

УДК 551.435.122, 551.4.06

ПОЛЕВОЙ МОНИТОРИНГ АЛЛЮВИАЛЬНОГО ОСАДКОНАКОПЛЕНИЯ В ПОЙМЕ СРЕДНЕГО ТЕЧЕНИЯ Р. ОКИ

А.Ю. Воробьев*, В.А. Кривцов, А.В. Водорезов, А.Н. Варнаков, А.С. Кадыров

Рязанский государственный университет имени С.А. Есенина, г. Рязань, Россия

*a.vorobyov90@mail.ru

Поступила в редакцию 27.01.2025

После доработки 20.02.2025

Принята к публикации 25.02.2025

Аннотация. С помощью метода седиментационных ловушек-матов показаны возможности и результаты геоморфологического мониторинга скорости аллювиального осадконакопления в пойме р. Оки. За период 2014–2021 гг. прохождение только двух весенних половодий приводило к затоплению центральной (высокой) поймы и аккумуляции слоя наилка мощностью 0.45 мм. На низкой пойме осадконакопление наблюдалось ежегодно, средняя мощность слоя минеральных (по ГОСТ 25100-2020) наносов на матах достигает 19.8 мм/год. Вглубь пойменно-русловых комплексов рельефа транспортируются только пылевато-глинистые наносы, а на прирусловых участках регистрировалась и аккумуляция песчаных частиц. В среднем высокая пойма на задействованных позициях мониторинга затапливается на 15 дней, что соответствует средней поемности по градации В.И. Шрага. На прирусловых же участках прямое взаимодействие водных масс потока и береговых грунтов может растягиваться на 1–6 месяцев и сильно зависит от типа весны и параметров половодья. Это позволяет выделить подобные обстановки осадконакопления как участки с регулярным проявлением флювиального морфолитогенеза, восприимчивые к колебаниям мезоклимата окского бассейна.

Ключевые слова: река Ока, пойма, седиментационная ловушка, половодье, аллювий, гранулометрический анализ, органическое вещество

DOI: [10.71367/3034-4638-2025-2-2-33-50](https://doi.org/10.71367/3034-4638-2025-2-2-33-50)

ВВЕДЕНИЕ

Одним из традиционных объектов исследований в динамической геоморфологии, несмотря на долгую историю изучения экзогенных процессов, остается рельеф пойм равнинных рек. Научный интерес поддерживается, в том числе, благодаря все более активному воздействию климатического и антропогенного факторов на флювиальные процессы (Фингерт, Крыленко, Головлев и др., 2018; Мохов, 2020; Горбаренко, Варенцова, Киреева, 2021). Геоморфологи сотрудничают со специалистами в самых разных областях знания (гидрологами, геохимиками, геоэкологами, инженерами-геологами), чтобы выявить причинно-следственные связи рельефообразования в днищах речных долин. Фоновые ландшафтные условия предопределяют целеполагание исследований, поэтому предметом региональных проектов нередко является преимущественное изучение пойменно-русловой аккумуляции или эрозии. В последние десятилетия

развитие учения об эрозионно-русловых системах позволило выделить речные поймы на равнинах как крупные приемники наносов (Ciszewski, Czajka, 2015; Эрозионно-русловые..., 2017; Чалов, Ефимов, 2021). Ведущая роль аккумулятивных тенденций отражается в характерной фациальной структуре низко- и среднеэнергетических пойм (по классификации (Nanson, Croke, 1992)), в наличии развитой пойменной фации аллювия. Динамика и вещественный состав свежих наносов (наилка), которые в условиях гумидного умеренного климата отлагаются сравнительно регулярно, желательны к учету в почвоведении, геоэкологии, ландшафтоведении. Транспорт и аккумуляция твердофазного материала напрямую влияют на структуру природно-территориальных комплексов (Asselman, Middelkoop, 1995; Барышников, 2012; Александровский, Гласко, 2014; Draut, Ritchie, 2015; Вахрамеева, Лосюк, 2021), предпочтительные формы землепользования (Конов, Пановская, 1973; Муромцев, Мажайский,

Семенов, 2011; Steiger, Gurnell, Petts, 2011; Zhao, Coles, Wu, 2015) и пополнение запаса биофильных химических элементов в синлитогенных почвах (Phillips, Walling, 1999; Шишов, 2006; Муромцев, Мажайский, Семенов, 2011; Барышников, 2012; Зайдельман, Беличенко, Бибин, 2013).

Приведенные характеристики и свойства физико-географических процессов характерны для поймы р. Оки в ее среднем течении. Этот участок в прошлом становился объектом мелиорации, фациально-генетического и гидролого-морфологического анализа (Муромцев, Мажайский, Семенов, 2011; Александровский, Гласко, 2014; Палатов, Новичкова, Быков, 2019; Воробьев, 2021). Фрагмент днища долины от устья р. Москвы до устья р. Мокши (850–354 км от устья р. Оки) отличается чередованием расширений и сужений, в которых ширина поймы варьирует от 1.0 до 12.0 км. Река Ока в Московской и Рязанской областях является крупной рекой со среднегодовым расходом $>500 \text{ м}^3/\text{с}$, а аккумуляция аллювия в ней входит в число ведущих рельефообразующих процессов региона. Расширенные участки поймы прошли сложную плейстоцен-голоценовую эволюцию (Горбаренко, Варенцова, Киреева, 2021), создавшую сочетания морфологических комплексов рельефа с неодинаковым горизонтальным и вертикальным расчленением. Пространственное распределение современного осадконакопления на подобных участках усложняется, поскольку аккумулирующие емкости (межгрядные ложбины, старичные и техногенные котловины, реликты термокарстового морфолитогенеза) образуют сложные системы понижений. Однако полевые данные о скорости аллювиального процесса, имеющиеся для региона (Лазаренко, 1964; Кононов, Пановская, 1973; Муромцев, Мажайский, Семенов, 2011), недостаточны для балансовых расчетов и геоморфологических прогнозов. Общие оценки, содержащиеся также в палеогеографических работах (Гласко, Фоломеев, 1981; Александровский, Гласко, 2014), предоставляют только усредненные данные роста поймы в высоту за последние сотни и тысячи лет. Недостаток информации о литологии свежих наносов объясняется, в том числе, трудоемкостью сбора полевого материала и необходимостью использования специальных средств для получения необходимого его количества. В ряде случаев, если это отвечает целям исследования, осадки собирают без пространственно-временной дифференциации (Шишов, 2006; Cotton, Wharton, Bass et al., 2006; Charlton, 2008; Hupp, Shenk, Kroes et al., 2015; Палатов, Новичкова, Быков, 2019) с поверхности осушек и отмелей.

К путям решения отмеченных противоречий в динамической геоморфологии относится создание стационаров (Симонов, 2005). Абсолютное преобладание аккумулятивных поверхностей в окской пойме благоприятно для применения метода седиментационных ловушек (матов), позволяющих получать точные значения скорости накопления аллювия на различных формах рельефа. Зарубежный опыт подобных исследований весьма обширен, однако существует разделение между ловушками, закрепляемыми на мелководье, и матами на относительно приподнятых участках поймы. Первые действуют в динамичном потоке; это трехмерные объекты — колбы со штырями, мешкообразные конструкции, ямы (Harris, Richards, 1995; Phillips, Walling, 1999; Goldschneider, Haralampides, MacQuarrie, 2007; Алексеевский, Белозерова, Чалов, 2012). Ловушки, закрепляемые на элементах пойменного рельефа, представляют собой искусственные поверхности (маты, коврики, оболочки, диски) для имитации природных материалов дна пойменного потока (Asselman, Middelkoop, 1995; Phillips, Walling, 1999; Hupp, Shenk, Kroes et al., 2015; Voss, 2017). Благодаря сезонности гидрографа активная ширина русел рек (термин Н.И. Алексеевского (Эрозионно-русловые..., 2017)) варьирует, осложняя контроль осадконакопления на низкой пойме возможным размывом поверхности. Наоборот, нерегулярные затопления рельефа более высоких гипсометрических уровней поймы приводят к потере седиментологической и геоморфологической информации в маловодные годы и фрагментируют ряды стационарных наблюдений.

Мониторинг обновления рельефа на регулярно затапливаемых участках остается одним из популярных методов геоморфологических стационарных исследований. Известны работы (Asselman, Middelkoop, 1995; Hupp, Shenk, Kroes et al., 2015), в которых осуществлялся успешный переход от точечных значений мощности слоя наносов (H) и их осадочных показателей (например, D_{50} — средний диаметр частиц) к растрам поверхностей на комплексах форм рельефа либо на отдельных его неровностях. Пространственно-временные признаки осадконакопления, такие как расстояние от меженного русла реки (L) и длительность затопления ловушек (T), при этом определяют возможность доставки осадка по шероховатой пойме (Cotton, Wharton, Bass et al., 2006; Charlton, 2008) и поемность ключевых участков мониторинга (Барышников, 2012; Ciszewski, Czajka, 2015; Янин, 2020). Региональные оценки современной динамики заполнения речных долин наносами, на наш взгляд, могут основываться на классификациях

обстановки осадконакопления с известными скоростями процесса и на расчетах баланса наносов в русловом и пойменном потоках. В последнем случае необходимы фактические данные («контрольные цифры») осадконакопления на профилях через днище долины, которые позволяют выделить пойменные зоны преобладающей эрозии либо аккумуляции, наряду с русловым ложем, где имеют место оба процесса.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Заложение профиля из 16 седиментационных ловушек в Рязанском расширении поймы р. Оки (рис. 1) позволило достичь основной цели — оценки ежегодной скорости накопления пойменного аллювия. Рельеф транsekты отличается полигенетичностью, сопряжением сегментно-грядистых генераций и обширных участков наложенной поймы

