаемой толщи. Для использования стохастической модели требуются: цифровая модель рельефа для получения начальных профилей склонов, модель литологического сложения прорезаемой оврагами толщи, гидрографы стока воды для всего расчетного периода.

Для расчета стока воды использованы метеоданные реанализа ERA5, полученные по сетке $0.25 \times 0.25^\circ$ (около 28 км по долготе). По этим данным по оригинальной гидрологической модели рассчитывался слой стока воды в периоды снеготаяния и летних дождей. Гидрологическая модель была откалибрована по данным наблюдений на овражных водосборах Бованенковского ГКМ на Ямале.

Из характеристик и коэффициентов, входящих в модель, наиболее сложно получить характеристики прорезаемых овражной эрозией грунтов – связность, слитность и параметры в функции накопления повреждений. В настоящее время эти характеристики можно найти только путем калибровки модели, подбором. Для такой калибровки необходимы наблюдения за стоком воды и овражной эрозией на данной территории.

Предложен алгоритм определения характеристик грунтов на основе наблюдений за овражной эрозией в бассейне р. Се-Яха. Вычисляются такие значения начальной связности и параметров в функции накопления повреждений, при которых вычисленные скорости эрозии совпадают с измеренными для различных скоростей потока. На основе этих данных проведен расчет потенциала овражной эрозии при нарушенной растительности для бассейнов рек Се-Яха и Надуй-Яха.

Д.А. Солодовников

Волгоградский государственный университет

ВЛИЯНИЕ ИЗМЕНЕНИЯ ГИДРОЛОГИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ НА СОСТОЯНИЕ ООПТ НИЖНЕГО ДОНА

Общий тренд на уменьшение водности рек бассейна Дона в последние два десятилетия хорошо освещен в литературе. Одно из следствий этого процесса – уменьшение высоты и продолжительности половодий. Это приводит в ряде случаев к тому, что организованные ООПТ теряют природоохранное значение и перестают выполнять задачи, поставленные при их учреждении. Рассмотрим это на примере ООПТ регионального значения Волгоградской области - охраняемого ландшафта "Свиридовские озера". Основной объект охраны – два старичных озера поймы реки Чир, окружающие их луга и галерейный лес с типичной околоводной фауной птиц, включающей виды, занесенные в Красные книги России и Волгоградской области. Чир – правый приток Дона, впадает в Цимлянское водохранилище, однако сама река не зарегулирована, а район исследования находится за пределами зоны подпора водохранилища.

ООПТ организовано в ноябре 2009 года, площадь составляет 90 га. Причиной организации ООПТ послужило необычное богатство околоводной орнитофауны, выявленное волгоградскими орнитологами в 2000-х годах. Целью организации ООПТ заявлено сохранение уникального природного комплекса – системы озер, имеющих важное средообразующее значение, являющихся местом обитания малочисленных, редких и исчезающих видов животных, занесенных в Красную книгу Волгоградской области.

Общая проблема донских притоков – снижение уровня половодья в последние десятилетия, связанное с климатическими изменениями в бассейне Дона. По этой причине полное затопление пойм рек в настоящее время происходит редко. Река имеет постоянную гидравлическую связь с грунтовыми водами, круглый год, питая горизонты подрусловых грунтовых вод и грунтовых вод прибрежной полосы. Нами проведен специальный анализ архива космоснимков в сочетании с анализом рядов наблюдений на гидрологическом посту "Станица Обливская", который расположен несколько выше по течению. Выход воды на верхнюю пойму возможен при достижении отметки уровня 5.5-6.0 м, что в XXI веке отмечалось только в 2003, 2010 и 2018 гг. В растительных сообществах верхней поймы доминирует полынь австрийская (*Artemisia austriaca*), что говорит об остепнении поймы. Несмотря на затопление в 2018 г., на профиле отсутствуют типичные растения низкой поймы.

Полевые наблюдения включали ландшафтное профилирование поймы реки Чир, определение глубины залегания грунтовых вод с использованием георадара "ОКО-2" и контрольного ручного бурения. Для определения условий затопления поймы были обработаны ряды наблюдений по максимальной высоте и расходу половодий по гидропосту "Станица Обливская" с 1988 по 2021 годы с использованием программы HydroStatCalc.

Пойма реки Чир не является исключением из общей картины. Процессы ксерофитизации отмечены ранее в поймах рек на обширном пространстве – от Дуная до Сырдарьи. Полное затопление пойм в современных условиях представляет собой сравнительно редкое исключение. Речные поймы Юга России можно считать своеобразным реликтом, не соответствующим современным гидрологическим условиям. Для реки Чир среднемаксимальный уровень половодья на 1,7-1,8 м ниже отметок поверхности центральной поймы. Остепнение пойменных лугов также является обычным явлением, вызывая целый ряд негативных геоэкологических последствий, например, увеличение частоты ландшафтных пожаров.

Таким образом, в результате уменьшения водности Чира стали довольно редкими (раз в 7-8 лет) и кратковременными половодья с полным затоплением поймы. Это приводит к недостаточному заполнению старичных озёр, в частности Свиридовских. В последний раз вода в котловине озера на северной окраине хутора была в 2018 году, озеро на южной окраине пересохло еще раньше. В последние годы вода из русла Чира в озера не поступает, возможна лишь инфильтрация грунтовых вод в самой глубокой части озерных котловин. При этом образуются небольшие водоемы глубиной не более 15-20 см, существующие не более 2 недель. Основным результатом природных процессов в бассейне Дона для Свиридовских озер – они перестали быть озерами.

Возвращение Свиридовских озер в первоначальное состояние ежегодного заполнения водой в половодье возможно только при существенном изменении количества и внутригодового распределения осадков. Половодье Чира обеспечивается таянием снега в бассейне реки. Соответственно, наполняемость пойменных озер прямо зависит от количества зимних осадков. Летние и осенние дожди на этот процесс повлиять не могут. Однако, в последние десятилетия отчетливо выражен тренд повышения зимних температур, сокращение зимы как сезона года по времени и уменьшение доли снега в общем объеме осадков. Поэтому половодье с полным затоплением поймы наблюдается редко, раз в 8-10 лет. Ситуация усугубляется гидрогеологическими особенностями поймы Чира. Зеркало грунтовых вод здесь расположено ниже уровня воды в русле и пойменных озерах, поэтому грунтовые воды не подпитывают поверхностные водоемы. Напротив, вода из них инфильтруется в подземные горизонты.

Периодический мониторинг состояния ООПТ регионального значения, организуемый Комитетами природных ресурсов субъектов РФ, безусловно выявит немало ООПТ-фантомов, подобных Свиридовским озерам и мелиорированным лиманам Заволжья. Существовая юридически, такие ООПТ природоохранных функций выполнять не могут. Однако, не исключена их ценность как объектов мониторинга деградационных изменений в экосистемах.

Д.А. Субетто

Российский государственный педагогический университет имени А.И. Герцена

ЭВОЛЮЦИЯ ОНЕЖСКОГО ОЗЕРА И ЕГО ВОДОСБОРНОГО БАСЕЙНА В ПОЗДНЕ- И ПОСЛЕЛЕДНИКОВОЕ ВРЕМЯ

В 2013 году на заседании Совета безопасности РФ, посвящённого обеспечению национальной безопасности страны в сфере охраны окружающей среды и природопользования, было высказано требование: уделить особое внимание изучению и восстановлению трёх озер России – Байкала, крупнейшего озера Мира, и Ладожского и Онежского – крупнейших европейских озер. Ладожское и Онежское озёра входят в водосборный бассейн р. Невы, во многом определяющий качество воды Финского залива и в целом Балтийского моря. Одним из важных направлений изучения современного состояния озёр являются исследования их донных отложений. Палеолимнологические исследования позволяют реконструировать историю развития водоемов и их экосистем. Онежское озеро является вторым по величине пресноводным водоемом Европы. Площадь водной поверхности составляет 9700 км², а объем достигает 295 км³. Озерная котловина расположена на границе двух крупных геологических структур – Балтийского кристаллического щита и Русской плиты. Во время формирования плейстоценовых оледенений котловина озера неоднократно была вмещилищем ледниковых потоков, а в межледниковые периоды заполнялась водами морских и пресноводных водоемов. В рамках ряда проектов в последние годы были

выполнены новые исследования вещественного и минерального состава донных отложений Онежского озера, выполнено цифровое моделирование развития береговой линии озера с использованием геоинформационных технологий, уточнены этапы его развития в позднеледниковое время на основе обобщения сведений о стратиграфии донных отложений озер, расположенных в пределах границ максимальной стадии развития Онежского приледникового озера. Реконструкция развития Онежского озера в позднем плейстоцене была проведена с помощью современных программных средств ГИС на основе разработанной цифровой модели рельефа (ЦМР) котловины озера и его водосбора. С применением современных программных средств ГИС проведены палеогеографические реконструкции изменения очертаний и уровня Онежского приледникового озера в позднеледниковое время. Построены детальные карто-схемы палеоводоема и его водосбора, рассчитаны площади и объемы Онежского приледникового озера для разных этапов его развития. Выявлены значительные изменения морфометрических и гидрологических характеристик озера в процессе его формирования. В частности, впервые установлено, что водосборный бассейн Онежского приледникового озера претерпел существенную трансформацию в период с позднеледниковья к современному времени.

В.В. Сурков, А.С. Завадский

Московский государственный университет им. М.В.Ломоносова

ОЦЕНКА УСТОЙЧИВОСТИ ПОЙМЕННО-РУСЛОВОГО КОМПЛЕКСА Р.МОСКВЫ К РАЗЛИЧНЫМ ВИДАМ АНТРОПОГЕННОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ, ИХ РАЗВИТИЕ В СОВРЕМЕННЫХ УСЛОВИЯХ*

Под устойчивостью природных комплексов или экосистем понимается их способность сохранять свою структуру, внешние границы и характер функционирования в изменяющихся условиях среды. Структурная устойчивость рассматривается, как постоянство комплекса в физическом плане, неизменность архитектуры в инварианте, который определяется, как "условно-коренной комплекс", в котором почвенно-растительный покров соответствует климату, условиям увлажнения и свойствам литогенного фундамента. Устойчивость в аспекте функционирования отражает подвижное равновесие суточных, сезонных, годовых и более длительных состояний, ритмичная смена которых не приводит к необратимым изменениям условно-коренного инварианта или его техногенной модификации.

В пойменных ландшафтах, в отличие от плакорных, устойчивость комплексов ранга фаций, простых и сложных урочищ, *включает их физиче-*

* Выполнено по плану НИР (ГЗ) Научно-исследовательской лаборатории эрозии почв и русловых процессов им. Н.И. Макавеева МГУ имени М.В. Ломоносова при финансовой поддержке РФФИ (проект 18-17-00086 П)

ское исчезновение на какое-то время. Пойменные комплексы – одни из самых динамичных в географической оболочке. Катастрофические процессы, ведущие к уничтожению или полной их трансформации – не исключение, а характерная черта их жизни. Даже при полном уничтожении фации или урочища (например, при размыве берега) остаются факторы, его формирующие – сток воды, наносов, русловые процессы, климатические условия, способствующие относительно быстрому воссозданию его аналогов, пусть и на "новом месте". Чем ниже ранг и проще вертикальная структура комплекса, тем быстрее идёт восстановление. Косы, побочни и осередки, покрытые прибрежно-водной растительностью, разрушаются и возникают постоянно. Урочища низких побочневых и островных ивняковых пойм с примитивными почвами могут восстановиться за 10-30 лет. Лесные и луговые урочища прирусловых высоких пойм могут вновь образоваться за 50-120 лет, в зависимости от темпов осадконакопления и сукцессий лесных сообществ. Минимальный срок для восстановления луговых и лесных урочищ центральных пойм и гидроморфных притеррасных урочищ, например, с еловыми лесами, около 250-300 лет. Для восстановления ПРК ранга сложных урочищ и местностей в днищах речных долин требуется от 800 до 2-4 тысяч лет, при неизменном типе руслового процесса. Но такие комплексы, занимающие на средних и больших реках протяжённые (десятки километров) отрезки поймы, никогда полностью не уничтожаются, даже катастрофическими половодьями; зато постоянно "обновляются" при блуждании русла по дну долины.

Оценка устойчивости ПРК поймы р. Москвы была дана, исходя из трактовки мощности, зоны действия и периодичности действия различных факторов формирования комплексов [Сурков, Завадский, 2021]. Чем больше факторов влияет на ПРК или экосистему, тем больше вероятность изменения какого-либо фактора и возникновения направленной тенденции развития, тем меньше динамическая устойчивость. Можно предложить своеобразный "коэффициент сопротивления", вычитая полученную в баллах интенсивность фактора, например, от 200, поскольку сумма заведомо меньше.

В частности, интенсивность воздействия гидрологического режима реки на низкие ивняковые поймы оценивается в 104 балла, на высокие луговые поймы – всего в 23. Высокие поймы редко и нерегулярно затапливаются, здесь почти не возникает транзитный поток, минимальное осадконакопление. Большую роль играют высокие половодья в динамике почвенно-растительного покрова и увлажнении поймы; но, по большей части, затопление локально, что снижает роль фактора в преобразовании комплексов высоких пойм. Следовательно, "коэффициент сопротивления" низкой поймы воздействию стока воды составит: $200 - 104 = 96$, высокой – $200 - 23 = 177$, т.е. на 85% больше.