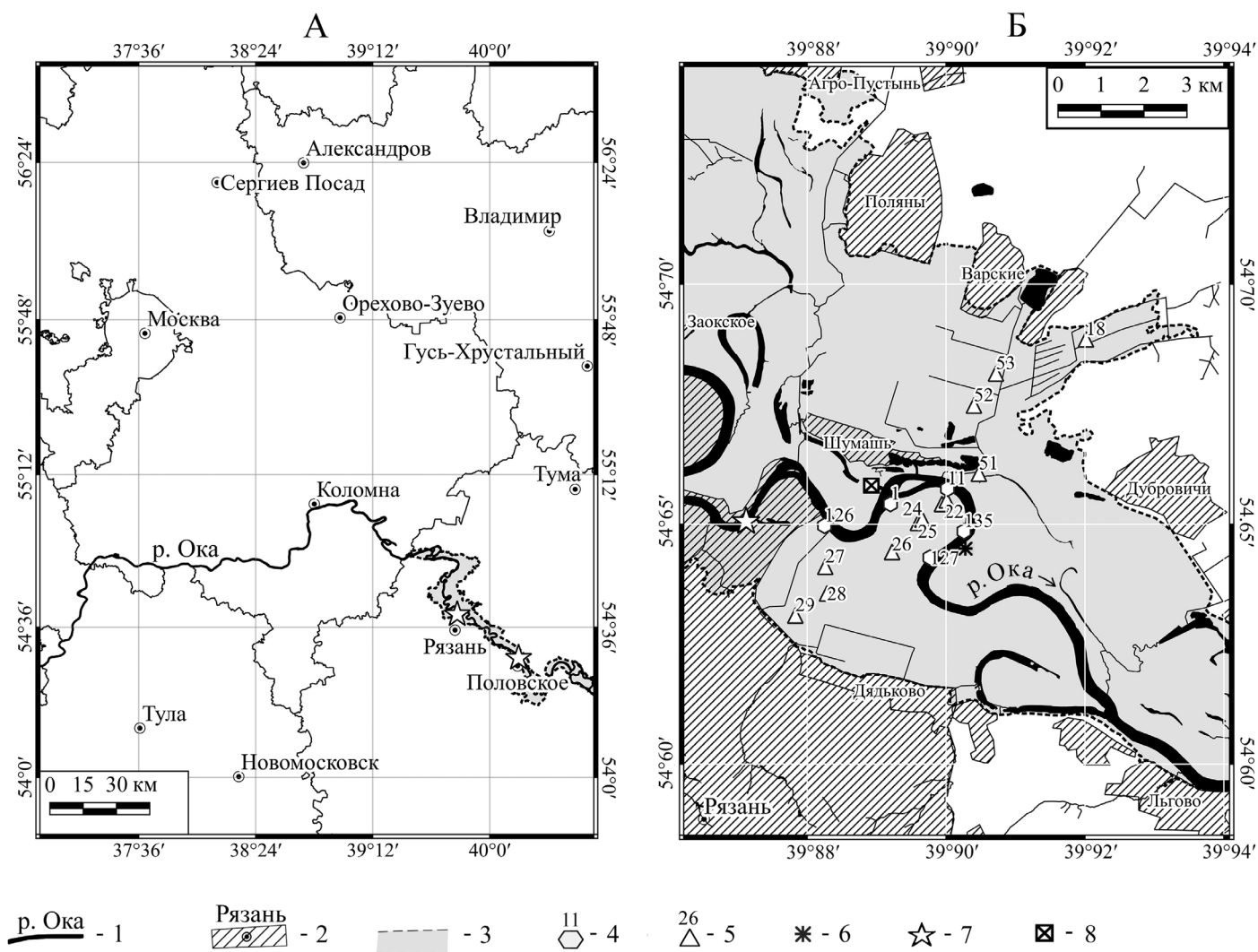


Рис. 1. Расположение района исследований (А) и профиля мониторинга рельефообразования (Б). 1 — реки; 2 — населенные пункты; 3 — пойма р. Оки в Рязанской обл.; 4 — седиментационные ловушки на прирусловой пойме; 5 — то же на высокой пойме; 6 — разрез высокой поймы, вскрывающий наложенный прирусловой вал; 7 — гидрологические посты Рязань и Половское; 8 — яхт-клуб «Маяк»

Fig. 1. Location of the study area (А) and the relief formation monitoring profile (Б). 1 — rivers; 2 — settlements; 3 — Oka River floodplain in Ryazan Oblast; 4 — sedimentation traps on the near-channel floodplain; 5 — also on the high floodplain; 6 — section of the high floodplain, revealing the natural levee; 7 — gauging station 'Ryazan' and 'Polovskoye'; 8 — yacht club 'Mayak'

мы, вовлеченных в аллювиальный режим лишь во второй половине голоцена. Необходимость учета всех субфациальных зон, в частности, таких как межгрядные понижения, прирусловые валы и отмели, превращает профиль в трехмерную полосу мониторинга шириной около 1.5–2.0 км. Общая его длина — 9.4 км, причем крайние точки (ловушки № 29 и № 18) располагаются соответственно на окраине областного центра и в притеррасном заболоченном понижении. В пределах Кальновской излучины, вершина которой обращена на северо-восток, закреплялось 8 сборников аллювия. Хотя двухсторонняя пойма на трансекте и может быть разделена на традиционные зоны (прирусовая, центральная и притеррасная) (Лазаренко, 1964), большее функциональное значение имеет гипсометрическое положение ловушек. Выделяются прирусловые (низкие) позиции (точки мониторинга № 1, 11, 126, 127, 135), соответству-

ющие субфациям оснований прирусловых валов, прирусловых отмелей и затонов. Высота таких позиций относительно меженного русла не превышает 1.0 м. На высокой пойме (точки наблюдения № 18, 22–29, 51–53) ловушки располагаются на положительных и отрицательных формах рельефа, соотносясь с субфациями выровненных участков, гряд, межгрядных ложбин и старичных понижений, и приподняты на 3.0–5.5 м над урезом Оки.

Седиментационные ловушки представлены ковриками из резины (рис. 2) с габаритами 40 × 60 см, имитирующими естественную дневную поверхность рельефа. Дублирование ковриков матами из кокосового волокна не выявило существенной связи между материалом сборника аллювия и параметрами наилка (Воробьев, Кривцов, Кадыров, 2021), поэтому анализируются только результаты, полученные с резиновых ловушек. Методика установки и изъятия ковриков была подробно изложена

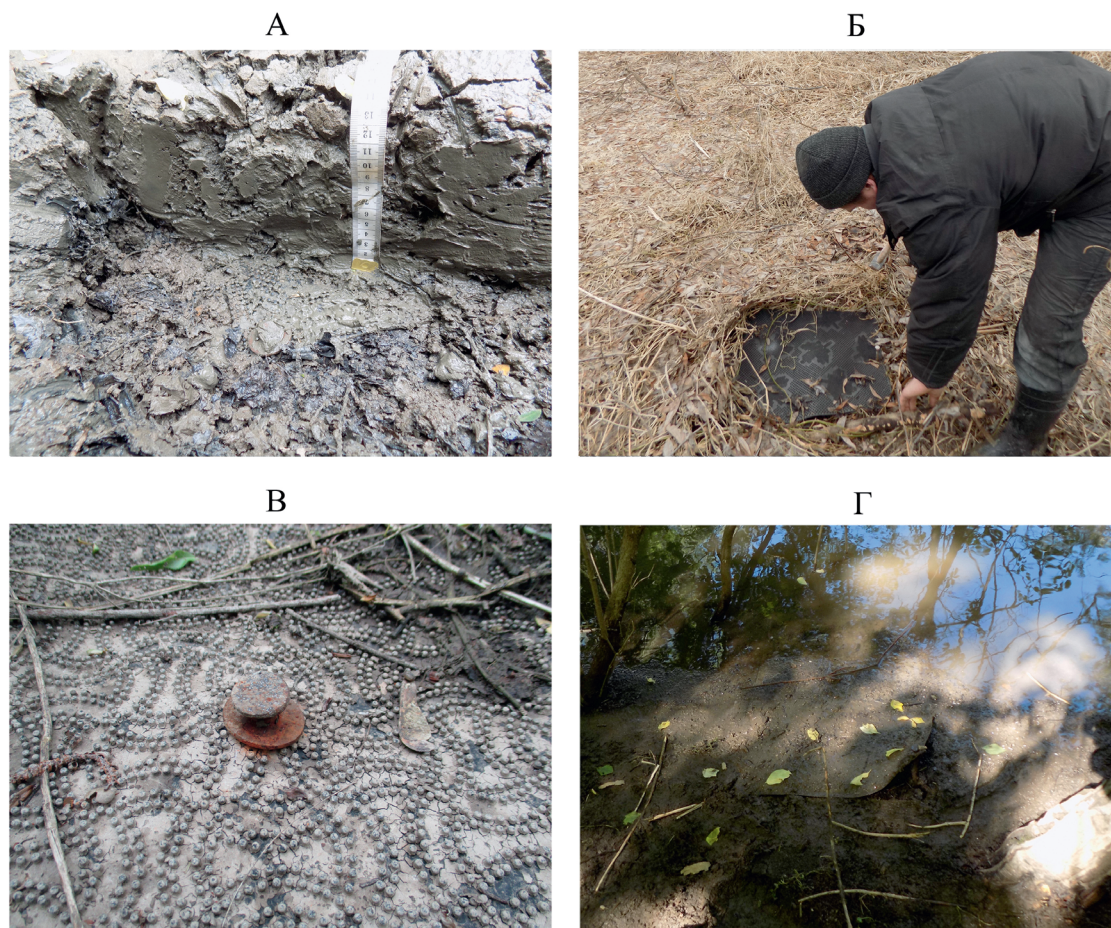


Рис. 2. Примеры наилка на седиментационных ловушках перед их снятием. А — установка и маркировка ловушки № 11; Б — ловушка № 11 после половодья 2021 г.; В — наилок на ловушке № 126 после половодья 2016 г.; Г — ловушка № 127 после половодья 2021 г.

Fig. 2. Sediments on sedimentation traps before their removal. А — trap No. 11 after the 2021 flood; Б — installation and labelling of trap No. 11; В — sediments on trap No. 126 after the 2016 flood; Г — trap No. 127 after the 2021 flood

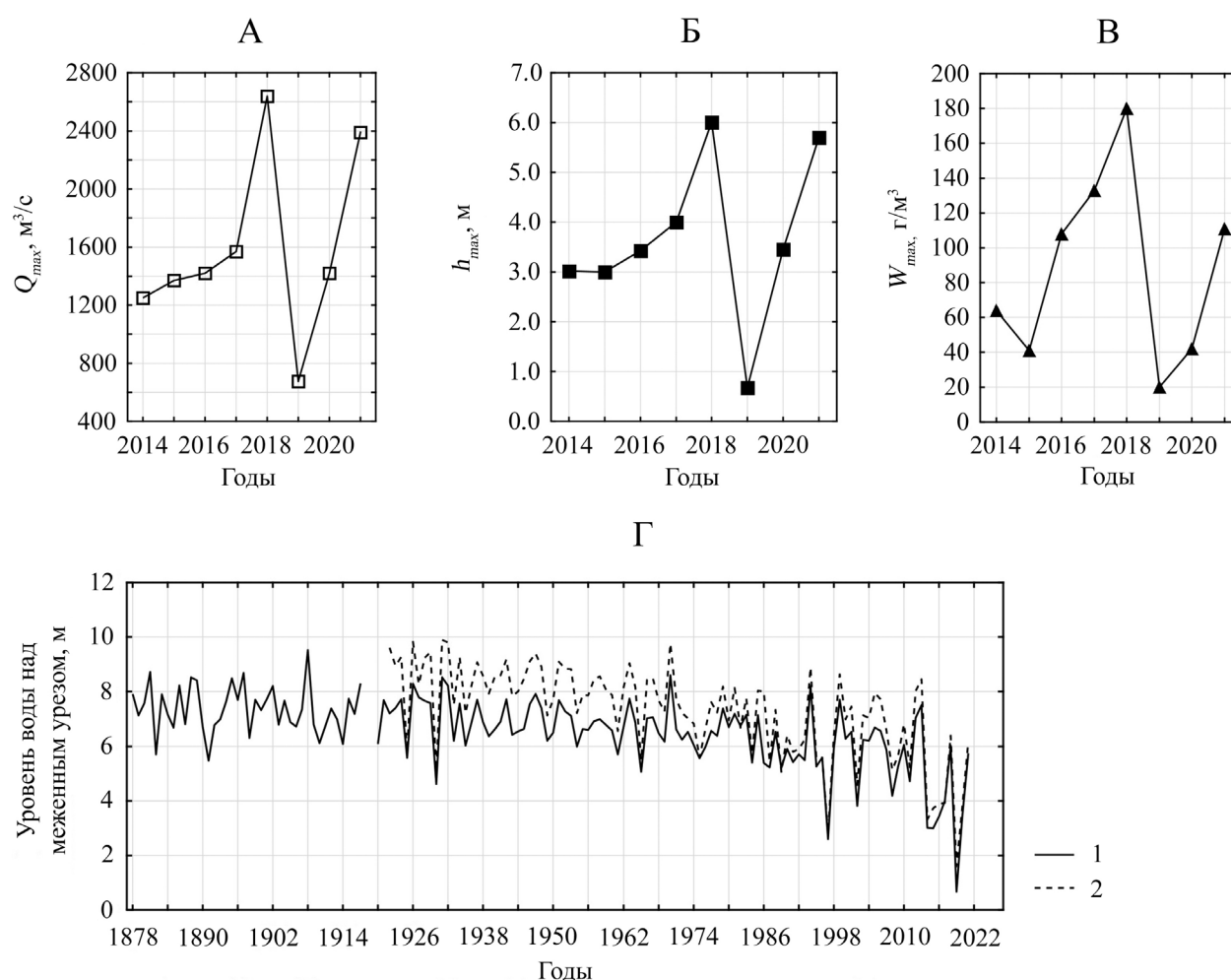


Рис. 3. Динамика элементов водного режима р. Оки в районе исследований. А — максимальные расходы, г.п. Половское; Б — максимальные уровни, г.п. Рязань; В — средняя мутность в половодье между г.п. Калуга и Муром; Г — максимальные уровни на р. Оке: 1 — г.п. Рязань, 2 — г.п. Половское

Fig. 3. Dynamics of the Oka River water regime elements in the study area. А — maximum flow discharge, gauging station Polovskoye; Б — maximum levels, gauging station Ryazan; В — average turbidity in the flood between Kaluga and Murom; Г — maximum levels on the Oka River gauging station: 1 — Ryazan, 2 — Polovskoye

нами ранее (Воробьев, Кадыров, 2020; Воробьев, Кривцов, Кадыров, 2021). Соответственно точкам наблюдения, стационарный мониторинг состояния геокомплексов велся в 2014–2021 гг. на 16 позициях, которые располагались на расстоянии от 8 до 4600 м от русла Оки. Период затопления ловушек был подвержен существенным колебаниям, как из года в год, так и от места к месту. В среднем он составлял 73 дня для сборников аллювия на прирусловых позициях и 15 дней на высокой пойме.

Годы полевого мониторинга пришлись на период нестабильного стока р. Оки (Горбаренко, Варенцова, Киреева, 2021), который на створе г.п. Половское колебался в пределах 10.2–17.2 $\text{км}^3/\text{год}$. Максимальных значений суточные расходы ($Q_{\max}$) достигали в 2018 г. (2640 $\text{м}^3/\text{с}$) и в 2021 г.

(2390 $\text{м}^3/\text{с}$) (рис. 3). Во всех остальных случаях раннее снеготаяние, обусловленное вторжением теплого воздуха с ветрами западных и южных румбов, помешало формированию нормального половодья. Аналогичные колебания испытывали максимальная мутность потока ($W_{\max}$) и уровень Оки ($H_{\max}$). Паводки высотой не более 4.0 м над меженным уровнем затапливали во время своих пиков только ловушки на прирусловых позициях, поэтому параметры осадконакопления для остальных сборников аллювия на графике (рис. 4) равны нулю. Стабильная аккумуляция аллювия сохранялась только на определенном расстоянии от окского русла, тогда как в годы с затоплением 55–65% высокой поймы наблюдалось формирование мощных пойменных потоков и наполнение аккумулирующих емкостей

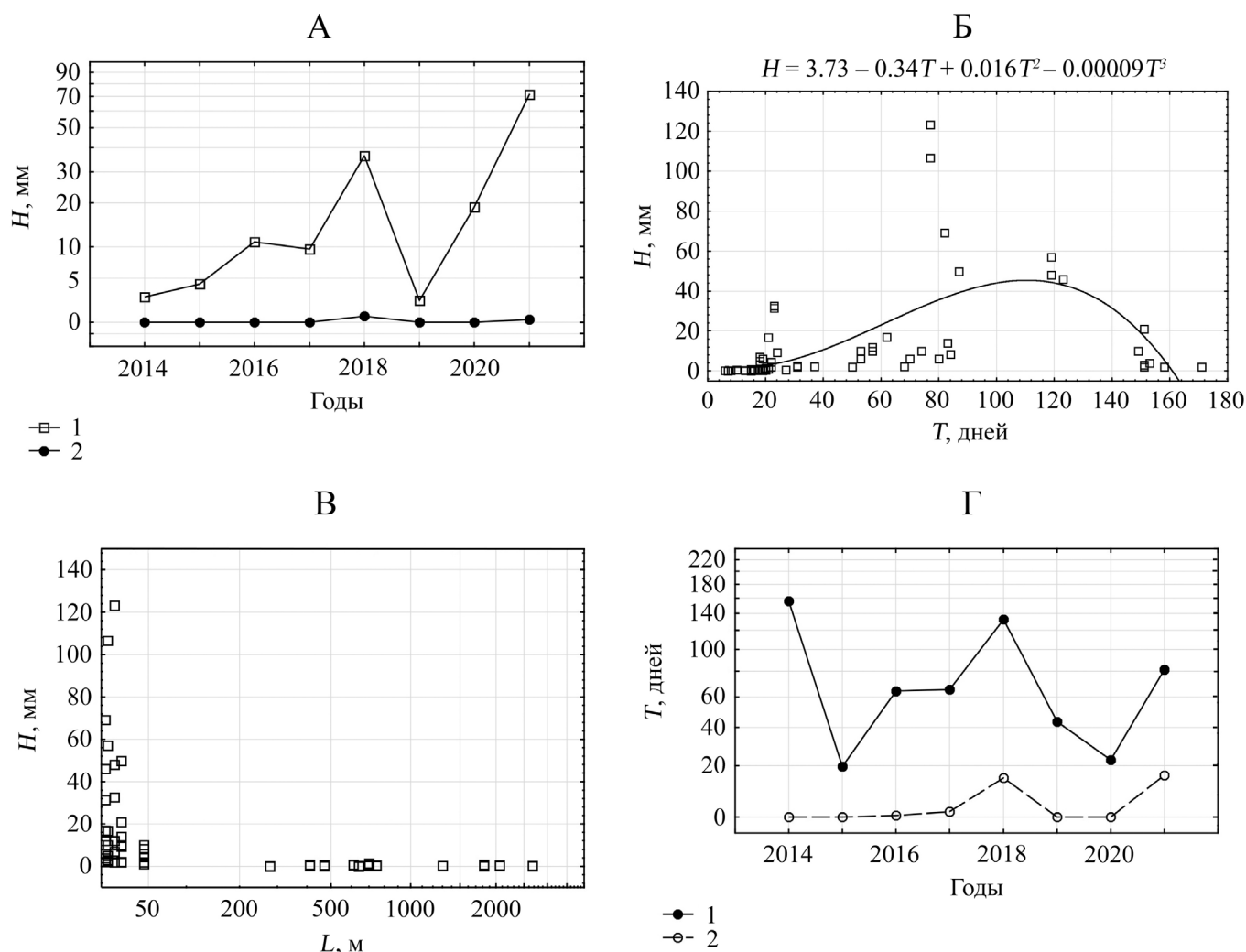


Рис. 4. Результаты определения скорости аккумуляции аллювия на пойме разной высоты. А — средняя мощность слоя наилка H в ловушках; Б — связь длительности затопления T и мощности слоя наилка H . В — связь мощности слоя наилка H и расстояния от русла реки; Г — средняя длительность затопления ловушек T в 2014–2021 гг. 1 — прирусловая пойма; 2 — высокая пойма

Fig. 4. Results of determining the rate of alluvium accumulation on the floodplain of different heights. А — average thickness of the layer of silt H in traps; Б — relationship between the duration of flooding T and the thickness of the layer of silt H . В — relationship between the thickness of the layer of silt H and the distance from the river channel; Г — average duration of trap flooding T in 2014–2021. Floodplain: 1 — riverine; 2 — high floodplain

(Воробьев, 2021). В 2019–2020 гг. весенние половодья были практически не выражены. Аномальным следует считать летний дождевой паводок 2020 г., который был принят нами за аналог «половодья». Он был вызван ливнями на западе и юге окского бассейна — продуктами взаимодействия воздушных масс из Скандинавии и с Черного моря. В период 29.05.2020–01.06.2020 выпало до 100 мм осадков, что обеспечило устойчивый подъем воды, благодаря чему на один год р. Ока приобрела гидрограф, сходный с таковым у северокавказских рек.