Каркас современных ландшафтов р. Москвы (т. е. их границы, обусловленные геологическим строением долины, чрезвычайно устойчив к внешним воздействиям. Большинство природных факторов имеют низкую интенсивность или действуют на локальном уровне, что обеспечивает его относительную стабильность. Интенсивность техногенных факторов ещё не-

достаточна для полной переработки ландшафтов. Даже в Москве сохранены уступы террас, крутые склоны коренных берегов, озёра в тыловых швах поймы. Устойчивость внутриландшафтной структуры – фаций и урочищ к техногенному воздействию низкая, учитывая большой разрыв между интенсивностью техногенных и природных факторов. Наиболее мощным техногенным факторам трансформации – урбанизации, регулированию стока и распашке поверхности, действующих совместно на пойме р. Москвы, не способно сопротивляться ни одно урочище. Сейчас почти вся пойма р. Москвы ниже Можайского гидроузла является техногенной террасой, не затапливаемой почти 90 лет, которая интенсивно используется в сельском хозяйстве и постепенно застраивается промышленными и гражданскими объектами. Динамика фаций и урочищ определяется не природными процессами, а хозяйственной целесообразностью. Восстановление условно-коренных фаций на пойме р. Москвы – очень и очень длительный процесс. Огромная линейка "ландшафтных сорняков" – бурьянистых, злаковых и сорнотравных пустошей, зарастающих крапивой и сорняками руин, заброшенных мелиоративных систем, – существует десятилетия без видимых изменений.

Основная тенденция развития пойменных местностей р. Москвы в пределах Московской агломерации – переход от условно-коренных лесолуговых и сельскохозяйственных ландшафтов с рассредоточенными дачно-деревенскими поселениями к городским и субурбанизированным с плотной застройкой, регулированием и подавлением природных экзогенных процессов.

Наиболее устойчивыми к техногенному воздействию являются лесостариковые фации и урочища низких и средних пойм, которые относительно быстро восстанавливаются при их разрушении водным потоком. Это неудобья, непосредственно не используемые в хозяйстве. Но, во-первых, на пойме они занимают всего 5% территории. Во-вторых, будучи не подверженными непосредственному освоению, они сильно зависят от техногенной трансформации русла. Разрушение низкой поймы происходит и при разработке русловых карьеров. Наименее устойчивыми оказались гидроморфные ПТК притеррасной поймы, старичных озёр и болот. Притеррасная пойма освоена почти полностью; от болот и сырых лесов здесь остались ничтожные островки березняков и ольшаников. Ельники исчезли полностью, в ландшафтах нижнего течения их место заняли заболоченные и труднодоступные ивняки, распространяющиеся по ложбинам и торфоразработкам. Основная часть притеррасной поймы осушена, распахана и покрыта сетью канав и каналов. Здесь много техногенных урочищ – тепличных хозяйств, обвалованных иловых площадок, отстойников, промышленных анклавов со складами, цехами и ангарами дачно-коттеджных посёлков. Сплошное освоение этой части поймы, бывших сырых неудобий, имеет и негативный оттенок – на ней возникли техногенные пустыри и пустоши, занимающие до 20% площади. Образованию пустырей способствует непродуманная застройка, заиление и разрушение мелиоративных систем, прокладка коммуникаций. Используемые, как сельскохозяйственные угодья урочища высокой центральной поймы по устойчивости занимают промежуточное положение.

А.М. Тарбеева¹, Я.В. Тихонравова², А.А. Куть²

¹Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова,

²Институт мерзлотоведения им. П.И. Мельникова СО РАН

ДИНАМИКА ТЕРМОЭРОЗИОННОГО ОВРАГА В РАЙОНЕ п. ТИКСИ*

В условиях беспрецедентных темпов повышения температур приземного воздуха в Арктике, вопросы изменения активности термоэрозионных процессов оказываются весьма актуальными, особенно учитывая возрастающую потребность освоения арктических ресурсов, развития Северного морского пути и строительства наземной инфраструктуры. Влияние изменений климата на развитие термоэрозии остается нерешенным вопросом из-за множества прямых и обратных связей, возникающих в связи с ними. Одной из главных задач в этой связи является выявление механизмов процессов и их связей, возникающих в криолитозоне в условиях изменения климата, в том числе влияющих на возникновение и активизацию термоэрозионных форм рельефа.

В рамках данного исследования были проведены наблюдения за возникновением и развитием термоэрозионного оврага на побережье бухты Тикси моря Лаптевых (север Якутии).

Исследуемый овраг заложился на окраине пос. Тикси у подножья г. Лялькина (абс. отм. 206 м). Он возник на абс. отметках 20-40 м в нижней части вогнутого склона северо-восточной экспозиции с уклонами 10°, где к склону горы примыкает пологонаклонная поверхность, сложенная пылеватыми суглинками с прослоями торфа, содержащими мощные (видимой шириной до 2-3 м) полигонально-жильные льды, уходящие на глубине 4-4,5 м в подстилающие выветрелые алевриты. Глубина сезонного оттаивания составляет около 0,5 м.

На склоне горы выше оврага проходит региональный зимник "Тикси-Найба", существующий несколько десятков лет. И хотя возникновение оврага можно отнести к антропогенно обусловленным, так как по колеям зимника проходит концентрация склонового стока, динамика оврага происходит в летний период, когда дорога не используется, поэтому может объясняться изменением метеорологических условий.

Климат территории суровый с морозной продолжительной зимой (средняя температура января -31,8°C), коротким прохладным летом (средняя температура июля +7,0 °C) [Температура воздуха..., электронный ресурс]. Среднегодовая сумма осадков составляет 292 мм, около половины из которых выпадает в виде снега. Средний суточный максимум осадков (1936-2020 гг.) составляет 21 мм, осадки теплого периода с интенсивностью более 40 мм в сутки выпадают в среднем один раз за 20 лет.

* Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ проект № 20-05-00840 (полевые работы). Методические исследования выполнены по плану НИР (госзадание) НИИЛаборатории эрозии почв и русловых процессов им. Н.И. Маккавеева МГУ им. М.В. Ломоносова (№ 121051100166).

Первые определения размеров оврага были проведены при помощи рулетки сразу после его обнаружения 11 августа 2020 г. С 2021 года использованы съемки с квадрокоптера с последующим построением ортофотопланов и цифровых моделей рельефа. Также были привлечены доступные космические снимки. По результатам измерений и расчетов получены значения длины, ширины, глубины, площади и объема оврага по 6 срокам наблюдений за 2020-2021 гг.

Данные о динамике оврага были сопоставлены со среднесуточными температурами и осадками по ближайшей метеостанции Тикси [Архив погоды..., электронный ресурс]. Для всех периодов между съемками и до начала образования оврага были рассчитаны средние положительные температуры воздуха и определены максимальные суточные суммы жидких осадков.

По словам местных жителей, возникновение оврага произошло между 8 и 10 августа 2020 г. Ему предшествовал период высоких температур со среднесуточным максимумом +21°C (24.07.20) и обильные осадки 17 мм за сутки (26.07.20). Вероятнее всего, внешнему проявлению оврага предшествовало образование подземной полости в подземных льдах, так как подобные полости и тоннели сохранились в нижней части оврага.

Морфометрические характеристики оврага изменялись неравномерно. Длина, ширина и площадь оврага закономерно увеличивались во времени. Максимальный прирост этих характеристик наблюдался во второй половине лета как в 2020, так и в 2021 гг. Это объясняется как высокими температурами этого периода, так и обильными осадками, которые наблюдались в конце лета в 2020 и 2021 гг. Глубина оврага была максимальной сразу после его возникновения, а затем несколько уменьшилась в результате заполнения оврага материалом со склонов. Объем оврага за счет оплывания склонов также стабилизировался к концу периода наблюдений.

Удельный прирост ширины и площади оврага имеет положительную связь с температурами воздуха, так как происходит за счет вытаивания массивного льда, слагающего стенки оврага. Тогда как прирост длины и объема оврага, по-видимому, определяются внутренними закономерностями его развития.

Т.В. Турутина

¹Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова,

²Государственный гидрологический институт"

ИЗМЕНЕНИЕ ИНТЕНСИВНОСТИ ЭРОЗИОННЫХ ПРОЦЕССОВ В РУСЛАХ РЕК КРИОЛИТОЗОНЫ (НА ПРИМЕРЕ РЕК ЦЕНТРАЛЬНОГО ЯМАЛА)

В связи с глобальным изменением климата, тенденции повышения температуры воздуха в течение года, затрагивают и субарктические районы, в частности полуостров Ямал. По результатам анализа данных о температу-

ре воздуха на метеостанции Новый Порт видно, что тренд повышения температуры воздуха за последние 30 лет устойчив. Температура продолжает повышаться. В данной работе рассматривается влияние потепления климата на эрозионные процессы в руслах и на водосборах рек.

С 2004 года на территории водосборов основных рек полуострова Ямал ведутся режимные метеорологические и гидрологические наблюдения. В программу наблюдений входят наблюдения за уровнем режимом, стоком воды и твёрдым стоком. На водосборе реки Се-Яха вблизи основного гидрологического створа действует метеостанция ФГБУ "ГГИ", которая осуществляет наблюдения за основными метеорологическими характеристиками.

В настоящее время промышленное освоение территорий ЯНАО имеет огромное стратегическое значение и сопряжено со многими климатическими особенностями этого региона. Температурный режим многолетней мерзлоты в последние годы нарушен из-за оттаивания почвы на большую глубину в тёплый период года. Это приводит к образованию термокаров, а также усилению термоэрозионных процессов по берегам рек центрального Ямала.

В центральной части полуострова протекают самые крупные реки на Ямале: Морды-Яха, Се-Яха и Надуй-Яха. Во время снеготаяния огромные площади между реками затапливаются. В многоводные годы затопление земель всего полуострова может составлять до 85%. Усиление процессов термоэрозии на водосборах в совокупности с разрушениями во время стояния высоких вод приводит к изменению стока наносов, скоплению большого их количества в руслах рек. Нарушение естественных растительных ландшафтов ведёт к образованию овражной эрозии и бурному развитию её на всей территории полуострова Ямал.

Увеличение температуры воздуха, является тем фактором, который ускоряет возникновение и развитие различных видов эрозии на территории центрального Ямала.

Л.А. Турыкин, К.М. Беркович, Н.М. Михайлова

Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова

К МЕТОДИКЕ РАСЧЕТА СТОКА РУСЛООБРАЗУЮЩИХ НАНОСОВ НА р. ОКЕ*

Сток руслообразующих наносов (РОН) является важнейшим параметром русловых процессов, во многом определяющим их режим и интенсивность, поэтому его определение имеет большое научное и прикладное значение.

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

Под руслообразующими понимаются наносы, которые по крупности соответствуют аллювиальным отложениям, слагающим речное русло. На равнинных реках руслообразующими обычно являются наносы с диаметром частиц более 0,05-0,1 мм – алевриты и крупнее (Шамов 1954). На Оке от Калуги и ниже к руслообразующим относятся наносы крупнее 0,05 мм.

Для расчета стока взвешенных РОН обычно используется зависимость их расхода ($R_{РОН}$) от расхода воды (Q). В нашем случае зависимость $R_{РОН} = f(Q)$ определена для опорных гидрологических постов Калуга и Муром на основании опубликованных в Гидрологических ежегодниках данных об измеренных значениях мутности (ρ , кг/м³), гранулометрическом составе взвешенных наносов и донных отложений за период 1957-1982 гг. (в последующих выпусках ежегодников эти данные не публикуются).

Расчет стока взвешенных РОН на промежуточных постах между Калугой и Муром производился на основании допущения, что он зависит от площади водосбора, также, как последняя зависит от расстояния до устья реки (таблица 1). Площадь водосбора и расстояние от устья известны для каждого гидрологического поста.

Таблица 1. Сток взвешенных руслообразующих наносов для среднего по водности года

Гидрологический пост	площадь водосбора, км ²	расстояние от устья по судовому ходу	средний годовой расход воды, м ³ /с	сток руслообразующих взв. наносов (D>0,05 мм), тыс. т
Калуга	54900	1100,9	303	49
Щукина	56400	1039,8	315	51
Серпухов	66000	971	391	64
Кашира	68700	920,8	413	68
Шурово	74100	850,5	457	75
Коломна ниже устья р. Москвы	91700	849,8	600	100
Белоомут	93409	800	614	103
Кузьминск	95501	749,3	631	113

Расчет стока влекомых РОН выполнен для четырех расходных гидростов – Калуга, Кашира, Половское, Муром на основании зависимости расхода влекомых РОН (G) от расхода воды (Q). При этом использованы данные по измеренным расходам воды за период 1957-2018 гг. Для получения зависимости $G = f(Q)$, применен метод построения зависимостей гидравлико-морфометрических характеристик (глубины, ширины, скорости течения) от расхода воды. [Алабян 1992]. Подстановка данных зависимостей в формулу расчета расхода влекомых наносов дает аналитическое выражение последнего как функции от расхода воды.

Расход влекомых наносов вычислялся одним из наиболее достоверных методов - на основании полученных в ходе натурных измерений скоро-

стей смещения и параметров донных гряд с использованием формулы Г.В. Лопатина (1952). Для определения входящих в эту формулу высоты и скорости смещения гряд использованы зависимости Н.И. Алексеевского (1986), расчеты по которым хорошо согласуются с результатами натурных измерений. При расчете учитывался только порядок активно движущихся гряд, параметры которых изменяются в зависимости от фазы водности.

Вычисленные по зависимости $G=f(Q)$ значения годового стока влекомых наносов на основных гидрологических постах за характерные по водности годы приведены в таблице 2. Наименьший сток влекомых наносов отмечен у г.п. Кашира, что связано с очень малыми продольными уклонами водной поверхности.