Собранный с ловушек наилок представляет собой литологический документ, фиксирующий

последствия гидрологических событий. Информация о вещественном составе наилка получена посредством сочетания ситового и пипеточного гранулометрического анализа (ГОСТ 12536-2014, 2019). Комплекс из 18 сит использован для разделения песчаных фракций в соответствии с градацией Бентворта (Gradziński, Kostecka, Radomski, 1976; Oldfield, Hao, Bloemendal, 2009), а содержание пылевато-глинистых частиц определено согласно ГОСТ 12536-2014. Ока относится к рекам с песчаным дном (Палатов, Новичкова, Быков, 2019; Воробьев, Кадыров, 2020), поэтому частицы крупнее 2.0 мм в наилке, как правило, отсутствуют. Доля

органического вещества ($C_{\text{общ}}$) в отложениях также считается значимым показателем-индикатором в инженерно-геологических (Коробкин, Передельский, 2013), гидрохимических (Чеснокова, Савельев, Злышко и др., 2013; Щеголькова, Веницианов, Звезденкова и др., 2016; Опекунов, Митрофанова, Опекунова, 2017) и педологических (Шишов, 2006; Зайдельман, Беличенко, Бибин, 2013; Zhao, Coles, Wu, 2015; Мартынов, 2019) исследованиях. В большинстве проб аллювия с ловушек, помимо основного минерального компонента, обнаружена также органическая составляющая, хотя встречаются и промытые образцы. Аналитическая работа по определению $C_{\text{общ}}$ проведена в САС «Рязанская», использован фотометрический метод (метод И.В. Тюрина, ГОСТ 26213-2021 (ГОСТ 26213-2021, 2021), заменивший ГОСТ 26213-91). Минимальный объем навески почвогрунтов по упомянутым нормативам в 20 раз меньше, чем для анализа прокаливанием до постоянной массы (по ГОСТ 23740-2016), что становится значимым при слое наилка <1.0 мм.

Органическое вещество наилка входит в геохимический цикл углерода, пополняя его запасы в резервуарах почв, седиментов и педоседиментов. На поймах ряда рек западной части окского бассейна аллювиальный процесс компенсирует минерализацию гумуса на фоне интенсивного овощеводства (Муромцев, Мажайский, Семенов и др., 2011; Зайдельман, Беличенко, Бибин, 2013). Землепользование в Рязанском расширении поймы представлено сенокосением, пастбищным и лесным хозяйством, значительны площади залежных земель. Однако и здесь естественное луговое состояние почв поддерживается за счет доставки органоминеральных наносов, осуществляемой с неодинаковой продолжительностью. Возникает необходимость типизации наблюдаемых ситуаций осадконакопления по их длительности (рис. 5). Для этого мы обратились к классификации поемности В.И. Шрага (Шишов, 2006) с принятыми в ней следующими градациями: К (короткопоемные участки) — 0–7 дней затопления, С (среднепоемные) — 8–15 дней, П (продолжительно поемные) — 16–30 дней, Д (долгопоемные) — 30 дней.

ПОЛУЧЕННЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Средняя мощность слоя наилка на всех ловушках за 7 лет мониторинга составила 12.4 мм. Значения параметра H колеблются на прирусловых участках от 1.0 мм до 123.2 мм и, в общем, прямо связаны с вариациями мощности половодного потока и мутности. Низкие паводки, инспирированные

февральско-мартовским снеготаянием, отлагают слои наносов толщиной менее 17 мм. В эти годы отмечалось ослабление переработки берегов Оки водным потоком. В процесс поступления вещества были недостаточно включены водосборные части эрозионно-русловой системы Окского бассейна. Наносы бассейнового и руслового генезиса в ограниченном количестве поступали на прирусловые участки, где около 80% случаев аккумуляции зафиксированы в долгопоемных условиях.

Двукратные различия между H_{2018} и H_{2021} объясняются прежде всего прогрессирующей промышленной и рекреационной нагрузкой в окрестностях трансекты мониторинга. За 2014–2021 гг. площадь строительных карьеров на участке поймы между селами Шумашь, Красный Восход и Дубровичи увеличилась на 30 га. Это сопровождалось антропогенной эрозией примерно 150 000 м³ плодородного почвенного слоя, формирующего верхнюю часть грунтов пойменной фации аллювия (aIVp). При затоплении грунты с нарушенным сложением на стенках карьеров и выемок становятся источником взвеси для половодного потока. Кроме того, на верхнем крыле Кальновской излучины в 2017 г. началось заложение туристического объекта «Яхт-клуб «Маяк» (Яхт-клуб «Маяк», 2024) (см. рис. 1). Основные земляные работы по расчистке затона р. Оки здесь пришлось на 2020–2022 гг. Результатом планировки и нарушения естественной геометрии берегов заводи стало накопление мощного (местами до 150 мм) слоя пылевато-глинистого наилка в 2021 г. на аккумулятивном берегу Кальновской излучины р. Оки (ловушки № 11 и 135) (см. рис. 2). Подобные случаи локального нарушения баланса эрозии и аккумуляции наносов в системе «пойма–русло» на реках, подобных Оке, довольно многочисленны (Ciszewski, Czajka, 2015; Draut, Ritchie, 2015; Эрозионно-русловые..., 2017). При разрушении дамб и антропогенном моделировании рельефа в таких поймах ниже по течению от места техногенного воздействия может наблюдаться разовая аккумуляция наилка мощностью до 0.5–1.0 м.

Средняя продолжительность весенних максимумов стока в годы исследования колебалась от 20 до 160 дней. Динамика синоптических факторов формирования талого стока в холодные сезоны была существенно различной. Наблюдались как теплые или очень короткие малоснежные зимы (2014–2016, 2020 гг.), так и сезоны с преждевременными затратами значительных влагозапасов снега (2017 и 2019 гг.), а также «обычные» суровые зимы (2018 и 2021 гг.). В контексте интенсивности осадконакопления энергия потока оказывается важнее времени контакта воды и поверхности ре-

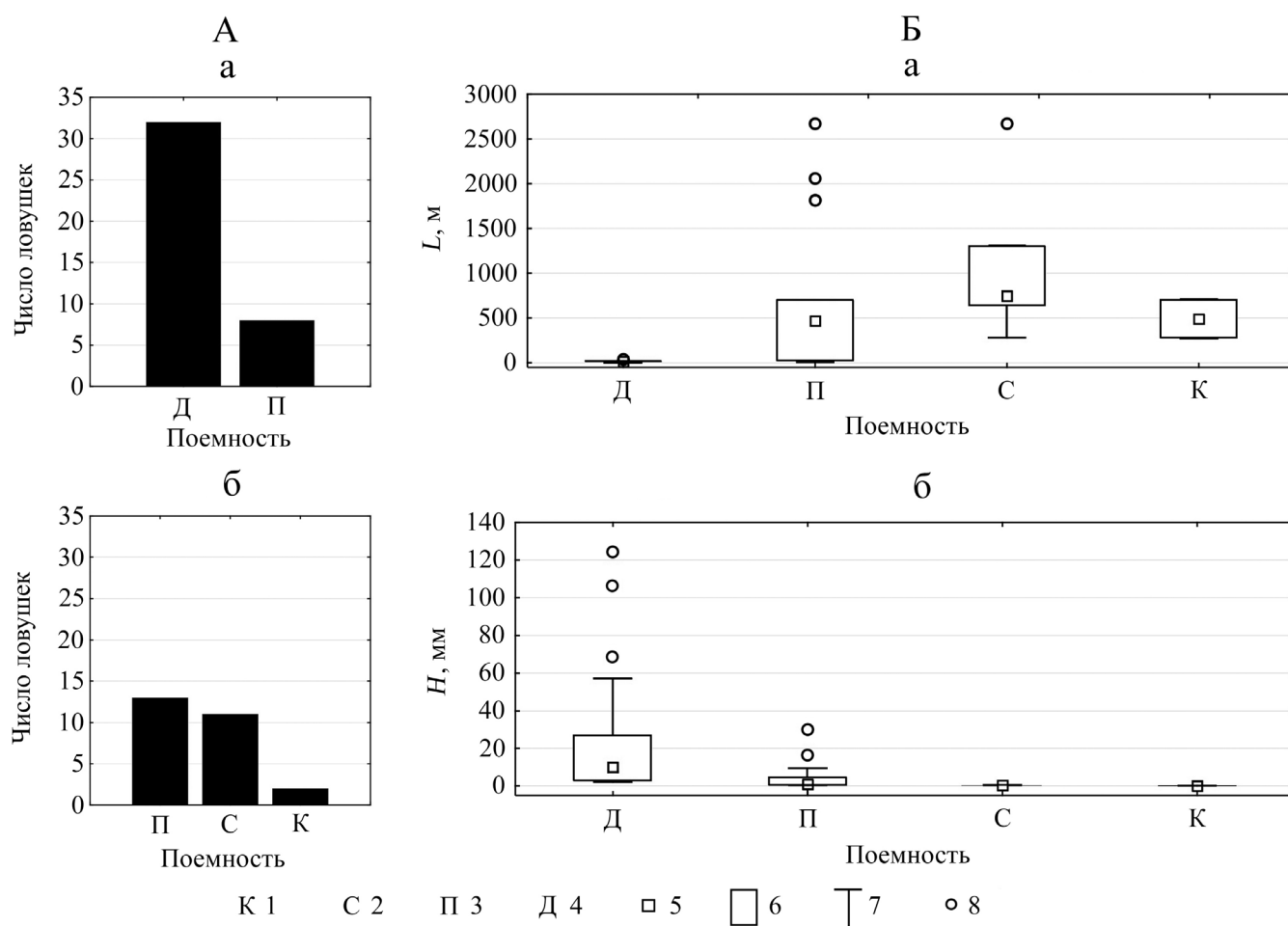


Рис. 5. Распределение поемности седиментационных ловушек по классификации В.И. Шрага. А – типы поемности, по В.И. Шрагу: а – низкая пойма, б – высокая пойма. Б – поемность: а – в зависимости от расстояния до ловушек от русла L , б – мощность пойменного наилка. Поемность: 1 – краткая, 2 – средняя, 3 – продолжительная, 4 – долгая. Элементы дисперсионного анализа: 5 – медиана, 6 – квартильный размах, 7 – 9% и 91% обеспеченности, 8 – выбросы

Fig. 5. Distribution of sedimentation trap according to V.I. Shrag classification. А - types of floodplain capacity according to V.I. Shrag: а – low floodplain, б – high floodplain. Б – pomacity: а – depending on the distance of traps from the channel L , б – thickness of floodplain silt. Flood duration: 1 – low, 2 – medium, 3 – long, 4 – over long. Elements of variance analysis: 5 – median, 6 – quartile range, 7 – 9% and 91% availability, 8 – outliers

льефа. В частности, после летнего паводка 2020 г. с ловушек снят слой аллювия, вдвое превышающий по параметру H наносы половодья 2017 г., в то время как продолжительность последнего была втрое большей (см. рис. 4). Одинаково маломощный (<7 мм) аллювий был собран в 2014–2015 гг., хотя средний $T_{2014} = 160$ дней, а $T_{2015} = 20$ дней.

Надежным индикатором преобладающих седиментационных тенденций в тот или иной сезон является параметр D_{50} , который примерно соответствует диаметру частиц, наиболее устойчивых на дне потока (Gradziński, Kostecka, Radomski et al., 1976). Для сезонов 2015–2018 гг. и 2020 г. средняя

крупность частиц соответствует мелкому песку – типичной разновидности грунта подводных частей окских прирусловых отмелей (рис. 6) (Лазаренко, 1964; Гласко, Фоломеев, 1981). Ближе к пристрежневой части руслового сечения донные отложения р. Оки обычно выполнены крупным и гравелистым песком (Лазаренко, 1964). Роль циркуляционных течений, по-видимому, была наибольшей при формировании наилка 2018 г. Доля частиц 0.25–1.0 мм в данном сезоне достигает 31%, а значение D_{50} почти приурочено к межфракционной границе мелкого и среднего песка. На ловушках № 1, 11 и 135 присутствовали, хоть и в небольшом количе-

стве, частицы фракции 0.5–1.0 мм. Их движение начинается при довольно высоких скоростях течения (около 0.3–0.4 м/с) (Phillips, Walling, 1999; Эрозионно-русловые..., 2017), однако тот факт, что главным компонентом осадков являются частицы диаметром 0.1–0.3 мм, свидетельствует о том, что перемещение самого крупного материала осуществлялось при высокоамплитудных пульсациях скорости потока. Поскольку образования грядовых микроформ зафиксировано не было, можно заключить, что перенос влекомых наносов происходил преимущественно в гладкой фазе. Заиление поверхности рельефа русла отсутствовало, и был возможен размыв отмелей. Однако более вероятна миграция псаммитового материала из приглубых участков русла и быстрая остановка частиц вне активной зоны последнего.

Отмеченный механизм доставки влекомых наносов на пойму иногда реализуется и при формировании наложенных прирусловых валов (рис. 6), часто встречающихся в районе исследования. В их составе велика роль фракций мелкого и среднего песка, которые на трансекте Рязань–Красный

Восход за семь лет выполнили 48% объема осадков низкой поймы. Сходные результаты для субфаций прирусловых отмелей (их высоких тыловых частей) и валов на средней Оке были получены еще в середине XX в. (Лазаренко, 1964). В то время осадки аккумулятивных берегов соответствовали промытым от ила и детрита пескам с небольшой примесью алеврита. Единичные текстуры заиления с многочисленной фауной *Dreissena polymorpha*, *Viviparus viviparus*, *Unio pictorum* и *Sphaerium rivicola* литологически документировали паводки с пониженной энергией рельефообразования.

Максимум полинома $D_{50} = f(T)$ приходится на интервал 80–140 дней (рис. 7), однако фактические данные на двухосевом графике распределены слишком неравномерно, чтобы считать зависимость надежной. Тем не менее энергия транспортирующей среды достигает наибольших значений в продолжительно- и долгопоемных условиях, что соответствует прирусловой обстановке осадконакопления. Доля песка возрастает при увеличении мощности слоя наносов и глубины затопления при руслонаполнении. Плавный рост кривой продолжается

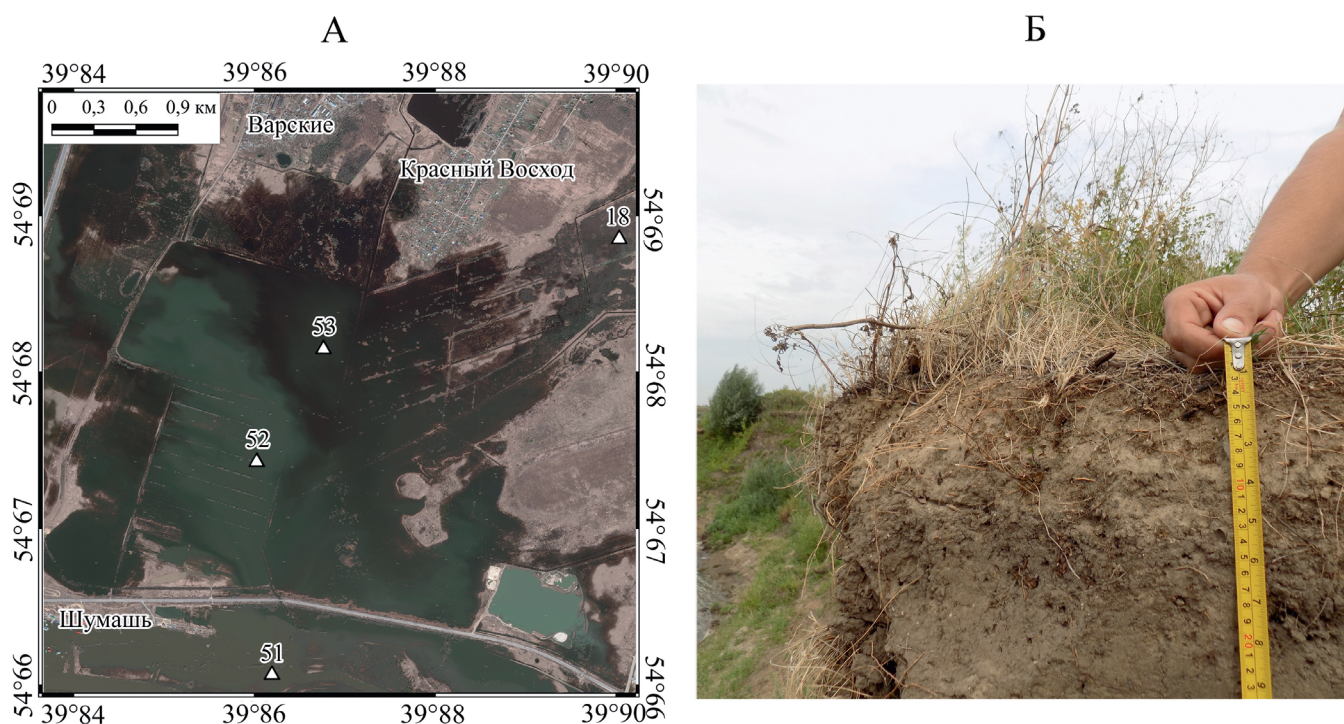


Рис. 6. Пойменные отложения наложенного прируслового вала и анизотропия пойменного потока по мутности на спутниковом снимке. А — пойменный поток в паводье 2018 г., поступление наносов на центральную пойму (спутниковый снимок Yandex. Satellite). Б — наложенный прирусловой вал на подмываемом берегу высокой поймы (см. рис. 1)

Fig. 6. Floodplain deposits of the natural levees and anisotropy of floodplain flow in terms of turbidity in the satellite image. А — floodplain flow in the flood of 2018 — sediment inflow on the central floodplain (Yandex. Satellite image). Б — natural levee on the concave bank of the high floodplain (see fig. 1)

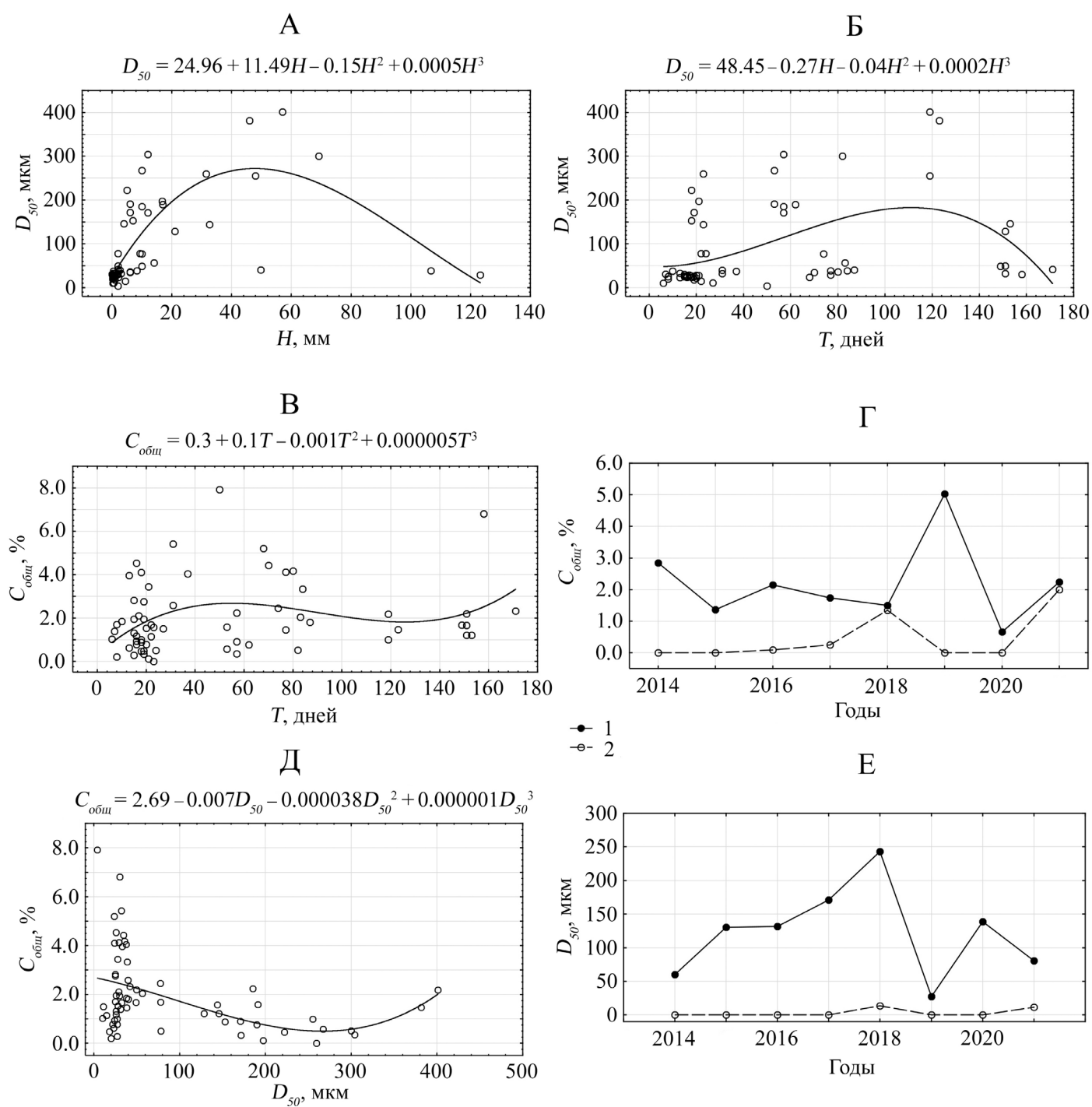


Рис. 7. Вещественный состав наилка, снятого с седиментационных ловушек. А — связь мощности наилка H и средней крупности частиц D_{50} . Б — связь длительности затопления ловушки T и D_{50} . В — связь содержания органического вещества $C_{\text{общ}}$ и длительности затопления ловушек T . Г — содержание органического вещества в наилке. Д — связь $C_{\text{общ}}$ и D_{50} . Е — D_{50} в ловушках. 1 — прирусловая пойма; 2 — высокая пойма