Таблица 2. Сток влекомых наносов на расходных гидрологических постах в разные по водности годы

Пост	Расстояние от устья, км	Средний по водности год (1982)		Многоводный год (2013)		Маловодный год (2015)	
		Q, м ³ /с	Сток влекомых наносов, тыс. т	Q, м ³ /с	Сток влекомых наносов, тыс. т	Q, м ³ /с	Сток влекомых наносов, тыс. т
Калуга	1100,9	303	148	358	159	165	95
Кашира	920,8	413	49	501	63	204	20
Половское	644,9	660	171	837	196	349	98
Муром	218,2	1070	336	1431	384	623	242

Установлено, что для отдельного гидропоста имеет место отчетливая внутригодовая прямая зависимость расходов влекомых наносов от удельной мощности потока, выражаемой произведением расхода воды на мгновенный уклон – $Q \cdot I$. Аналогичная зависимость годового стока влекомых наносов (W_g) и средних годовых значений расхода (Q_{cp}) воды и уклона (I_{cp}) может быть получена для ряда гидропостов. В нашем случае она построена для гидропостов Калуга, Кашира, Половское и Муром для среднего по водности 1982 г, многоводного 2013 г и маловодного 2015 г.

Полученные зависимости дают возможность рассчитать сток влекомых наносов для любого участка реки по известным средним годовым значениям расхода и уклона. При этом сток влекомых наносов, рассчитанный по морфологически однородным участкам, выделенным по величине продольного уклона, испытывает значительные местные колебания и может сильно отличаться от средних значений.

Общий сток руслообразующих наносов складывается из стока влекомых наносов и стока руслообразующих наносов во взвешенном состоянии. Он в целом возрастает вниз по течению в соответствии с увеличением водности реки. Провал на участке Кашира-Коломна обусловлен вышеупомянутым снижением стока влекомых наносов.

Расчеты показали, что сток влекомых наносов почти во всех случаях существенно превышает сток взвешенных РОН. Эта разница особенно велика в годы пониженной водности и несколько снижается в многоводные

годы. Доля влекомых наносов в общем стоке наносов изменяется от 53% в многоводные годы до 85% в маловодные.

Исключение составляет гидропост Щурово (выше впадения устья р. Москвы), где в маловодные и средние по водности годы доли влекомых и взвешенных наносов практически одинаковы; с увеличением водности доля взвешенных наносов возрастает и может составлять больше половины общего стока руслообразующих наносов. Очевидно обратное соотношение связано с разработкой русловых карьеров выше по течению (основная часть стока влекомых наносов аккумулируется в месте разработки) и до Коломны по длине реки сток влекомых наносов не успевает восстановиться. Ниже впадения р. Москвы доля влекомых наносов возрастает за счет их поступления с водами притока.

Ф.Х. Хикматов, К.Р. Рахмонов, Г.У. Жумабаева

Национальный университет Узбекистана, Национальный исследовательский университет «Ташкентский институт инженеров ирригации и механизации сельского хозяйства»

ОБ УСИЛЕНИИ РОЛИ АНТРОПОГЕННОГО ФАКТОРА В ФОРМИРОВАНИИ СТОКА ВЗВЕШЕННЫХ НАНОСОВ ГОРНЫХ РЕК

В Узбекистане, начиная со второй половины 20-столетия и последующие годы велись интенсивные работы по гидротехническому строительству и освоению его горной части. Как известно, осуществление этих мероприятий всегда связано с уничтожением древесной и кустарниковой растительности, распашкой склонов, разрушением дернового покрова. В результате наблюдалось ускорение водной эрозии и процесса формирования стока взвешенных наносов (СВН) рек.

К сожалению, влияние антропогенного фактора на процессы ускорения водной эрозии и формирования СВН рек изучено недостаточно. Имеются лишь немногочисленные работы, выполненные преимущественно на примере отдельных районов бывшего Союза. Например, в работе А.С. Горещкой показано увеличение мутности рек в бассейне Кубани, главным образом, в результате вырубki леса в горных районах. Аналогичные данные приводятся в работах С.А. Антоновой, А.П. Дедкова и В.И. Мозжерина, К.М. Зубковой и Л.Г. Ткачевой и других.

Для территории Средней Азии оценка влияния антропогенного фактора на вынос мелкозема рассмотрена в работах О.П. Щегловой, С.Р. Саидовой, А.Р. Расулова, Ф.Х. Хикматова и других. Как показано С.Р. Саидовой, в годы строительства плотины Чарвакского водохранилища, наблюдался повышенный вынос мелкозема рекой Чирчик. Его главным источником являлась активизация водной эрозии, вследствие вскрытия карьеров, сооружения дорог и других антропогенных факторов.

Учитывая опыт предшествующих исследователей, нами в данной работе произведена оценка степени влияния территориально-производственных комплексов (ТПК), строительства гидротехнических сооружений (ГТС) и других антропогенных факторов на интенсивность водной эрозии и режим СВН реки Ахангаран.

Формирование и развитие Ангреновского ТПК сопровождалось интенсивным влиянием его на гидрологический режим реки Ахангаран. Это влияние включает в себя русловое регулирование, увеличение промышленного, коммунального, сельскохозяйственного водопотребления, расширение работ по гидро- и градостроительству и горных выработок, а также урбанизацию бассейна. Для рассмотрения влияния вышеперечисленных факторов на режим СВН реки Ахангаран были использованы данные семи гидрологических пунктов, расположенных по длине изучаемой реки.

Решение поставленного вопроса указывало на необходимость выделения условно-естественного и антропогенного периодов формирования СВН. За условно-естественный период формирования стока наносов были приняты данные по 1960 год включительно. Начиная с 1960 годы в бассейне реки Ахангаран начаты строительство Туркского и Туябугузского водохранилищ, автомобильной дороги Ташкент-Коканд. Также следует отметить расширение в этот же период работ по градостроительству (г.Ангрен), горных выработок (Ангреновский угольный разрез), усиление урбанизации бассейна и выпаса скота. Особенно интенсивные работы в этом направлении ведутся после приобретения Республикой независимости. По инициативе правительства Республики Узбекистан с 90-х годов началась коренная реконструкция автомобильной дороги Ташкент-Коканд, как составной части Великого Шелкового пути. Плюс к этому, в период 2013-2016 годы построена электрифицированная железная дорога Ташкент-Андижан через Камчикский перевал.

Учитывая вышесказанное, за начало периода усиленного антропогенного влияния на сток взвешенных наносов был принят 1961 год. В отдельности за каждый период были рассчитаны внутригодовое распределение СВН и общий объем выносимого мелкозема.

Изменение общего объема выноса мелкозема по расчетным периодам и по длине реки Ахангаран

№ п/п	Пункты наблюдений	Вынос мелкозема, в 10 ³ тонн	
		условно-естественный период	период усиленного антропогенного влияния
1	Устье р. Яккаарча	-	63,7
2	Устье р. Иерташ	-	52,1
3	Турк	122,6	273,0
4	Село Теляу	580,8	-
5	Дюкер Ташканала	-	441,0
6	Село Туябугуз	571,0	-
7	Село Самарское	1471,0	-

Результаты расчетов дали возможность судить об изменениях внутригодового распределения СВН как по длине реки Ахангаран, так и в результате антропогенного влияния. Так, при сравнении данных по СВН, учтенных на гидростворе у села Турк за эти два периода выявлено следующее: за условно-естественный период вынос мелкозема в апреле и мае составлял, соответственно, 27,6 и 50,8%, а за период усиленного антропогенного влияния 38 и 43,9%.

С целью выявления роли антропогенного фактора на общий вынос мелкозема, на основе исходных материалов по СВН, для всех пунктов были рассчитаны объемы ежегодного выноса взвешенных наносов.

Как свидетельствуют полученные результаты расчетов, для обоих периодов наблюдается увеличение выноса мелкозема по длине реки Ахангаран. Например, если объем СВН за условно-естественный период у села Турк составляет 122,6 тыс. тонн, то у села Теляу он равен 580,8 тыс.тонн, то есть увеличился в пять раз.

Таким образом, в результате интенсивной хозяйственной деятельности человека, связанный с развитием Ангреновского ТПК и строительством (а в последующие годы реконструкцией) дороги Ташкент-Коканд, железной дороги Ташкент-Андижан резко изменилась интенсивность водной эрозии и режим СВН реки Ахангаран. В частности, изменился режим внутригодового распределения СВН, а также объем выносимого мелкозема как по длине реки, так и согласно расчетным периодам.

И.В. Фролова

Пермский государственный национальный исследовательский университет

ЛИТЕРАТУРНЫЕ ПЕЙЗАЖИ ВОДНЫХ ГЕОСИСТЕМ (ПО СТИХАМ СЕРГЕЯ ЕСЕНИНА)

Гуманитарное знание проникает в географию и обогащает ее новыми способами и подходами анализа пространства, ландшафтов и их компонентов. Литературная география [В.П. Максаковский], художественное ландшафтоведение [Ф.Н. Мильков], литературная карта и картографирование [В.Н. Калущков, М.М. Морозова], географические образы и ландшафтные ассамбляжи [Д.Н. Замятин] стали неотъемлемой частью исследований природных и культурных ландшафтов и их компонентов, в том числе и водных объектов (реки, ручьи, родники, озера, моря и их прибрежные территории).

В произведениях художественной литературы встречаются литературно-географические образы конкретной территории, которые можно изучать с помощью разных подходов и методов, например с применением приемов литературоведческого анализа. При этом в литературной географии и художественном ландшафтоведении наиболее распространен анализ прозаических произведений, поэзия представлена в гораздо меньшем объе-

ме в качестве репрезентативных литературно-географических образов территории/акватории.

Один из приемов литературоведческого анализа текста – выявление свойств изображенного мира, той условно подробной реальному миру картины действительности, которую рисует писатель (по А.Б. Есину). Литературный пейзаж – изображение живой и неживой природы в произведении. Пейзаж обозначает место действия, оказывает эстетическое воздействие на читателя. Пейзаж передает атмосферу места, косвенно формирует представление о характере героев произведения и мировоззрении персонажей. В редких случаях пейзаж становится действующим лицом в произведении.

В данном исследовании в качестве гипотезы выступает формирование литературно-географических образов гидрографии конкретного региона на основе анализа литературного пейзажа поэтических произведений (в частности, гидрографии Рязанской области по ранним стихам Сергея Есенина) и определение возможностей применения литературно-географического подхода в краеведческих учебных и исследовательских работах обучающихся (вне зависимости от уровня обучения). Также можно говорить об еще одном предположении: упоминание составляющих русловых процессов как элементов литературного поэтического пейзажа, усиливающих действия и мысли героя и автора.

В качестве одного из условий исследования исключаются литературоведческие изыскания филологов о поэзии Сергея Есенина.

Рязанская область в рамках литературно-географического районирования относится к литературному региону "Срединная Россия". В литературной географии произведения Сергея Есенина формируют образы средней полосы России, в основном это описание родного дома и села Константиново.

В итоге было проанализировано более 80 стихотворений поэта. При анализе литературного пейзажа водных геосистем мы двигались от элементов к сюжетам, затем, собственно, к пейзажам.

На первом уровне анализа отмечаются элементы орографии берегов водных объектов и их растительность.

...	...
Выйду к речке на лужок.	С бугра высокого в синеющий залив
Распоясалась зарница	Упала смоль качающихся грив.
В пенных струях поясок.	1915

На бугре береза-свечка...	
1916	
Зашумели над затоном тростники.	Духовитые дубровы
Плачет девушка-царевна у реки.	Кличут ветками к реке.
1914	1914

Пейзажные сюжеты в стихах связаны с размышлениями и действиями героя. Они являются фоном для его воспоминаний, действий, усиливают конечные решения, восклицательные эмоции и чувства.

...	...
У голубого водопада	Я молось на алы зори,

На шишкоперой лебедь
Мы поклялись, что будем двое
И не расстанемся нигде.
1916

Причащаюсь у ручья.
1914

В первом приближении можно выделить речные литературные пейзажи (пейзажи прудов) и озерные литературные пейзажи, на фоне которых происходят лирические, романтические и трагические переживания от лица автора и главного героя. При этом в одном стихотворении можно увидеть речные и озерные пейзажи (например, стихотворение "Пропавший месяц").

В качестве литературного феномена можно отметить, что именно в стихах Есенина пейзаж (собственно река) выступает "действующим лицом произведения":

Мне вдогон смеялась речка:
"У милашки новый друг".
1911

Анализ стихов Сергея Есенина выявил редкие упоминания русловых процессов и их результатов в литературном пейзаже водных объектов Рязанской области. Например, "Только лес, да посолонка, | Да заречная ко-са...".

Следующим этапом реализации данного исследования должны стать формирование БД фотографий литературных пейзажей водных геосистем и создание картоида литературно-географических образов Рязанской области по стихам поэта. Работы в данной тематике могут послужить темами краеведческих учебно-исследовательских работ для обучающихся разного уровня и форм обучения.

В.С. Хромых

Национальный исследовательский Томский государственный университет

ОЦЕНКА СТЕПЕНИ АНТРОПОГЕННОЙ НАРУШЕННОСТИ ЛАНДШАФТОВ ДОЛИНЫ р. УШАЙКИ

Река Бол. Ушайка, длиной 78 км и площадью водосбора 744 км², относится к классу больших речных систем. Она берет начало на Томь-Яйском междуречье, впадает в р.Томь на 68 км от устья последней. В своем нижнем течении на протяжении 10 км она протекает по территории г. Томска. Бол. Ушайка имеет 25 притоков различной величины. Наиболее крупный – Мал. Ушайка протяженностью 45,2 км, впадает в р. Бол. Ушайка на территории г. Томска. Объем стока реки составляет 72,9 млн. м³. Вследствие значительного теплового загрязнения промышленными и бытовыми стоками русло р. Бол. Ушайка в нижнем течении не замерзает.