Fig. 7. Substantial composition of sediments removed from sedimentation traps. А — correlation of sediments H and average particle size D_{50} . Б — relationship of trap flooding duration T and D_{50} . В — relationship of soil organic matter content (SOC) and duration of trap flooding T . Г — SOC in the sediments. Д — relationship between SOC and D_{50} . Е — D_{50} in traps. 1 — riverine floodplain; 2 — high floodplain

от первых дней до четырех месяцев нахождения ловушки под водой, однако далее по графику резко падает. Устойчивый паводочный подъем воды в пойме является интегральным следствием функционирования эрозионно-русловой системы. Чем дольше половодье, тем большая часть от потенциальной гидрологической емкости бассейна задействуется. При кратковременных и невысоких паводках горизонтальные русловые деформации затухают, экспорт наносов из пойменных берегов снижается. Опыт отечественных и зарубежных исследований в районах с холодным периодом года (Charlton, 2008; Коробкин, Передельский, 2013) свидетельствует, что весной требуется некоторое время для оттаивания береговых грунтов и насыщения геологических тел откосов капиллярной и гравитационной влагой. В 2015 г. зима была короткой, половодье слабо выраженным, а скорость боковой эрозии на многих излучинах р. Оки не превышала 0.2 м (Воробьев, Кривцов, Кадыров, 2021). Реализация транспортирующей способности потока на аккумулятивных берегах региона в значительной мере происходила за счет влекомых наносов. Поэтому значения D_{50} на втором году наблюдений находятся в интервале 0.125–0.25 мм при среднем $H = 4.2$ мм. Хотя значительное количество аллохтонного органического вещества поступает в пойму Оки с водосборов верхней части бассейна, микроагрегаты, детрит и древесный уголь дневных и погребенных почв, извлекаемые из размываемых берегов реки, также являются источником материала для наилка. Относительная стабильность откосов русла позволяет, по крайней мере частично, объяснить низкое содержание углерода в свежем аллювии 2015 г.

Дефицит руслообразующих наносов в продуктах аккумуляции на сборниках аллювия наблюдался в 2014 и в 2019 гг. На протяжении зимне-весеннего паводка первого года мониторинга источники твердофазного материала для потока ограничивались техногенными стоками, отложениями на дне и на подводных частях русловых откосов. То же можно сказать и о наиболее низком за 145-летний период инструментальных наблюдений половодье 2019 г. Практически весь аллювий в обоих случаях представлен частицами <0.063 мм, в среднем около 5% его приходилось на органическую составляющую. По нашим данным, в отложениях, слагающих берега отдельных затонов на средней Оке в 2019 г., $S_{\text{общ}}$ достигал 10–13%, что сопоставимо с донными отложениями озер (Вахрамеева, Лосюк, 2021). В ловушке № 126, расположенной в аналогичной седиментационной обстановке, в 2019 г. $S_{\text{общ}} = 7.9\%$. Заиление за счет коллоидов и мелкого алеврита вместе с аккумуляцией детрита обеспе-

чивалось низкими скоростями потока в половодье. Санитарное состояние берегов ухудшилось, однако при вскрытии консолидированных отложений отелей в 2020–2023 гг. обнаружено, что маломощные прослой тонкодисперсного материала сохраняются плохо. Вероятно, он фильтруется глубже в грунт, размывается ливневыми осадками, перемешивается инфауной при подтоплении и затоплении в летние паводки. Токсикологические риски возрастают не только для животных, но и для различных экологических групп водных растений, поскольку, например, для произрастания макрофитов оптимальные условия складываются в акваториях с замедленным водообменом (Cotton, Wharton, Bass et al., 2006; Янин, 2020). Маломощные половодья с низким разбавлением и ослаблением способности р. Оки к самоочищению также снижают рекреационный потенциал берегов водотока (Щеголькова, Веницианов, Звезденкова и др., 2016).

Полное отсутствие даже тонкого песка зафиксировано в сборниках аллювия на высокой пойме, который чаще всего отлагается в средне- и продолжительно поемных условиях (см. рис. 5). Средняя скорость накопления аллювия составляет 0.45 мм/год, максимальная — 1.5 мм/год. Наилкок отличается пылевато-глинистым составом и относится к продуктам аккумуляции взвешенных наносов бассейнового и руслового генезиса. Средний диаметр его частиц достигает 0.025 мм. По данным С.Р. Чалова и В.А. Ефимова (Чалов, Ефимов, 2021), он соответствует «седловине» дифференциальной кривой гранулометрического состава взвешенных наносов р. Оки. Основной вклад в формирование взвеси должен быть приурочен к интервалу размерности 0.06–0.09 мм, но полученные нами данные близки к транзитному материалу р. Москвы ($D_{50} = 0.01$ мм). Очевидно существование ландшафтных ограничивающих факторов при транспорте твердофазного материала вглубь поймы Оки и, как выяснилось, его оценка по параметру L может быть довольно грубой.

Топографические и дистанционные данные свидетельствуют о воздействии на транспорт наносов геометрии рельефа и объектов инфраструктуры (см. рис. 7). Дамба Солотчинского шоссе преграждает путь пойменному потоку, подпор которого выше сооружения по результатам моделирования в Stream-2D составляет +0.5 м (Фингерт, Крыленко, Головлев, 2018). На левобережной пойме в границах трансекты мониторинга гребень паводка понижен на 0.13 м. Дешифрирование спутниковых снимков Yandex Satellite, сделанных на пике половодья 2018 г., показало существование здесь линии тока взвешенных наносов. Она пролегает по мели-

оративным каналам и естественным понижениям, постепенно трансформируясь на центральной пойме в однонаправленное течение шириной до 0.9 км. Высокие концентрации взвеси в окрестностях ловушки № 53 и более осветленный поток около сборника аллювия № 52 определяют трехкратную разницу в значениях H (0.9 и 0.3 мм).

Несоответствие поемности и аллювиальности в полной мере проявилось в слое наилка в ловушке № 18, расположенной близко к границе затопляемой поймы (Воробьев, 2021). В весенний сезон 2018 г. и в последнем году мониторинга мощность наилка здесь не превышала 0.1 мм. Оба холодных сезона с затоплением данного притеррасного участка не оставили литологических записей, поскольку твердофазное вещество, видимо, было представлено биомассой (торфом, пылью, микроостатками организмов). Основной источник доставки минеральных взвешенных наносов (русло Оки) располагается на расстоянии 4.6 км, разрабатываемые пойменные карьеры — в 3.4–3.6 км, а примыкающая первая надпойменная терраса обладает слишком низкой энергией рельефа для инспирирования активной литодинамики при подтоплении.

Явной зависимости между обогащением наносов углеродом и длительностью затопления сборников аллювия не выявлено. На территориях, граничащих с Рязанским расширением днища окской долины, расположено 27 сельских населенных пунктов и областной центр — г. Рязань с мощным комплексом предприятий нефтехимической, строительной и машиностроительной отраслей промышленности. Пойменные массивы и примыкающие к ним территории используются под пастбища для крупного рогатого скота, овощное хозяйство, развито сенокошение, в прошлом — добыча торфа. Отсюда наличие множества трудно прогнозируемых диффузных и точечных источников поступления органических веществ как в русловой, так и в пойменный поток во время максимума половодья. Методологически контроль вклада точечных источников экотоксикантов должен осуществляться на створах выше и ниже по течению водотока от источника (Щеголькова, Веницианов, Звезденкова и др., 2016). Диффузное поступление $C_{\text{общ}}$ на центральную пойму может обеспечиваться и местными запасами углерода в гумусовых и органогенных (торфяных) горизонтах почв. Так, вымывание углерода из гумусово-аккумулятивного горизонта педонов, установленное на р. Амур по микроэлементам-маркерам (Мартынов, 2019), развивается при длительном затоплении на фоне восстановительных процессов и подкисления почв.

Более очевидна связь между D_{50} и $C_{\text{общ}}$. Несмотря на сглаженную полиномиальную кривую, проявляется ее главный максимум на интервале 0–50 мкм, большая часть углерода сосредоточена в тонких фракциях твердой фазы. Данная закономерность является известной, подтвержденной исследованиями структуры почвенно-поглощающего комплекса почв (Муромцев, Мажайский, Семенов, 2011), свежего аллювия (Лазаренко, 1964; Asselman, Middelkoop, 1995; Cotton, Wharton, Bass et al., 2006), эпифитовзвеси (Steiger, Gurnell, Petts, 2001; Goldschneider, Haralampides, MacQuarrie, 2007; Янин, 2020) и донных отложений приморских озер (Вахрамеева, Лосюк, 2021). В донных отложениях водоемов, испытывающих промышленную и рекреационную нагрузку, $C_{\text{общ}}$ в явном виде является интегральным показателем. Под ним подразумевают сочетание углистых частиц, почвенных микроагрегатов, водорослей, сапропеля затонов, фекальных частиц и многих других компонентов. Их накопление напрямую влияет на ряд гигиенических параметров природных вод, таких как запах, плавающие примеси, мутность, химическое и биохимическое потребление O_2 , и на условия развития патогенных микроорганизмов (Щеголькова, Веницианов, Звезденкова и др., 2016). В некоторых действующих стандартах (СанПиН 2.1.7.573-96, 1997) параметр $C_{\text{общ}}$ (пересчет на сухой продукт) непосредственно входит в перечень нормативных показателей, например, при контроле состава сточных осадков, которые на 50–90% могут состоять из органического вещества.