В верхнем и среднем течении реки, до городской территории, ландшафты водосборного бассейна и прибрежных территорий р. Ушайка незначительно изменены в результате хозяйственной деятельности. Однако в границах г. Томска они отличаются значительной степенью преобразо-

ванности. Вся долина р. Мал. Ушайка в городской черте и среднее течение р. Б. Ушайка заняты дачными поселками, граница застройки здесь проходит в 15-50 м от русла, зачастую вплотную к береговой бровке. Наибольший антропогенный пресс испытывает нижняя часть долины р. Ушайка в пределах плотной городской застройки (ниже пр. Комсомольский). Здесь в значительной степени изменен рельеф прибрежных территорий, на приустьевом участке реки обустроена набережная, в районе пл. Ленина днище долины Ушайки, включая ее русло, скрыто под толщей асфальта.

В пойме р. Ушайка на территории города расположен золоотвал ГРЭС-2, многочисленные свалки хозяйственного, строительного мусора и металлолома. В местах отдыха населения и в пределах частной застройки, наряду со свалками, отмечается значительное захламление побережья рассеянным мусором. Образовавшиеся в реке осередки поросли густыми зарослями ивняка, что препятствует течению реки, а в период половодья и паводков способствует подтоплению прибрежных территорий и разрушению берегов. Создает проблему и неравномерное распределение в течение года речного стока. Основной объем стока проходит в весенний период, вызывая подтопление и способствуя развитию негативных экзогенных процессов, в то время как в меженный период не обеспечивается минимально необходимый санитарный расход.

Одной из важнейших проблем является загрязнение р. Ушайка сточными водами промышленных предприятий и ливневой канализации. В реку поступают нормативно-чистые, нормативно-очищенные, а также неочищенные сточные воды ГРЭС-2, ЖКО с. Корнилово, ОАО Томскнефтепродукт, ТОО "Заварзино" и других предприятий. Остро стоит проблема загрязнения реки неочищенными сточными водами, поступающими из ливневой канализации. Износ ливневой канализации на сегодняшний день составляет более 70 %. Водоочистка стоков перед выпуском их в реку не организована. Кроме того, сеть ливневой канализации принимает еще и неочищенные хозяйственно-бытовые, и фекальные стоки жилого сектора, и промышленные сточные воды предприятий города, которые поступают в реку через несанкционированные врезки. В результате качество воды р. Ушайка в черте г. Томска является неудовлетворительным. Уровень загрязненности рассматриваемого водотока нефтепродуктами, фенолами, азотом нитритным, железом оценивается как средний; азотом аммонийным, легко окисляемыми органическими веществами – как низкий. Всё это свидетельствует о возрастающем загрязнении реки от границы города до ее устья.

В связи с тем, что прибрежные территории оказывают непосредственное влияние на формирование стока, а хозяйственная деятельность в их пределах на экологическое состояние рек, одним из важнейших направлений решения сложившихся проблем является водоохранное обустройство этих территорий, предусматривающее комплексное решение всех обозначенных выше проблем.

А.С. Цыпленков, С.В. Харченко, М.И. Успенский, В.Н. Голосов
Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, Институт географии РАН

ОСОБЕННОСТИ ФОРМИРОВАНИЯ СТОКА НАНОСОВ НА ВОДОСБОРЕ ОЗЕРА ГИТЧЕ-ГИЖГИТ*

Низкогорно-среднегорный пояс Северного Кавказа в настоящее время крайне неравномерно освоен в сельскохозяйственном отношении. В зонах распространения плодородных почв, включая чернозёмы, в предгорьях и частично низкогорьях в последние десятилетия идёт постепенный рост площадей, занятых плодовыми садами и пашней. Но более крутые склоны с маломощными почвами, занятыми травянистой растительностью, ранее использовавшиеся в качестве пастбищ, выходят из сельхозоборота земель. Восстановление нарушенного в связи с перевыпасом скота травянистого покрова происходит достаточно медленно. Для малых водосборов, особенно расположенных в районах с умеренным слоем осадков, весьма характерно наличие участков оголённых склонов, на которых развиты процессы плоскостного и ручейкового смыва и неглубоких линейных размывов. До настоящего времени отсутствуют количественные оценки интенсивности процессов водной эрозии, также не определён их вклад в общую денудацию территории и не выявлена доля эродированного материала, доставляемого в постоянные водотоки.

В качестве объекта исследования для оценки современных темпов денудации и выявления доли эродируемого материала, транспортируемого в постоянные водотоки, был выбран водосбор озера Гитче-Гижгит ($S_{\text{вод.}}=18$ га). Данный водоём имеет антропогенное происхождение, так как он возник в связи с подпруживанием одного из притоков р. Гижгитотрабанной породой хвостохранилища Тырнаузского вольфрамо-молибденового комбината в 1989 г. Детальные полевые наблюдения за процессами денудации, перераспределения материала и его переотложения в аккумулятивных ловушках, включали комплекс исследований: 1) Создание цифровой модели местности (ЦММ) на основе съёмки водосбора с беспилотных летательных аппаратов (БПЛА); 2) крупномасштабное геоморфологическое картирование с целью выявления участков распространения различных экзогенных процессов; 3) организация и проведение мониторинга за интенсивностью плоскостного смыва и линейных размывов на участке склона с разреженных травянистым покровом и темпами осыпания на участке выходов коренных пород; 4) определение суммарного объёма донных отложений в озере Гитче-Гижгит. Для оценки объёмов доставки наносов в озеро Гитче-Гижгит было использовано два независимых расчётных подхода. Один базировался на определении для всего водосбора связности потоков наносов в сочетании

*Исследования выполнены при финансовой поддержке РФФ (проект №19-17-00181 и по плану НИР (ГЗ) научно-исследовательской лаборатории эрозии почв и русловых процессов им. Н.И. Маккавеева МГУ имени М.В. Ломоносова)

с коэффициентами доставки. Второй основан на использовании модифицированной в части адаптации для горных условий фактора рельефа (LS)RUSLE. Расчёт суммарных объёмов поступивших в озеро наносов проводился для периода его функционирования, составившего 32 года (1989-2021).

По данным батиметрической съёмки и измерении толщины донных отложений, было установлено, что с момента создания озера в нем накопилось не менее 16 тыс. м³ илистого и песчаного материала. Что по нашим оценкам соответствует скорости поступления наносов равной порядка 700-800 т/год. В то же время адаптированная модель RUSLE рассчитывает среднегодовые потери почвы от ручейковой эрозии и плоскостного смыва в 3000 т/год. Что при среднем коэффициенте доставки наносов равном 7%, предполагает вклад дождевой эрозии в баланс наносов озера Гитче-Гижит на уровне 30%. Для участков водосбора, непосредственно примыкающим к водоёму коэффициент доставки наносов существенно выше и составляет порядка 80%.

Расчёты по модели в целом согласуются с полевыми данными. В результате мониторинговых наблюдений было установлено, что на лишенных травянистого покрова участках склонов большой вклад в их денудацию вносит плоскостной смыв, тогда как в промоинах зоны размыва чередуются с зонами аккумуляции. Суммарный вынос материала за пределы участков, на долю которых приходится не более 1% от общей площади водосбора, приходится порядка 2 см/год. Отступление стенок обвальнo-осыпных склонов, на долю которых приходится не более 5% от общей площади водосбора, составляет 3 мм/год. Крип, наблюдающийся повсеместно, за исключением участков скальных выходов, со средними скоростями 1,9 мм/год приводит к локальной трансформации рельефа, но не вносит вклад в формирование стока наносов. На водосборе выявлен только один оползень.

Р.С. Чалов

Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова

ПРОРВАННЫЕ ИЗЛУЧИНЫ КАК ФОРМА РАЗВЕТВЛЕННЙ МЕАНДРИРУЮЩЕГО РУСЛА*

Ещё Н.И. Маккавеев [1955] указывал, что острова на реках не только формируются при закреплении осерёдков растительностью, но и представляют собой "отрезанные меандры", являясь следствием спрямления излучин. Об "эрозионном" происхождении речных островов писал также И.В. Попов [1965]. Образующиеся при этом формы русла позднее получили название "прорванные излучины" [Маккавеев, 1971], представляющие собой

* Выполнено по планам НИР (ГЗ) кафедры гидрологии суши научно-исследовательской лаборатории эрозии почв и русловых процессов им. Н.И. Маккавеева МГУ имени М.В. Ломоносова (исходные материалы, формирование излучин) при финансовой поддержке РНФ - проект 18-17-00086 П (полевые исследования, русловые разветвления)

определённую стадия развития излучин, при которой параметрами излучин достигаются критические значения ($l/L > 1.4 - 1.7$; здесь l – длина, L – шаг излучины), утрачивается гидравлическая выгодность извилистой формы русла [Маккавеев, 1955, 1971; Чалов и др., 2004]. Излучины, которые при этом могут спрямляться, являются развитыми или крутыми. Условием для спрямления и образования спрямляющего рукава является глубокое затопление в многоводную фазу водного режима поймы, при котором через её шпору возникает достаточно мощное течение пойменного потока (обычно это соответствует прохождению руслоформирующего расхода воды Q_{ϕ} верхнего интервала, т.е. при затопленной пойме).

Превращение излучины русла в прорванную в процессе своего развития представляет собой фактически появление не реке разветвления русла, по рукавам которого (старое русло-излучина и спрямляющий) происходит рассредоточение стока, и русловые деформации получают новое направление развития. Спрямляющий излучину рукав принимает на себя большую или часть расхода воды в реке, становясь основным по водности, либо забирает только его часть (от 10-15 до 40-45 %). Соответственно, старое русло-излучина превращается во второй рукав, который или становится основным многоводным, или его водность уменьшается из-за отвлечения части стока во вновь образовавшийся рукав. Такое перераспределение расходов воды сказывается на дальнейшем развитии рукавов вновь возникшего разветвления, поскольку их конфигурация и параметры изменяются, приходя в соответствие с новыми условиями. В любом случае разветвление при спрямлении излучин сохраняется и функционирует при условии прохождения Q_{ϕ} при затопленной пойме. Если Q_{ϕ} соответствует уровням половодья в бровках поймы и образование спрямляющего рукава произошло вследствие экстремально высокого половодья (или паводка) или в обход катастрофического затора на реке, старое спрямленное русло быстро заносится наносами и отмирает, разветвление перестаёт существовать.

Прорванные излучины и связанные с ними разветвления обычно образуют в меандрирующем русле единичные формы среди излучин, не составляя морфологически однородные участки, и лишь в тех случаях, когда в серии излучин есть две-три крутых, спрямление одной из них стимулирует спрямление следующей. Возникает короткий морфологически однородный участок, в котором прорванные излучины внешне напоминают сопряженные разветвления, отличаясь от них формой рукавов: один – относительно прямолинейный, второй – образует крутую излучину, причём в смежных звеньях разветвления эти рукава проходят у противоположных берегов.

Образования и развитие прорванных излучин связано с перераспределением большей части стока в спрямляющий рукав, эволюция формы русла которого зависит от условий, в которых произошло спрямление русла. Это может быть рукав с относительно прямолинейным руслом, со временем превращающемся в пологую излучину с параметрами, отвечающими водности рукава. Такие рукава сосредотачивают основной (до 70-80 %) сток реки, тогда как старое русло превращается в маловодный извилистый и мелкий

рукав, но он не отмирает, т.к. в нем обычно собираются воды с затопленной поймы. Однако спрямление излучины нередко происходит через пойменный сегмент (её шпору), характеризующийся присущими поймам меандрирующих рек ложбинно-гривистым рельефом. Поток, половодья, пересекающий шпору, следуя вдоль ложбин, получает исходную извилистость в соответствии с их направлением и формой, вследствие чего спрямляющий рукав оказывается извилистым, его длина может быть не меньшей длины старого русла. В этом случае расходы воды распределяются между рукавами равнозначно или спрямляющий рукав может быть даже меньшим по водности.

Сохранение большей водности в старом русле по сравнению со спрямляющим излучину рукавом – характерное явление для условий, когда в излучину (старое русло) поток направляется со смежного вышележащего участка плечом (выступом, мысом) ведущего коренного берега. Если ниже такого мыса сформировавшийся спрямляющий рукав проходит вдоль коренного берега, русло его прямолинейное, а доля стока в нём достигает 30-35 %; если же ниже мыса коренной берег отклоняется от реки, спрямляющий рукав проходит среди поймы, меандрирует, образуя иногда серию развитых и крутых излучин, параметры которых соответствуют его невысокой водности (не более 10-15 %). В обоих случаях спрямляющий рукав отходит от основного русла под большим углом, является наносоотсасывающим и поэтому мелководным, с перекатами, побочни которых располагаются в шахматном порядке в прямолинейном и возле выпуклых берегов в извилистом рукаве. Старое русло (рукав – излучина), несмотря на большее или меньшее отвлечение из него стока, остаётся глубоким по всей его длине.

Отмеченные различия в формировании прорванных излучин, создающих одну из форм разветвлений русел, должны учитываться при решении водохозяйственных задач и освоении рек как водных путей сообщения.

Р.С. Чалов, С.Р. Чалов

Московский государственный университет имени М. В. Ломоносова

СТРУКТУРНЫЕ УРОВНИ РУСЛОВЫХ ПРОЦЕССОВ И МОРФОДИНАМИЧЕСКИЕ ТИПЫ РУСЛА*

Русловые процессы всегда рассматривались на разных структурных уровнях, которые, следуя Н.И. Маккавееву [1955, 1971], образуют цепочку "отрыв и перемещение частиц наносов – грядовый рельеф русла и перекааты – формы самого русла – пойма – продольный профиль реки". Н.Е. Кондратьев [1956], выделив уровни "частицы наносов – микроформы (малые гряды) – мезоформы (большие гряды) – макроформы (формы русла и пой-

ма)", сформулировал закон дискретности русловых процессов, признавая неразрывность и взаимосвязь процессов между ними. А.Ю. Сидорчук [1992] назвал это континуальностью русловых процессов, и в настоящее время дискретность и континуальность русловых процессов составляют один из общих законов всей системы эрозионно-аккумулятивных процессов [Эрозионно-русловые системы, 2017]. При этом его проявления разнообразны. Структурные уровни выделяются при изучении грядового движения наносов: по Н.Е. Кондратьеву – мезо- и микроформ, по А.Ю. Сидорчуку [1992] – самых малых, малых, средних и больших гряд, по Н.И. Маккавееву и Р.С. Чалову [1986] – ультрамикро-, микро-, мезо- и макроформ (перекааты, побочни, осередки) грядового рельефа русел. Такой же подход может быть применен к горизонтальным (разветвлений, меандрирования и развитию относительно прямолинейных, неразветвленных русел) русловым деформациям, другим видам проявлений русловых процессов.

Наиболее разработано и обоснованно выделение структурных уровней развития разветвлений [Чалов, С. Чалов, 2020], в основе которого – разделение потока при определенных условиях на две и более ветвей течения (по И.Ф. Карасеву [1975] это соответствует величине критерия

$$\Theta = \frac{b_p}{h} \sqrt{\lambda}, \text{ где } \lambda = \frac{2g}{C^2} \text{): точечные – осередковые – русловые (островные)}$$

– пойменно-русловые разветвления – раздвоенные русла – пойменная многоорукавность. Наиболее многообразен уровень русловых (островных) разветвлений, представленный десятью их типами, формирующимися как в широкопойменном, так и во врезанном русле и определяющими морфодинамический тип русла. Пойменно-русловые разветвления, раздвоенное русло и пойменная многоорукавность – прерогатива широкопойменных русел, причем раздвоенные русла формируются при условии $B_{п} > 10b_p$, прохождения $Q_{ф}$ при глубоко и длительном затоплении поймы, отвлечение в ее пределы до 50-60% стока реки во время высоких половодий.

Развитие меандрирования осуществляется также на пяти структурных уровнях: извилина динамической оси потока (без проявления в форме русла) – побочневый процесс – формирование излучин – образование сложных петлеобразных и больших излучин – извилистость поясов меандрирования. Побочневый процесс, как и формирование осередков, развивается при стоке наносов, достаточном для развития макроформ (перекаатов, побочней) руслового рельефа и только на спаде половодья (паводков) и в межень, когда они частично обсыхают. Формирование и эволюция излучин (собственно меандрирования) составляет основной уровень развития процесса, который при превышении соотношения $l/L > 1,7$ переходит на более высокий структурный уровень: излучины трансформируются либо в петлеобразные, состоящие как минимум из трех сегментных излучин, либо в большую, параметры которой намного превышают соответствующие водности реки, или имеют синусоидальную форму с прямолинейными вставками между привершинными частями смежных. При $B_{п} < 10b_p$ на таких излу-

*Выполнено по планам НИР (ГЗ) кафедры гидрологии суши (№ 121051400038-1) и научно-исследовательской лаборатории эрозии почв и русловых процессов им. Н.И. Маккавеева (№ 121051100166-А) при поддержке РНФ (проект 18-17-00086 П – разветвления речных русел).

чинах русло иногда пересекает поперек все днище долины, касаясь в вершинах противоположных ее берегов.

Излучины поясов меандрирование формируются при прохождении руслоформирующих расходов воды верхнего интервала очень малой обеспеченности, но большой мощности при сохранении условий относительно компактного потока (по И.Ф. Карасеву, $\Theta < 9,5$), на что накладывается меандрирование русла при Q_f , проходящих в бровках поймы, либо наследуют древние излучины русел, сформировавшихся в условиях большей водности реки и при ее снижении трансформировавшиеся в современные [Панин, 2005].

Проблематично выделение структурных уровней для относительно прямолинейных, неразветвленных русел из-за неустойчивости прямолинейного движения потока и зависимости их формирования от внешних факторов. Очень условно можно говорить о следующей последовательности структурных уровней: плесовые ложины между смежными перекатами – прямолинейные вставки на крыльях излучин и между звеньями сопряженных разветвлений – прямолинейные участки между одиночными разветвлениями – плесовыми или перекатными -протяженные участки русла.

Континуальность русловых процессов отражается, во-первых, в последовательном переходе форм их проявления на низких структурных уровнях в формы на более высоких. Таково превращение осередковых разветвлений в русловые (островные) или побочней в шпоры излучин при закреплении их растительностью, превращение островов в островные массивы и, соответственно, русловых (островных) разветвлений в пойменно-русловые, крутых сегментных излучин в петлеобразные и т.д. Во-вторых, меандрирование заключается не только в формировании излучин; излучины возникают, происходит их продольное и поперечное смещение у большинства рукавов, огибающих острова, меандрируют рукава пойменно-рукавных разветвлений и раздвоенных русел. Вместе с тем на излучинах русел, на их крыльях и в привершинных частях формируются острова, вызывающие отвлечение части стока из основного русла, что сказывается на параметрах самих излучин; на больших реках процесс меандрирования заключается в образовании групп островов, составляющих шпоры излучин, что определяет выделение разветвленно-извилистых русел или чередующихся односторонних разветвлений. При достижении в ходе эволюции излучинами русла критических соотношений параметров они спрямляются, образуются прорванные излучины, которые в дальнейшем (прохождении Q_f при затопленной пойме) трансформируются в пойменно-русловые разветвления. Таков генезис таких разветвлений на средней Оби (Нижеартовское и ряд других). Меандрирование рукавов раздвоенного русла приводит к размыву поймы между ними и пойменными протоками, в результате чего возникают пойменно-русловые разветвления как следствие внутривпойменных перехватов русловой сети. Таким образом, последовательная вертикальная эволюционная смена структурных уровней русловых процессов от низких к высоким сопровождается диагональными переходами того или

иного уровня меандрирования или разветвления к более высокому уровню, соответственно разветвления или меандрирования. На это накладывается образование разветвлений или излучин второго порядка в пределах форм русла любого типа, что в еще большей мере осложняет морфологическую структуру проявлений русловых процессов.

С.Р. Чалов, Т.В. Турутина, К.Н. Прокопьева

Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, Государственный гидрологический институт

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ МЕТОДОВ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ГРАНУЛОМЕТРИЧЕСКОГО СОСТАВА РЕЧНЫХ НАНОСОВ

Гранулометрический состав – это важнейший физический параметр речных наносов. Гранулометрический анализ проб наносов заключается в определении линейного размера частиц (диаметр d) и соотношении фракций разного размера в составе наносов d_i (%).

В России на гидрологических постах сети Росгидромета отбор проб по определению гранулометрического состава речных наносов (влекомых, взвешенных, а также донных отложений) регламентирован "Наставлением гидрометеорологическим станциям и постам", вып.6, ч. I. В документе описана методика выполнения гранулометрического анализа проб наносов. При определении крупности наносов применяются следующие методы: метод пипетки, фракциометра, ситовой и обмер трёх параметров частиц. Для разнородных по крупности образцов эти методы применяются в комбинации друг с другом (например, пипетка – фракциометр, сита – фракциометр, обмер – сита – фракциометр). Альтернативным методом является определение с помощью аналитического лазерного гранулометра, принцип работы которого основан на лазерной дифракции. Для анализа используется теория Фраунгофера для больших частиц, точные оптические параметры которых неизвестны, и теория Ми для мельчайших частиц с известными оптическими параметрами, диаметр которых незначительно больше длины волны используемого света при анализе. При облучении частицы светом возникают различные эффекты, которые вместе приводят к ослаблению луча света. Данное затухание принципиально получается из суммы абсорбции и отклонения света от изначального направления.

В нашем исследовании для оценки сопоставимости комбинированного метода "пипетка – фракциометр" и лазерного анализатора (Fritsch Analysette 22, Германия) проведен повторный анализ 15 проб взвешенных наносов, отобранных экспедициями МГУ на разных реках России зондом-ловушкой, 12 проб донных отложений, отобранных экспедициями ГГИ, обоими методами. Анализ показывает существенные отличия между двумя методами, что требует учета при проведении натурных работ.

И для проб взвешенных наносов, и для проб донных отложений:

- отклонения отличаются в зависимости от типовых фракций. Так, для проб взвесей (взвешенных наносов) средние отклонения составляют около 200 % (т.е. в 2 раза), разброс отклонений среднего диаметра – от 30 % до 600 %. В более крупных пробах донных отложений разброс увеличивается и в некоторых образцах превышает 1000 %;

- наблюдается завышение значений содержания частиц фракций менее 1 мкм и 1-5 мкм, полученных по методу лазерной дифракции. Для более крупных частиц отклонения значений наблюдаются как в сторону завышения, так и в сторону занижения результатов относительно друг друга;

- максимальные значения отклонения наблюдаются для более крупных фракций: для взвешенных наносов в диапазоне 50-250 и 250-1000 мкм отклонения в среднем равны -124 % и -1130 % (по результатам метода "пипетка – фракциометр" значения в среднем для этих фракций выше, чем по лазерному гранулометрическому анализатору, однако в отдельных образцах встречаются и обратные соотношения); для проб донных отложений значения отклонений составляют -382 % и -645 %, соответственно;

- несмотря на большие относительные погрешности в значениях содержания фракций в отдельных классах, для большинства проб модальность и в целом форма распределения по классам одинакова при использовании обоих методов. Однако встречаются пробы, где не воспроизводится даже распределение частиц по крупности

Таким образом, основные различия отмечаются при наличии в пробах крупных фракций (песков мелких, средних, крупных), отсюда и завышение содержания фракций пыли и илов, а также некоторое искажение в содержании фракций менее 0,001 мм. Причина данных отличий может быть связана с тем, что крупные фракции обладают большей массой, ограничивающей их свободный подъем со дна кюветы при работе на лазерном гранулометре, вследствие чего они не фиксируются анализирующими лазерами. То же происходит с частицами малых диаметров, которые могут находиться в тени более крупных частиц, вследствие чего они не учитываются, поскольку подсчет ведется по объему, а не по весу. Высокие значения отклонения мелкой фракции могут быть обусловлены высокой чувствительностью комбинированного метода "пипетка – фракциометр" к форме и плотности частицы. Метод "осаждения" основан на законе Стокса, который предполагает, что частица имеет правильную сферическую форму, поэтому частицы равного веса, но разной формы будут иметь разную скорость осаждения. Отклонения могут быть вызваны также тем, что на верхних границах (до 50 мкм) осаждение частиц ограничивается турбулентностью (из-за больших чисел Рейнольдса), а на нижней границе (ниже 2 мкм) – влиянием диффузии из-за броуновского движения.

Перечисленные предположения, приводящие к искажениям, требуют дальнейшего учета при интерпретации результатов гранулометрического состава. Одновременно требуется детальная методическая проработка.

А.С. Чалова

Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова

ОСОБЕННОСТИ ФОРМИРОВАНИЯ РАЗВЕТВЛЕНИЙ В УЗЛАХ СЛИЯНИЯ РЕК

В узлах слияния рек формируются специфические разветвления русел, разнообразной морфологии и сложности для регулирования. Несмотря на проработанность морфодинамических классификаций, пространственная изменчивость по длине крупнейших рек разветвлений в узлах слияния до настоящего времени не исследовалась. В работе представлены результаты анализа разветвлений, формирующихся в узлах слияния основных притоков (водность притоков составляют не менее 30% от водности в главной реки) крупнейших рек России: Северной Двина, Печоры, Оби, Енисей, Лены, Яны, Индигирка и Колымы. За основу была взята морфодинамическая классификация узлов слияния рек Р.С. Чалова и Н.А. Никитиной [Чалов, 2011]. Всего проанализировано более 160 узлов слияния.

Пространственный анализ дополнен оценкой факторов, влияющих на особенности формирования разветвлений различных типов в узлах слияния рек: подпорные или бесподпорные условия, величина стока и крупность руслообразующих наносов, морфодинамический тип русел сливающихся рек, наличие или отсутствие пойменной многоруканности.

Разветвления в узлах слияния в основном формируются на крупных реках с достаточно большим стоком наносов и разветвленным руслом. Так, на Оби, Колыме, Северной Двине, Лене практически отсутствуют простые узлы слияния (для крупных притоков их доля не превышает 10 %, малые притоки не учитывались), но повсеместно распространены сложные разветвленные (табл.) – до 90% из числа проанализированных. Простые узлы слияния распространены на Яне, Иртыше и Енисее (30–50%), что объясняется меньшим стоком наносов по сравнению с другими реками.

Гидравлические особенности узлов слияний проявляются в распределении расходов по рукавам. В преимущественно подпорных устьях основной расход воды сосредотачивается в рукаве, более удаленном от стрелки, в бесподпорных – наоборот, в ближнем к стрелке. Для рек со сложными разветвленными руслами характерны и наиболее сложные узлы слияния. Таковыми являются многие узлы слияния с притоками на р. Оби, для которых характерны пойменно-русловые разветвления и их расположение в рукавах раздвоенного русла (порядка 70%). При возникновении подпорных условий на участке слияния на реке, находящейся в подпоре со стороны другой реки, может формироваться остров в зоне выклинивания подпора. По существу, эта разновидность узлов слияния является переходной к дельтовому типу.