Полученные фактические данные о скорости пойменного осадконакопления, хотя и предоставили ценную геоморфологическую информацию, актуализировали междисциплинарные проблемы, которые на региональном уровне остаются далекими от разрешения. В первую очередь речь идет о пространственном анализе аккумуляции аллювия на берегах Оки и на ее пойме, для которого необходима основа в форме хотя бы среднемасштабных цифровых моделей рельефа. Выявление участков прирусловой, центральной и притеррасной поймы, в наибольшей степени уязвимых к техногенным загрязнениям, может быть осуществлено за счет совмещения стационарного мониторинга рельефообразования, методов геодезии, геохимии и наблюдений за гидрологическими элементами речного стока. В Рязанском расширении Ока — умеренно загрязненная река. На этом фоне естественно стремление интерпретировать тренды аллювиального процесса с геоэкологических позиций. Вместе с тем состав наносов (будущих почвогрунтов aIVp), скорость обновления поверхности поймы, соотно-

шение минеральной и органической составляющих наилка позволяют объяснить многие гидролого-геоморфологические особенности эволюции пойменного рельефа. Разработка специфических литологических проблем не теряет актуальности на современном этапе неустойчивого стока реки, когда прогноз развития территорий в супераквальных ландшафтных позициях становится неординарной задачей.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Семилетний полевой мониторинг аккумуляции аллювия свидетельствует о четко выраженной границе между прирусловой и центральной поймой, пролегающей примерно в 50 м от меженного русла Оки. Литология свежих наносов в границах участков, примыкающих к водоему, отличается повышенной среднегодовой мощностью слоев (17 мм) и средним диаметром частиц 0.12 мм. Несмотря на пространственно-временные различия седиментационной обстановки, наиболее подвижными на окских берегах повсеместно были частицы мелкого и среднего песка. За 60–70 лет, прошедших со времен литологических исследований Е.В. Шанцера и А.А. Лазаренко на р. Оке в ее среднем течении (Лазаренко, 1964), средневзвешенный (за несколько лет) гранулометрический состав отмелей существенно не изменился.

Современные климатические изменения документируются в атипичных для XX в. литологических записях, примером которых являются отложения 2014 и 2019 гг. Для данных сезонов удалось зафиксировать накопление маломощных пылевато-глинистых наилок вместо обычных слоев песков и супесей толщиной в первые сантиметры. Низкие весенние половодья, прошедшие в эти годы, имели обеспеченность по уровням >95% за 145 лет наблюдений водного режима Оки. Снижение весеннего стока повышает экологические риски, что отражается в высокой поглотительной способности пылевато-глинистого наилка, относительно обогащенного органическим веществом. Тем не менее три четверти всех проб аллювия, изъятых с седиментационных ловушек низкой поймы в 2014–2021 гг., представляли собой минеральные грунты ($C_{\text{общ}} < 3\%$). В 2021 г. кумулятивное действие затопления пойменных карьеров, эрозии подмываемых берегов и оживления бассейнового массопереноса привело к резкому повышению скорости аккумуляции на прирусловых участках (в 2–35 раз больше, чем в предыдущие годы). Ввиду прогрессирующего разрушения естественного рельефа в строительных целях содержание углерода на отдельных позициях

низкой и высокой поймы в последнем году мониторинга увеличилось до 5–6%.

На высокую пойму доставляются только взвешенные наносы, при этом в понижениях рельефа осадконакопление идет на 80–600% интенсивнее, чем на кратко- и среднепоемных гривах и валах. Средняя крупность взвешенных наносов на высокой пойме в 2.5 раза меньше ожидаемой для р. Оки, но в абсолютных значениях отличия невелики (0.025 мм против 0.08 мм) и объясняются удалением учетных площадок от русла, в котором в толщу воды вымываются и песчаные частицы. Среднее время пребывания дневной поверхности под водой на позициях высокой поймы составляет 15 дней, что, по классификации В.И. Шрага, соответствует средней поемности. В целом прогноз тенденций заполнения пойменных аккумулярующих емкостей может опираться на классификацию их положения и морфометрический анализ местности. Полученная нами информация позволяет пока лишь уточнить общие оценки параметров осадконакопления. Более сложный анализ, вероятно, будет основываться на спутниковых и топографических данных, полезная информация из которых на предварительном этапе уже использована нами в настоящей работе.

БЛАГОДАРНОСТИ

Исследование выполнено при поддержке РФФИ, проект № 22-77-00050.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Александровский А.Л., Гласко М.П. Взаимодействие аллювиальных и почвообразовательных процессов на разных этапах формирования пойм равнинных рек в голоцене (на примере рек центральной части Восточно-Европейской равнины) // Геоморфология. 2014. № 4. С. 3–17.

Алексеевский Н.И., Белозерова Е.В., Чалов С.Р. Седиментационная ловушка. Описание полезной модели к патенту. М.: Федеральная служба по интеллектуальной собственности. 2012. 10 с.

Барышников Н.Б. Проблемы морфологии, гидрологии и гидравлики пойм. СПб.: РГГМУ. 2012. 426 с.

Вахрамеева Е.А., Лосюк Г.Н. Распределение органического вещества в донных отложениях меромиктического озера Трехцветное (Кандалакшский залив Белого моря) // «География: развитие науки и образования». Междунар. науч.-практ. конф. XXIV Герценовские чтения. 2021. СПб.: РГПУ им. А.И. Герцена. С. 290–293.

Воробьев А.Ю. Поемность локальных морфологических комплексов поймы реки Оки: опыт

определения по результатам геоинформационного анализа конфигурации зоны затопления // Вест. Рязан. гос. ун-та им. С.А. Есенина. 2021. № 1 (70). С. 163–171.

Воробьев А.Ю., Кадыров А.С. Аккумуляция аллювиальных отложений в прирусловых поймах // Геология, география и глобальная энергия. 2020. № 3 (78). С. 17–27.

Воробьев А.Ю., Кривцов В.А., Кадыров А.С. Современная динамика накопления и состав аллювия прирусловой поймы реки Оки // Уч. зап. Казан. ун-та. Сер. Естеств. науки. 2021. Т. 163, кн. 4. С. 603–625.

Гласко М.П., Фоломеев Б.А. Методика определения скоростей накопления пойменного аллювия равнинных рек по археолого-геоморфологическим данным (на примере средней Оки) // Геоморфология. 1981. № 3. С. 26–36.

Горбаренко А.В., Варенцова Н.А., Киреева М.Б. Трансформация стока весеннего половодья и паводков в бассейне верхней Волги под влиянием климатических изменений // Водное хозяйство России: проблемы, технологии, управление. 2021. № 4. С. 6–28.

ГОСТ 12536-2014. Грунты. Методы лабораторного определения гранулометрического (зернового) и микроагрегатного состава. Межгосударственный стандарт. М.: Стандартинформ. 2019. 23 с.

ГОСТ 26213-2021. Почвы. Методы определения органического вещества. Межгосударственный стандарт. М.: Стандартинформ. 2021. 11 с.

Зайдельман Ф.Р., Беличенко М.В., Бибин А.С. Деградация и восстановление почв поймы р. Москва за последние 50 лет // Почвоведение. 2013. № 11. С. 1377–1386.

Кононов М.С., Пановская М.З. Состав аллювиальных наносов и почв Дединовского расширения Окской поймы // Почвоведение. 1973. № 11. С. 18–26.

Коробкин В.И., Передельский Л.В. Инженерная геология и охрана окружающей среды. Ростов-на-Дону: Изд-во Рост. ун-та. 2013. 348 с.

Лазаренко А.А. Литология аллювия равнинных рек гумидной зоны (на примере Днепра, Десны, Оки) / Тр. ГИН. Вып. 120. 1964. 236 с.

Мартынов А.В. Содержание подвижных форм микроэлементов в аллювиальных почвах поймы среднего течения р. Амур и влияние на них паводка 2013 года // Вест. Воронеж. гос. ун-та. Сер. География. Геоэкология. 2019. № 2. С. 32–39.

Мохов И.И. Российские климатические исследования в 2015–2018 гг. // Изв. РАН. Физика атмосферы и океана. 2020. Т. 56. № 4. С. 376–396.

Муромцев Н.А., Мажайский Ю.А., Семенов Н.А., Лыткин И.И., Шуравилин А.В., Томин Ю.А. Почвы долин рек Оки и Угры и их продуктивность. Рязань: РГГУ им. профессора П.А. Костычева. 2011. 203 с.

Опекунов А.Ю., Митрофанова Е.С., Опекунова М.Г. Техногенная трансформация состава донных отложений рек и каналов Санкт-Петербурга // Геоэкология. Инженерная геология. Гидрогеология. Геоэкология. 2017. № 4. С. 48–61.

Палатов Д.М., Новичкова А.А., Быков А.Д. Результаты гидробиологических исследований в среднем течении р. Оки // Тр. Окского заповедника. 2019. № 38. С. 267–292.

СанПиН 2.1.7.573-96 «Гигиенические требования к использованию сточных вод и их осадков для орошения и удобрения». М.: Информ.-издат. центр Минздрава России. 1997. 29 с.

Симонов Ю.Г. Геоморфология. Методология фундаментальных исследований. СПб.: Питер. 2005. 427 с.

Фингерт Е.А., Крыленко И.Н., Головлев П.П., Алабян А.М. Влияние инфраструктуры на характеристики затопления пойм (на примере р. Ока в среднем течении) // Третьи Виноградовские чтения. Грани гидрологии. СПб.: Изд-во СПбГУ. 2018. С. 944–948.

Чалов С.Р., Ефимов В.А. Гранулометрический состав взвешенных наносов: характеристики, классификации, пространственная изменчивость // Вест. Моск. ун-та. Сер. 5. География. 2021. № 4. С. 91–103.

Чеснокова С.М., Савельев О.В., Злышко А.С., Шаров А.Ю., Сережина К.В. Оценка уровня загрязнения донных отложений малых рек Владимирской области // Изв. Самар. науч. центра РАН. 2013. Т. 15. № 3–6. С. 1993–1996.

Шишов С.А. Аллювиальные темногумусовые почвы Окской поймы в районе села Дединово, их агроэкологические свойства и динамика почвенных процессов // Проблемы почвоведения. М.: Почв. ин-т им. В.В. Докучаева. 2006. С. 174–198.

Щеголькова Н.М., Веницианов Е.В., Звезденкова Г.А., Скрипчинский А.К., Рыбка К.Ю. Многолетняя динамика процессов самоочищения как интегральный показатель для выбора управляющих воздействий (на примере реки Москвы) // Водное хозяйство России. 2016. № 4. С. 103–117.

Эрозионно-русловые системы / Под ред. Р.С. Чалова, В.Н. Голосова, А.Ю. Сидорчука. М.: ИНФРА-М. 2017. 702 с.

Янин Е.П. Геохимия речной эпифитовзвеси в зоне влияния промышленного города. М.: АРСО, 2020. 139 с.