Дельтовый тип узлов слияния возникает при большом стоке наносов и при наличии подпорных условий на участке слияния, что вызывает уменьшение уклонов и скоростей течения и приводит к аккумуляции нано-

сов в их устьях. Более распространены узлы слияния, где дельта выполнения формируется лишь на одной реке: таковы многие притоки рек Лены (до 50%) и Енисея (30%), некоторые притоки Печоры и Колымы (табл. 1).

Таблица. Наиболее характерные узлы слияния больших рек России

Река	Сток наносов, км ³ /год [1]	Наиболее характерный тип узлов слияния
Северная Двина	3,33	Бездельтовый, сложный: обе реки разветвленные, либо разветвленное и неразветвленное русло
Печора	6,43	Дельтовый – дельта на одной или двух реках
Обь	15,6	Бездельтовый, сложный – обе реки разветвленные, либо разветвленное и неразветвленное русло
Енисей	12,4 (4,9)*	Встречаются как дельтовые, так и бездельтовые узлы слияния
Лена	21,4	Дельтовый: дельта на одной реке – дельта выполнения
Яна	4,27	Бездельтовый – простой, либо сложный
Инди́гирка	11,8	Бездельтовый, сложный – разветвленные русла
Колыма	11,7	Бездельтовый – сложный – оба разветвленные, либо разветвленное и неразветвленное русло

[1] – Геоэкологическое..., 2007; Магрицкий, 2010

* до и после зарегулирования стока

Формирование дельт на обеих реках характерно для участков, где наблюдаются условия переменного подпора то со стороны одной, то со стороны другой реки при достаточно большом стоке наносов. Как правило, формируется сочетание «дельта выполнения – дельта выдвигения». Наиболее яркими примерами такого сочетания являются узлы слияния рек Алдана и Лены, Бии и Катуня.

В узлах слияния рек иногда формируется дельта, образованная пойменно-русловым разветвлением. Такие узлы слияния встречаются на реках Яне, Инди́гирке, Оби; наиболее типичным примером может служить узел слияния р. Томи и р. Оби. Слияние рек Амура и Уссури даёт начало раздвоенному руслу (Амуру-Уссурийский узел). В обоих случаях первый дельтовый рукав характеризуется разнонаправленностью течения в зависимости от соотношения расходов воды и уровней на сливающихся реках.

А.Н. Червань

Белорусский государственный университет, Институт почвоведения и агрохимии НАН Беларуси

ПРОСТРАНСТВЕННАЯ ОЦЕНКА УЯЗВИМОСТИ ПОЧВ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ ЗЕМЕЛЬ БЕЛОРУССКОГО ПОЛЕСЬЯ К ПРОЯВЛЕНИЮ ВЕТРОВОЙ ЭРОЗИИ

Состояние почвенно-земельных ресурсов, определяющих продовольственную безопасность и экологические условия окружающей среды, находится в тесной связи с климатическими, геоморфологическими, литологическими и биотическими факторами. К Полесскому региону приуроче-

ны наиболее крупные мелиоративные системы гидротехнического регулирования водного режима почв, изначально различных по степени гидроморфизма и влагоудерживающей способности. Разный генезис, гранулометрический и ботанический состав, характер подстилающих пород, контрастность почвенного покрова и другие факторы в условиях зарегулированного водного режима для единых крупных территорий являются причиной локального (но многочисленного) проявления в настоящее время процессов деградации почвенно-земельных ресурсов, связанных с потерей требуемого уровня влагообеспеченности и приводящих к ветровой эрозии почв (дефляции).

В докладе представлена параметризация условий проявления почвенной засухи в зависимости от генетических признаков и свойств почв на разных таксономических уровнях в соответствии с положением в классификации, что обеспечивает возможность типологии земель сельскохозяйственного и лесохозяйственного назначения по степени уязвимости к засухе и засушливым явлениям. Предмет изучения составила влагообеспеченность почвенного покрова, типизированная по почвенно-гидрологическим константам и пространственно распределенная на территории Полесья, на основе данных крупномасштабного почвенного картографирования и генетической классификации почв. Информационной основой пространственного распределения риска проявления почвенной засухи послужили цифровые почвенные карты административных районов М 1:50000 и сельскохозяйственных землепользователей М 1:10000 и встроенные алгоритмы кодирования признаков и свойств почвенных таксонов. В качестве меры (оценки) влагообеспеченности почвы определенного генезиса и гранулометрического состава было принято число дней за год или за вегетационный период, в течение которых содержание влаги в слое 0-20 см превышает ППВ и ниже ВРК.

Кластеризация пространственного распределения параметров влагообеспеченности на основе генетических почвенных свойств позволила определить в Полесском регионе территории (паттерны) с наибольшим риском проявления почвенной засухи. Границы почвенных разновидностей, как наименьших естественно-генетически обусловленных таксонов с одинаковыми параметрами влагообеспеченности, учитывались в пространственном анализе степени уязвимости на уровне административных районов и сельскохозяйственных землепользователей.

Оценка степени уязвимости почв сельскохозяйственных земель выполнена на основе количественных значений влагообеспеченности по почвенно-гидрологическим константам. Границы четырех групп уязвимости почв – от сильно- до слабоуязвимых – устанавливались в ГИС с использованием геостатистических методов классификации пространственно распределенных контуров разной влагообеспеченности. В соответствии с установленными критериями началом почвенной засухи являются запасы продуктивной влаги ниже ВРК в слое 0-20 см. К группе наиболее уязвимых к засухам отнесены почвы с показателем ниже ВРК более 130 дней в течение

вегетационного периода, 91-130 дней – к сильноуязвимым, 50-90 дней – среднеуязвимым, менее 50 дней – слабоуязвимым. Наличие водоупора в отдельных видах почв служило обоснованием изменения группы по степени уязвимости: наиболее уязвимых на сильноуязвимые в оглеенных внизу почвах, сильноуязвимых на среднеуязвимые во временно избыточно увлажненных почвах, среднеуязвимых на слабоуязвимые в подтипе глееватых почв. Отсутствие водоупора, напротив, обуславливало принадлежность рассматриваемых видов почв к группе более уязвимых к засухам почв. Так, например, рыхлосупесчаные и связнопесчаные временно избыточно увлажненные почвы, сменяющиеся рыхлыми песками с глубины менее 1,0 м, были отнесены к группе сильноуязвимых почв (2) к засухам, что дополнительно подтверждается зафиксированным максимальным числом дней – 170 – с влажностью почв в слое 0-20 см ниже ВРК и позволяет их рассматривать в данном аспекте аналогично автоморфным почвам.

Привлечение методики геосистемной оценки структуры почвенного покрова обеспечило идентификацию почвенных комбинаций (группировка приведена в таблице 2), территориальная приуроченность к которым использовалась в качестве дополнительного критерия при оценке риска проявления почвенной засухи. Все варианты почвенных комбинаций в соответствии с идентификационным индексом последовательно учитывают геоморфологические, орографические и литологические условия почвообразования и землепользования, что предопределяет условия влагообеспеченности почвенного покрова и внутрпочвенного движения влаги.

Выполненные исследования позволили оценить уязвимость почвенного покрова крупного физико-географического региона к проявлению процессов ветровой эрозии с учетом границ административно-территориального устройства и сельскохозяйственного направления землепользования. Почвенно-гидрологические константы послужили основными критериями определения степени уязвимости почвенных разновидностей. Группировка почв и геосистемное положение обрабатываемых участков сельскохозяйственных земель позволили дифференцировать районы белорусского Полесья по удельному весу уязвимости к почвенным засухам и последующему проявлению ветровой эрозии почв.

А.В. Чернов¹, А.Ю. Воробьев²

¹Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова,

²Рязанский государственный университет им. С.А. Есенина

МОРФОГЕНЕТИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ПОЙМЫ СРЕДНЕЙ ОКИ (ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМЫ)

В долине среднего течения Оки выделяется участок, морфология которого заметно отличается от других на этой реке – это участок между устьем р. Москвы и с. Рубецкое. Здесь долина Оки огибает с юга неотектоническую депрессию, выраженную в рельефе Мещерской низменностью.

Правый борт долины сложен коренными дочетвертичными породами, левый – рыхлыми аллювиальными и флювиогляциальными песками и суглинками. Поэтому долина на этом участке широкопойменная – днище занято поймой и низкими надпойменными террасами.

В качестве модельного объекта, который позволил бы охарактеризовать современный облик долины в среднем течении реки и представить себе его историю, был выбран отрезок долины между с. Новосёлки, где долина уже полностью вступает в пределы Мещёры, до с. Вышгород, ниже которого начинается локальное изменение всего пойменно-руслового комплекса реки. Длина выбранного участка по оси долины составляет 47 км, ширина долины здесь – 5-7 км.

Русло на этом участке, в целом, извилистое, но если смотреть более детально, оно представлено сочетанием серий смежных излучин и короткими прямолинейными вставками между ними. Радиусы кривизны излучины русла имеют два модальных значения – 0,9 км (большая их часть) и 0,5 км. Пойма сегментно-гривистая, но при этом отличается большой пестротой различных фрагментов, имеющих разный рисунок первичного (гривистого) пойменного рельефа и его параметров.

Рассматривая рельеф дна долины можно, в соответствии с правилами палеоруслового анализа, выделить в пределах поймы несколько групп фрагментов с примерно сходными геоморфологическими и флористическими ландшафтами; эти различия, как предполагается, вызваны разным возрастом и условиями их образования, поэтому могут быть названы возрастными генерациями.

Выделяются разновозрастные пойменные генерации на Оке с разной степенью достоверности в зависимости от времени их образования. Нет никаких сомнений в выделении первой – самой молодой пойменной генерации: она формируется в современном русле и поэтому повторяет его очертания; располагается возле выпуклых берегов излучин. Почти нет сомнений в выделении второй пойменной генерации – она также сформировалась в современном русле, но на более ранних стадиях его развития – при начале искривления современных излучин, поэтому поверхности этой генерации чаще встречаются в основании их шпор.

Сложнее оказалось выделить поверхности 3-й и 4-й пойменных генераций. Если принять возраст поймы Оки около 10-12 тысяч лет, то время формирования этих генераций может приходиться на поздний атлантик и ранний суббореал (3-5 тыс. лет назад). И хотя эти поверхности находятся в центральных и даже тыловых частях поймы, и на тех, и на других генерациях хорошо сохранился гривистый пойменный рельеф, что позволяет судить о местоположении русла Оки в то время, и о характере деформаций её русла.

Более древние пойменные генерации- 5-я и 6-я выделяются на пойме Оки с трудом – если 5-я генерация ещё несёт на себе следы меандрирования в виде изогнутых грив, то поверхность 6-й генерации на большей своей площади уже лишена элементов этого рельефа. То же можно сказать и о

первой надпойменной террасе, поэтому на поверхности поймы Оки приходится оконтуривать ещё и территории, полностью лишённые каких-либо признаков пойменного рельефа и поэтому относимые к нерасчленённым поверхностям.

Выделенные с той или иной степенью достоверности пойменные генерации, помещённые на геоморфологической карте долины реки, позволяют оценить особенности формирования русла Оки в голоцене. Сохранившиеся от размыва участки 1-й надпойменной террасы расположены, как правило, в периферийных частях долины, но иногда в центральных частях поймы встречаются и останцы этой террасы. Они возвышаются над поймой на высоту до 10-15 м, не затапливаются во время половодий и поэтому на них находятся поселки Коростово, Заокское, Борки. Иная информация о первичном пойменном рельефе здесь не сохранилась.

Почти то же самое можно сказать и о 6-й пойменной генерации – ее поверхность, встречающаяся фрагментами, отличается наличием широких прямолинейных гряд, разделённых прямолинейными озерами. Вряд ли это говорит о каких-либо русловых деформациях, скорее – о каких-то катастрофических паводках, следами которых они являются. Однако первичный пойменный рельеф 5-й пойменной генерации показывает, что Ока во время ее формирования меандрировала, причем излучины в то время имели большие размеры, чем современные. Фрагмент 5-й генерации у правого борта долины ниже устья р. Вожи имеет радиус кривизны грив около 2-х км. Примерно такую же кривизну показывают гривы на других массивах, отнесенных к 5-й генерации.

Кроме того, судя по распространению массивов 5-й генерации одновременно под обоими бортами долины, можно сделать вывод, что во время её образования не только водность Оки была выше современной, но и тип русла был иным – здесь развивалось параллельно-рукавное русло, когда два примерно равных по водности рукава располагаются в целом параллельно друг другу по разным сторонам долины.

Пойменные массивы 4-й и 3-й пойменных генераций встречаются значительно шире, чем 6-й и 5-й. Излучины, формировавшие пойменные массивы, распространены по всей площади окской поймы. Более того, массивы 4-й пойменной генерации могут встречаться одновременно в разных частях Окской поймы, оставляя там изогнутые старичные озёра и частично пересохшие пойменные протоки. Создается впечатление, что на этом этапе развития долины параллельно-рукавное русло с извилистыми рукавами трансформировалось в меандрирующее русло с пойменной многорукавностью. Радиусы кривизны излучин основного русла на 4-й генерации уменьшаются с 2,0 до 0,8 км.

Пойменные массивы 3-й генерации, также распространённые по всей пойме, но уже ближе к современному руслу, отличаются большим количеством хорошо сохранившихся стариц, причем, судя по их расположению, они могли принадлежать относительно недавно спрямившимся излу-

чинам современного основного русла или крупных пойменных проток. Рассматривая пойменные массивы 3-й генерации и обтекающие их старицы, можно сделать следующие выводы: 1. излучины в то время имели меньшую кривизну, чем излучины 4-й генерации и большинство современных – радиус их кривизны составляет в среднем 0,4 км; 2. спрямление излучин на этапе формирования третьей генерации происходило только при достижении ими омегавидной формы, т.е. при предельной их кривизне и прорыве шеек их шпор. Вероятно, водность Оки в это время была меньше современной.

О пойменных массивах 2-й и, тем более, 1-й генераций было сказано ранее – они принадлежат современному руслу. Небольшая часть фрагментов 1-й генерации образует одиночные острова, причленённые к выпуклым берегам.

Проведенный здесь анализ окской поймы относится только к небольшому участку среднего течения реки, и, тем самым, является как бы постановкой комплексной задачи по изучению истории развития, современного состояния и функционирования окской поймы и примыкающих к ней террас. В контексте выполнения названной задачи представляется необходимым определение абсолютного возраста различных пойменных генераций и надпойменных террас. Следует соотнести гидрологические условия формирования поймы с данными о климате и иными физико-географическими характеристиками, полученными из других палеогеографических архивов. Полноценный анализ особенностей развития поймы Оки в предыдущие фазы голоцена и плейстоцена должен включать и рассмотрение современной динамики рельефа днища окской долины. Необходимы новые количественные и качественные данные о строении различных пойменных генераций, об актуальных темпах горизонтальных русловых деформаций (размывов берегов) и особенностях осадконакопления в различных пойменных зонах (прирусловой, центральной, притеррасной), оценка современных пойменных ландшафтов и их геоэкологической уязвимости, а также использование прочих видов географического анализа территории.

М.В. Шмакова
Институт озероведения РАН – СПб ФИЦ РАН

НЕКОТОРЫЕ ВОПРОСЫ РАСЧЕТА РАСХОДОВ ВЗВЕШЕННЫХ И ВЛЕКОМЫХ НАНОСОВ

Двухфазный речной поток представляет собой сложную систему взаимодействия движущихся жидкой и твердой фаз и подстилающей поверхности. К основным особенностям такового можно отнести:

1. транспорт твердого вещества в речном потоке с одной стороны определен гидродинамикой последнего, с другой стороны влияет на гидравлические переменные состояния потока;

2. крупность донных отложений крайне изменчива вдоль русла, в поперечном сечении потока и зависит от фазы водности;

3. сопротивление на твердой границе потока в поперечном сечении не является постоянным в течение года.

При этом практика расчета твердого стока показывает недостаточную изученность взаимодействия речного потока и русла. Существующие методы расчета транспорта наносов не всегда являются универсальными и подходят для потоков любого масштаба и разных гидравлических условий. При этом процесс транспорта наносов в любой форме (взвешенной или влекомой) и любой степени насыщения твердой фазой потока (от осветленной до транспортирующей способности) един для всех типов русел в любой период водности. В основе этого процесса лежит мощность речного потока, определяющая количество транспортируемого твердого вещества. В соответствии с этим, алгоритмы оценки расхода наносов любой формы должны явиться следствием теоретических уравнений, описывающих гидродинамику двухфазного речного потока. Это означает, что эти алгоритмы (расчетные формулы) должны быть полностью взаимосвязаны между собой, вытекать один из другого, а структура формул транспорта наносов должна быть полностью скоординирована с возможностями измерительной базы. В частности, крайне изменчивая в поперечном сечении потока величина средней крупности донных отложений или ее квантильные значения заданной обеспеченности снижают точность вычислений. Более удобно в этом случае оперировать интегральными характеристиками русла, такими как категории крупности донных отложений.

На основании концепции фазового гидравлического пространства, основного уравнения модели движения воды и твердого вещества (Шмакова, 2018) и соотношений для критических скоростей потока были получены формулы расходов взвешенных и влекомых наносов. В этих формулах прописан взаимосвязанный расчет потока воды и твердого вещества. Они обеспечиваются качественной, а не количественной характеристикой крупности донных отложений. Параметры трения определяются функционально через категории крупности донных отложений, которые представлены широкими диапазонами размеров донного грунта. Апробация полученных формул на примере данных нескольких сотен измерений на разных реках показала хорошие результаты.

Shuguang Liu¹, Ming Chen¹, Sha Lou¹, A.N.Makhinov², A.F.Makhinova², L.D. Radnaeva³, E. Nikitina³, José Tavares Araruna Júnior⁴
¹Tongji University, Shanghai, China; ²Institute of Water and Ecological Problems FEB RAS; ³Baikal Institute of Nature Management of Siberian Branch of the Russian Academy of Science; ⁴Pontifical Catholic University of Rio de Janeiro, Brazil

INFLUENCE OF SUBMERGED RIGID VEGETATION ON SEDIMENT SUSPENSION *

Shuguang Liu¹, Ming Chen¹, Sha Lou¹, А.Н. Махинов², А.Ф. Махинова², Л.Д. Раднаева³, Е. Никитина³, José Tavares Araruna Júnior⁴
¹Тунцзи Университет, Шанхай, Китай; ²Институт водных и экологических проблем ДВО РАН; ³Байкальский институт природопользования СО РАН; ⁴Папский Католический Университет, Рио-де-Жанейро, Бразилия

ВЛИЯНИЕ ЗАТОПЛЕННОЙ РАСТИТЕЛЬНОСТИ НА ВЗВЕШИВАНИЕ НАНОСОВ

Проведены лабораторные эксперименты и математический анализ для исследования и количественной оценки воздействия затопленной растительности на взвешивание наносов под воздействием волн, течений и совокупном воздействии волн и течений. В экспериментах использовались три варианта конструкций из деревянных цилиндров (разреженная, плотная и изменяющаяся по вертикали).

Вертикальные профили турбулентной кинетической энергии k_t и концентрации взвешенных наносов C представлены на рис. 1. Под воздействием волн и комбинированном воздействии волн и течений концентрация наносов C постепенно увеличивалась с ростом высоты волны. При большей высоте волны происходил рост касательного напряжения, что усиливало поток донных наносов и их взвешивание. При подъеме частиц на определенную высоту относительно большая турбулентная кинетическая энергия из-за большей высоты волны удерживала большее количество взвешенных наносов в толще воды.

Показатели k_t и C значительно увеличивались в экспериментах с донной растительностью (случаи b, c, d). Несмотря на то, что наличие растительности приводило к снижению средней скорости течения, однако из-за турбулентности, обусловленной растительностью, процессы взвешивания наносов усиливались по сравнению с чистым дном.

* This work was sponsored by the National Natural Science Foundation of China (51961145106, 42072281), Shanghai Science and Technology Innovation Action Plan (20230742500, 22ZR1464200), the Fundamental Research Funds for the Central Universities of China (22120210576) and the RFBR, CNPq and NSFC of BRICS STI FRAMEWORK PROGRAMME No. BRICS2019-243.

Рис. 1. Вертикальные распределения турбулентной кинетической энергии k_t и концентрации взвешенных наносов C под воздействием волн, течений и совокупном воздействии волн и течений.

Laboratory experiments and mathematical analyses were carried out to investigate and quantify the impacts of submerged rigid vegetation on sediment suspension under waves, currents and combined wave-current flows. Mimic canopies constructed from wooden cylinders were used in the experiments with three configurations (sparse, dense and vertically varying density).

Vertical profiles of turbulent kinetic energy k_t and suspended sediment concentration C are shown in Fig. 1. Under pure waves (Tests 1-4) and combined wave-current flows (Tests 6-9), C increased gradually with the growing wave height. Higher wave height induced larger bed shear stress, which enhanced bottom sediment flux and sediment suspension. With the sediment lifted to a certain height, relatively larger turbulent kinetic energy due to higher wave height kept more suspended sediment stay in the water column.

Comparing C under pure waves (Tests 2-4) and unidirectional currents (Test 5), it was found that the values of C near the bottom ($z \leq 0.1$ m) were generally larger under Tests 2-4 than that under Test 5, even though the amplitude of wave orbital velocity (5-16 sm/s) was smaller than the current mean velocity (6-26 sm/s). According to Pomeroy et al. [2017], larger bed shear stress can be generated around the wave boundary layer than that under unidirectional currents of equivalent magnitude, which can promote sediment suspension. While at the upper layers, the values of C were found to be smaller under some wave tests than that under unidirectional currents. Especially in Case-d with vertically varying vegetation density, the values of C at layers of $z \geq 0.2$ m were smaller under all pure wave conditions (Tests 1-4) than that under Test 5. It could be explained by the stronger turbulence in the entire water column under unidirectional currents, which could provide enough energy for the upward suspension of sediment.

Comparing to the values of k_t and C in Case-a without vegetation, it was noted that k_t and C were greatly enhanced within the canopy zone in Cases-b, c, d. The vegetation dampened waves and currents, resulting in the decreased mean flow velocities. However, due to the vegetation-induced turbulence, the sediment suspension was enhanced in vegetated zone, relative to the bare bed. It was consistent with the observations on sediment concentration within rigid canopies in previous studies [Tang et al., 2019; Tinoco and Coco, 2018].

Under pure waves (Tests 1-4), C near the bottom ($z \leq 0.1$ m) was larger in Case-c (vegetation density of 333 stems/m²) than that in Case-b (vegetation density of 168 stems/m²), while it was opposite at the upper layers ($z \geq 0.2$ m). Under combined wave-current flows (Tests 6-9), C was larger in Case-c than that in Case-b in the entire water column, which further confirmed that denser canopy caused more sediment suspension from the bed. Comparing the values of C in Case-c with uniform vegetation height and Case-d with varying heights, C near the bottom was generally larger in Case-d than that in Case-c under both pure waves and combined wave-current flows, while it was opposite at the upper lay-

ers within the canopy. The comparisons could be attributed to the density and varying heights of vegetation that had significant effects on flow velocity and turbulence, which changed bed shear stress and turbulent diffusivity, resulting in the varying vertical distributions of C .

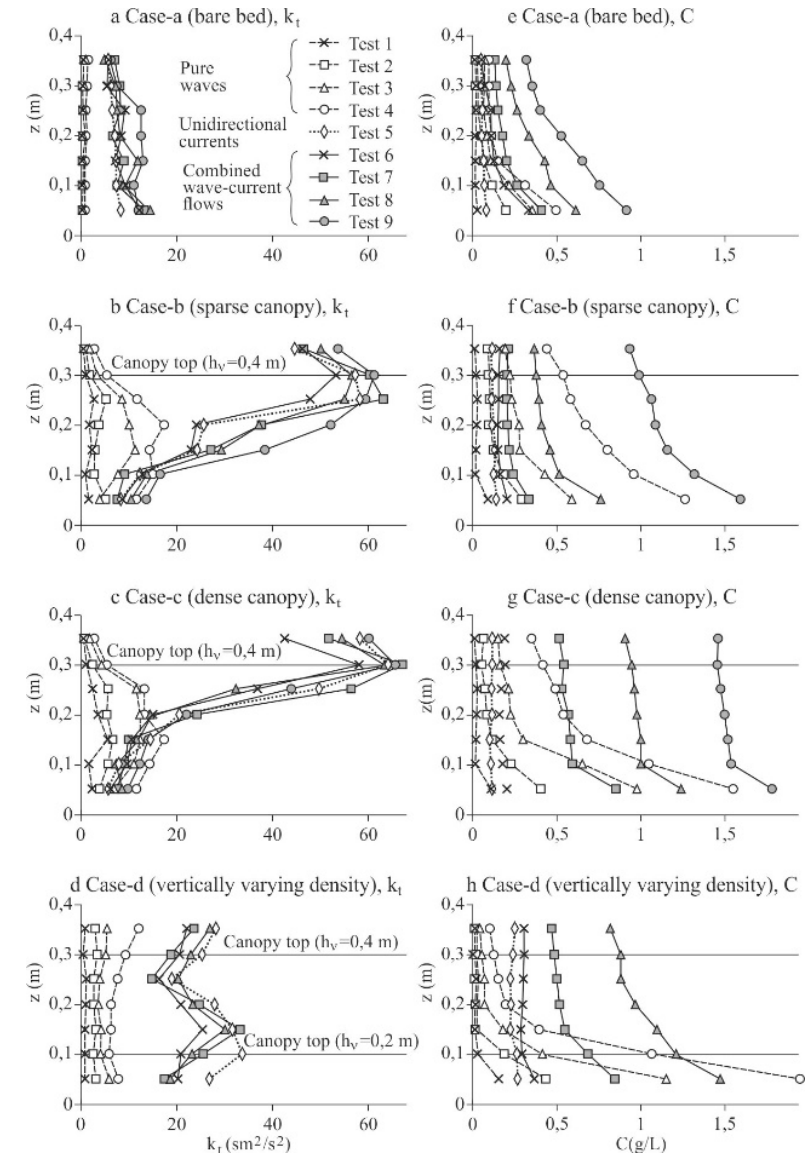


Fig. 1. Vertical distributions of the turbulent kinetic energy k_t and suspended sediment concentration C under pure waves, unidirectional currents and combined wave-current flows.

THE SPATIAL HETEROGENEITY OF EXTREME RAINFALL IN THE MEGACITY OF THE YANGTZE ESTUARY: A CASE STUDY IN SHANGHAI, CHINA*

ПРОСТРАНСТВЕННАЯ НЕОДНОРОДНОСТЬ ЭКСТРЕМАЛЬНЫХ ОСАДКОВ В МЕГАПОЛИСЕ В УСТЬЕ р. ЯНЦЗЫ: НА ПРИМЕРЕ г. ШАНХАЙ, КИТАЙ

Экстремальные осадки с их пространственно-временной изменчивостью являются решающим фактором наводнений в районе устья р. Янцзы [Westra et al., 2014; Wright et al., 2013]. Предшествующие исследования показали, что пространственное распределение осадков обычно неравномерно для каждого момента времени (т. н. пространственная неоднородность осадков) [Jensen, Pedersen, 2005; Peleg, et. al., 2017].

Высокое значение C_V (0,473) в Шанхае подразумевает значительную пространственную кластеризацию распределения осадков и изменчивость их величин. Наибольшая концентрация осадков наблюдается в центральной части города и южных пригородах с тенденцией к уменьшению к границам водоразделов. Это может быть связано с эффектом городского острова тепла и циркуляцией морских бризов в Шанхае. Также в рамках проведенного исследования показано, что пространственная изменчивость экстремальных осадков в пределах города в направлении север-юг больше, чем в направлении восток-запад.

Рис.1. Анализ пространственной неоднородности экстремальных осадков в Шанхае: а – корреляционная диаграмма Морана I в Шанхае; б – анализ расположения кластеров (результаты в LISA) для четырех исследуемых городов; в – полудисперсионный анализ без учета изменения количества осадков по разным направлениям; д – полудисперсионный анализ для двух направлений: восток-запад и север-юг.

Extreme rainfall with its spatiotemporal variability is a crucial driver of flooding in the Yangtze Estuary region [Westra et al., 2014; D.B. Wright et al., 2013]. Previous studies have shown that the spatial distribution of rainfall is commonly uneven for a given point in time (i.e. rainfall spatial heterogeneity) [N. E. Jensen, L. Pedersen, 2005; N. Peleg, et al., 2017]. However, it is still unclear

how to represent and quantify the level of rainfall spatial heterogeneity, especially in urban settings in the Yangtze Estuary region.

As one of the most important megacity in China, Shanghai is located in a plain river network area in the Yangtze Estuary region, China, with an average annual temperature of 17.7 °C and annual precipitation of 1320 mm. The region is impacted by the subtropical monsoon, cyclonic storms, and intense convective precipitation. Taking Shanghai as the study area, the spatial heterogeneity of extreme rainfall (e.g. 3-hour annual maximum rainstorms) is analyzed and quantified, using the GPM-IMERG rainfall dataset from 2000 to 2020 (<https://gpm.nasa.gov/data/directory>). The spatial resolution of the rainfall data is 0.1×0.1 (about 10 km×10 km in the study area), and the temporal resolution is 30 min.

The spatial clustering structures of both rainfall magnitudes and locations are considered by combining CV and Moran's I [E.S. Thompson, et al, 2018]. Specific locations of rainfall clusters are identified by LISA [L. Anselin, 1995] with decomposing Moran's I into each grid cell. The semi-variance analysis [W. Song, et al, 2018] is applied to study the range of rainfall clusters even the rainfall variability in a different direction in space.

As shown in fig. 1a, a positive Moran's I (0.472) in and a high C_V value (0.473) in Shanghai, imply the significant spatial clustering feature of rainfall distribution and variability of rainfall magnitudes.

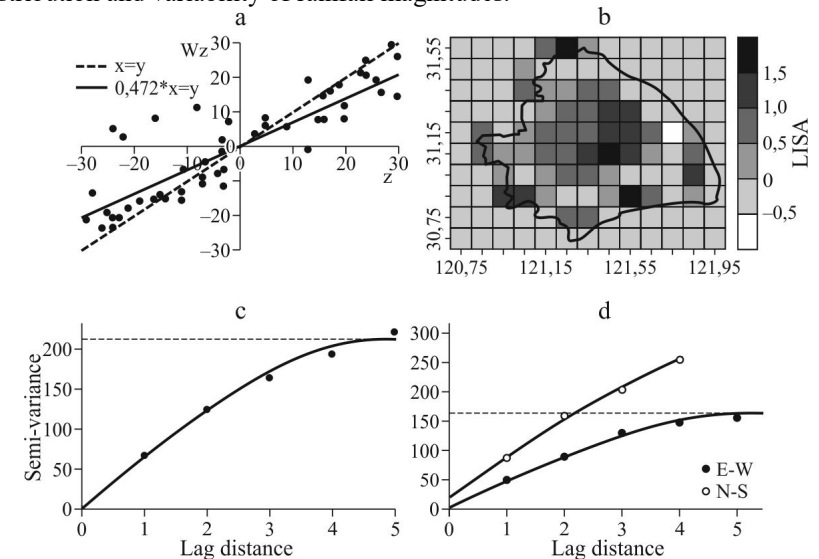


Fig. 1. Spatial heterogeneity analysis of extreme rainfall in Shanghai: a – Scatter diagrams of Moran's I in Shanghai; b – Analysis of locations of clusters (results in LISA) for four study cities; c – Semi-variance analysis without considering the change of rainfall in different directions; d – Semi-variance analysis for two directions: east-west and north-south.

*The authors are grateful for the important support given by National Natural Science Foundation of China (51909191, 51961145106 and 5201101768) and the RFBR, CNPq and NSFC of BRICS STI FRAMEWORK PROGRAMME No. BRICS2019-243.

The rainfalls concentrated in the central city area and southern suburbs with a trend of decreasing toward the watershed boundaries. It may be associated with the urban heat island effect and sea-landbreeze circulation in Shanghai. The range of rainfall clustering is examined by semi-variance analysis. For instance, the distance where the variogram reaches the sill (dotted lines in Fig. 1c) is 4.84 ($\alpha=4.84$ and one α is 0.1° gird), indicating the extreme rainfall extends to a scale of 48.4 km×48.4 km, without considering the change of rainfall in different directions. To further examine the change of rainfall variability in the north-south and east-west directions (fig. 1d), the spatial variability of extreme rainfall in the north-south direction of the city is greater than that in the east-west direction, and the range of the rainfall cluster shows a balanced pattern between transverse and longitudinal directions (52 km×58 km).

In conclusion, the extreme rainfall in Shanghai shows a significant spatial heterogeneity feature. The rainfall cluster is located in the city center portion, keeping a balance between transverse and longitudinal directions with the range of 52 km×58 km. The phenomenon should be raised the attention of rainfall distribution studies in the Estuary region.

ДОКЛАДЫ

- А.В. Водорезов, В.А. Кривцов**
Рязанский государственный университет имени С.А. Есенина
 ОСОБЕННОСТИ И РЕЗУЛЬТАТЫ ПРОЯВЛЕНИЯ ОБРАЖНОЙ
 ЭРОЗИИ НА ТЕРРИТОРИИ РЯЗАНСКОЙ ОБЛАСТИ 4
- А.А. Беляков**
Академия водного транспорта РУТ (МИИТ)
 ДЕФИЦИТ АНТРОПОГЕННОГО ПРЕССИНГА КАК ПРИЧИНА
 ВРЕДНЫХ РУСЛОВЫХ ПРОЦЕССОВ 8
- О.П. Ермолаев**
Казанский (Приволжский) федеральный университет
 НОВАЯ ОЦЕНКА ИНТЕНСИВНОСТИ ПОЧВЕННОЙ ЭРОЗИИ НА
 ЕВРОПЕЙСКОЙ ТЕРРИТОРИИ РОССИИ 15
- К.М. Беркович, Л.В. Злотина, Л.А. Турькин**
Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова
 РУСЛО ВЕРХНЕЙ ОКИ: ИСТОРИЯ И СОВРЕМЕННОСТЬ 24
- А. Ю. Воробьев, А.Н. Варнаков**
Рязанский государственный университет имени С.А. Есенина
 ПОТЕНЦИАЛЬНЫЕ ВОЗМОЖНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ПОЛЕВЫХ
 ГЕОМОРФОЛОГИЧЕСКИХ МЕТОДОВ ДЛЯ ИНДИКАЦИИ СПО-
 СОБНОСТИ КРУПНЫХ И МАЛЫХ РЕК К САМООЧИЩЕНИЮ 35
- М.М. Иванов, В.Н. Голосов, Н.Н. Иванова**
Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова
 ИСТОРИЯ И ПЕРСПЕКТИВЫ ИССЛЕДОВАНИЙ ЭРОЗИОННО-АК-
 КУМУЛЯТИВНЫХ ПРОЦЕССОВ В БАССЕЙНАХ РЕК, ПОДВЕРГ-
 ШИХСЯ ИНТЕНСИВНОМУ ЧЕРНОБЫЛЬСКОМУ ЗАГРЯЗНЕНИЮ,
 НА ПРИМЕРЕ р. УПЫ 39

АВТОРСКИЙ УКАЗАТЕЛЬ

Артикова	Ф.Я.	99
Бармин	А.Н.	95
Барышников	С.Г.	50
Барышников	Г.Я.	50
Белоусов	А.Р.	52
Беляев	В.Р.	54
Беляков	А.А.	8, 57
Беляков	П.В.	78
Беркович	К.М.	24, 158
Бик	Ю.И.	59
Богущая	Е.М.	111
Бондарев	В.П.	60
Бургов	Е.В.	69
Буряк	Ж.А.	63
Бушуева	О.Г.	115
Ванченко	С.И.	98
Варенов	А.Л.	65
Варнаков	А.Н.	35
Вахнина	О.В.	109
Вдовенков	С.П.	141
Вершинин	Д.А.	67
Водорезов	А.В.	4
Воробьев	А.Ю.	35
Воробьев	А.Ю.	69, 178
Воронина	Ю.Е.	70
Гайфутдинова	Т.В.	72
Гарсеев	А.М.	74
Гафуров	А.М.	76
Гладков	Г.Л.	78
Голосов	В.Н.	39, 80, 133, 167
Голубцов	Г.Б.	81
Горобец	А.В.	115
Григорьев	И.И.	83, 85
Дегтярев	С.Д.	135
Дедова	И.С.	87
Добровольская	Н.Г.	115
Ермолаев	О.П.	15, 76, 146
Жидкин	А.П.	91, 133
Жумабаева	Г.У.	93, 145, 161
Завадский	А.С.	153
Занозин	Вик. В.	95
Занозин	В.В.	95
Злотина	Л.В.	24
Иванов	М.М.	39, 80

Иванова	Н.Н.	39, 97, 133
Ильин	В.Н.	131
Ильина	А.А.	131
Исаев	Д.И.	98
Исакова	А.Я.	99
Исыпов	В.А.	105
Кадыров	А.С.	69
Камышев	А.А.	101
Ким	В.И.	123
Кобильченко (Куксина)	Л.В.	115
Ковалёв	С.Н.	103
Конопацкий	С.В.	78
Копытов	С.В.	130
Коркин	С.Е.	105
Коркина	Е.А.	105
Кортаев	В.Н.	107
Косицкий	А.Г.	111
Кравцова	В.И.	109
Кривцов	В.А.	4
Крючков	Н.Р.	115
Кумани	М.В.	112
Куракова	А.А.	114
Куть	А.А.	156
Ларионов	Г.А.	115
Лисецкий	Ф.Н.	117
Литвин	Л.Ф.	115
Лобанов	Г.В.	119
Локтеев	Д.С.	69
Магрицкий	Д.В.	121
Матвеев	Д.В.	123
Махинов	А.Н.	123
Махинов	А.Н.	125
Махинова	А.Ф.	125
Медведева	Р.А.	89, 127
Михайлова	Н.М.	158
Михневич	Э.И.	128
Морабандза	К.Б.	117
Мухарамова	С.С.	89, 146
Назаров	Н.Н.	130
Нарожня	А.Г.	63
Никитина	Е.А.	131
Никонова	И.В.	131, 141
Орлов	Д.А.	98
Осипова	М.С.	133
Пальмов	В.Г.	135

Паньшева	К.М.	135
Паушкина	В.Д.	123
Петелько	А.И.	137
Петелько	А.И.	139
Петров	Н.Ф.	141
Поletaев	А.О.	117
Прокопьева	К.Н.	173
Промасова	Е.В.	143
Прохоров	А.Л.	141
Рахмонов	К.Р.	145, 161
Рец	Е.П.	127
Ржаковская	П.С.	78
Рысин	И.И.	85
Савельев	А.А.	146
Самохин	М.А.	135
Сарнецкая	М.И.	119
Сидорчук	А.Ю.	148
Соловьева	Ю.А.	112
Солодовников	Д.А.	150
Спиренкова	О.В.	59
Субетто	Д.А.	152
Сурков	В.В.	153
Тарбеева	А.М.	156
Терехин	Э.А.	117
Тихонравова	Я.В.	156
Турутина	Т.В.	157, 173
Турькин	Л.А.	24
Турькин	Л.А.	158
Успенский	М.И.	167
Федин	А.В.	80
Фролова	Н.Л.	127
Фролова	И.В.	163
Харченко	С.В.	80

Харченко	С.В.	167
Харьковец	Е.Г.	109
Хикматов	Ф.Х.	93, 161
Хромых	В.С.	165
Цзэмин	Ли	128
Цыпленков	А.С.	80, 167
Чалов	Р.С.	168, 170
Чалов	С.Р.	170, 173
Чалова	Е.Р.	109
Чалова	А.С.	175
Червань	А.Н.	176
Чернов	А.В.	130, 178
Шмакова	М.В.	181
Эрлапасов	Н.Б.	93
Chalov	S.R.	186
Chen	Ming	183
Liu	Shuguang	183, 186
Lou	Sha	183
Makhinov	A.N.	183
Makhinova	A.F.	183
Nikitina	E.	183
Radnaeva	L.D.	183
Tavares Araruna Júnior	José	183
Zhou	Zhengzheng	186
Zhuang	Qi	186

**Тридцать седьмое пленарное
межвузовское координационное совещание по проблеме
эрозионных, русловых и устьевых процессов**

Межвузовский сборник

Подписано в печать 23.05.2022 г.
Формат 60x90/16. Печать офсетная.
Бумага офсетная. Тираж 100 экз. Заказ
Отпечатано в типографии «ВАШ ФОРМАТ»
г. Москва, ул. Донская, 32
(495)749-45-84
www.kniga-premium.ru