Яхт-клуб «Маяк». Официальный сайт.

<https://mayak-62.ru>. Дата обращения: 08.01.2024.

Allan J.D., Callisto M.M. Stream Ecology: Structure and Function of Running Waters, 2nd Edition. Chapman and Hall, New York. 2007. 450 p.

Asselman N.E.M., Middelkoop H. Floodplain sedimentation: Quantities, patterns and processes // *Earth Surface Processes and Landforms*. 1995. Vol. 20. P. 481-499.

Ciszewski D., Czajka A. Human-induced sedimentation patterns of a channelized lowland river // *Earth Surface Processes and Landforms*. 2015. Vol. 40. Iss. 6. P. 783-795.

Charlton R. Fundamentals of fluvial geomorphology. London: Routledge. 2008. 234 p.

Cotton J.A., Wharton G., Bass J.A.B., Heppell C.M., Wotton R.S. The effects of seasonal changes to in-stream vegetation cover on patterns of flow and accumulation of sediment // *Geomorphology*. 2006. Vol. 77. Iss. 3-4. P. 320-334.

Draut A.E., Ritchie A.C. Sedimentology of New Fluvial Deposits on the Elwha River, Washington, USA, Formed During Large-Scale Dam Removal // *River research and Applications*. 2015. Vol. 31. P. 42-61.

Goldschneider A.A., Haralampides K.A., MacQuarrie K.T.B. River sediment and flow characteristics near a bank filtration water supply: Implications for riverbed clogging // *Journal of Hydrology*. 2007. Vol. 344. Iss. 1-2. P. 55-69.

Gradziński R., Kostecka A., Radomski A., Unrug R. *Sedymentologia: Wydawnictwa Geologiczne*. Warszawa. 1976. 653 p.

Hupp C. R., Shenk E. R., Kroes D. E., Willard D. A., Townsend P. A., Peet R. K. Patterns of floodplain sediment deposition along the regulated lower Roanoke River, North Carolina: Annual, decadal, centennial scales // *Geomorphology*. 2015. Vol. 228. P. 666-680.

Harris T., Richards K.S. Design and calibration of a recording bedload trap // *Earth Surface Processes and Landforms*. 1995. Vol. 20. P. 711-720.

Nanson G.C., Croke J.C. A genetic classification of floodplains // *Geomorphology*. 1992. Vol. 4. Iss. 6. P. 459-486.

Oldfield F., Hao Q., Bloemendal J., Gibbs-Eggar Z., Patil S., Guo Z. Links between bulk sediment particle size and magnetic grain-size: general observations and implications for Chinese loess studies // *Sedimentology*. 2009. Vol. 56. P. 2091-2106.

Phillips J.M., Walling D.E. The particle size characteristics of fine-grained channel deposits in the River Exe Basin, Devon, UK // *Hydrological Processes*. 1999. Vol. 13. Iss. 1. P. 1-19.

Steiger J., Gurnell A.M., Petts G.E. Sediment deposition along the channel margins of a reach of the middle River Severn, UK // *River Research and Applications*. 2001. Vol. 17. Issue 4-5. Special Issue: Eighth International Symposium on Regulated Streams. P. 443-460.

Voss J.C. Deposition Patterns and Rates of Mining-Contaminated Sediment within a Sedimentation Basin System, S.E. Missouri". MSU Graduate Theses. 2017. 3074.

Zhao R., Coles N.A., Wu J. Status of heavy metals in soils following long-term river sediment application in plain river network region, southern China // *Journal of Soils and Sediments*. 2015. Vol. 15. P. 2285-2292.

ОБ АВТОРАХ

Воробьев Алексей Юрьевич, доцент кафедры географии, экологии и туризма, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Рязанский государственный университет имени С.А. Есенина», кандидат географических наук, тел. 89511011707, a.vorobyov90@mail.ru, ORCID:

<https://orcid.org/0000-0002-7110-4232>.

Кривцов Вячеслав Андреевич, профессор, профессор кафедры географии, экологии и туризма, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Рязанский государственный университет имени С.А. Есенина», доктор географических наук, v.krivtsov@rzn-rsu.ru.

Водорезов Алексей Владимирович, доцент, заведующий кафедрой географии, экологии и туризма, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Рязанский государственный университет имени С.А. Есенина», кандидат географических наук, a.vodorezov@rzn-rsu.ru.

Варнаков Алексей Николаевич, доцент кафедры географии, экологии и туризма, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Рязанский государственный университет имени С.А. Есенина», кандидат технических наук, a.varnakov@rzn-rsu.ru.

Кадыров Александр Сергеевич, аспирант, лаборант кафедры географии, экологии и туризма, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Рязанский государственный университет имени С.А. Есенина», alieksandr.kadyrov93@yandex.ru, ORCID: <https://orcid.org/0009-0007-1416-7898>.

FIELD MONITORING OF ALLUVIAL SEDIMENT ACCUMULATION IN THE OKA RIVER FLOODPLAIN (IN THE MIDDLE PART OF THE ITS BASIN)

A.Y. Vorobyov, V.A. Krivtsov, A.V. Vodorezov, A.N. Varnakov, A.S. Kadyrov

Ryazan State University named after S.A. Yesenin, Ryazan, Russia

Abstract. We present the results of using the method of sedimentation traps (mats) in geomorphological monitoring of alluvial sedimentation rates in the floodplain of the Oka River. Only two spring floods between 2014 and 2021 inundated the central (high) floodplain, resulting in the accumulation of a 0.45 mm layer of sediments. We observed sedimentation on the low floodplain annually. The average thickness of the mineral (according to National Standard 25100-2020) sediment layer on the mats reaches 19.8 mm/year. Only silty-clay sediments are transported far from the Oka River channel, and accumulation of sandy particles was noted in the river channel zone. We determined that the high floodplain at the monitoring points is inundated typically within 15 days, which corresponds to an average flood according to the V.I. Shrag's gradation. In riverine areas, the direct interaction between stream water masses and bank soils can extend for 1–6 months and is highly dependent on the type of spring and flood parameters. This allows us to identify such sedimentation settings as areas with regular manifestation of fluvial morpholithogenesis, sensitive to fluctuations in the climate of the Oka basin.

Keywords: Oka River, floodplain, sediment trap, spring flood, alluvium, granulometric analysis, organic carbon

ACKNOWLEDGMENTS

The study was funded by the Russian Science Foundation, Project no. 22-77-00050.

REFERENCES

- Allan J.D., Callisto M.M. *Stream Ecology: Structure and Function of Running Waters*, 2nd Edition. Chapman and Hall, New York. 2007. 450 p.
- Alexandrovskiy A.L., Glasko M.P. Interaction of alluvial and soil-forming processes at different stages of formation of floodplains of plain rivers in the Holocene (on the example of rivers in the central part of the East European Plain) // *Geomorfologija*. 2014. № 4. C. 3-17. (In Russ.)
- Alekseevskiy N.I., Belozerova E.V., Chalov S.R. Sedimentation trap. Description of useful model to the patent. Moscow: Federal Service for Intellectual Property. 2012. 10 p. (In Russ.)
- Asselman N.E.M., Middelkoop H. Floodplain sedimentation: Quantities, patterns and processes // *Earth Surface Processes and Landforms*. 1995. Vol. 20. P. 481-499.
- Baryshnikov N.B. Problems of morphology, hydrology and hydraulics of floodplains. SPb.: RGGMU. 2012. 426 p. (In Russ.)
- Catchment erosional-fluvial systems / pod red. R.S. Chalova, V.N. Golosova, A.Ju. Sidorchuka. M.: INFRA-M. 2017. 702 p. (In Russ.)
- Ciszewski D., Czajka A. Human-induced sedimentation patterns of a channelized lowland river // *Earth Surface Processes and Landforms*. 2015. Vol. 40. Iss. 6. P. 783–795.
- Chalov S.R., Efimov V.A. Granulometric composition of suspended sediments: characteristics, classifications, spatial variability // *Lomonosov Geography Journal*. 2021. № 4. C. 91–103. (In Russ.)
- Charlton R. *Fundamentals of fluvial geomorphology*. London: Routledge. 2008. 234 p.
- Chesnokova S.M., Savelyev O.V., Zlyvko A.S., Sharov A.Yu., Serezhina K.V. Assessment of the level of pollution of bottom sediments of small rivers in the Vladimir region // *Izvestija Samarskogo nauchnogo centra RAN*. 2013. Book 15. № 3–6. P. 1993-1996. (In Russ.)
- Cotton J.A., Wharton G., Bass J.A.B., Heppell C.M., Wotton R.S. The effects of seasonal changes to in-stream vegetation cover on patterns of flow and accumulation of sediment // *Geomorphology*. 2006. Vol. 77. Iss. 3–4. P. 320-334.
- Draut A.E., Ritchie A.C. Sedimentology of New Fluvial Deposits on the Elwha River, Washington, USA, Formed During Large-Scale Dam Removal // *River research and Applications*. 2015. Vol. 31. P. 42–61.
- Fingert E.A., Krylenko I.N., Golovlev P.P., Alabyan A.M. Infrastructure influence on the characteristics of floodplain inundation (on the example of the Oka River in the middle reaches) // *Third Vinogradov Readings. Frontiers of hydrology*. SPb.: Izd-vo SPbSU. 2018. P. 944–948. (In Russ.)
- Glasko M.P., Folomeev B.A. Methodology for determining the accumulation rates of floodplain alluvium of plain rivers by archaeological and geomorphological data (on the example of the middle Oka) // *Geomorfologija*. 1981. № 3. C. 26–36. (In Russ.)

Goldschneider A.A., Haralampides K.A., MacQuarrie K.T.B. River sediment and flow characteristics near a bank filtration water supply: Implications for riverbed clogging // *Journal of Hydrology*. 2007. Vol. 344. Iss. 1–2. P. 55–69.

Gorbarenko A.V., Varencova N.A., Kireeva M.B. Transformatsiya stoka vesenniy polovod'ja i pavodkov v bassejne verhnaya Volga pod vlianiem klimaticheskikh izmeneniy (in Russian) // *Vodnoe hozjajstvo Rossii: problemy, tehnologii, upravlenie*. 2021. № 4. P. 6–28. (In Russ.)

Gradziński R., Kostecka A., Radomski A., Unrug R. *Sedymentologia: Wydawnictwa Geologiczne*. Warszawa. 1976. 653 p.

Harris T., Richards K.S. Design and calibration of a recording bedload trap // *Earth Surface Processes and Landforms*. 1995. Vol. 20. P. 711–720.

Hupp C. R., Shenk E. R., Kroes D. E., Willard D. A., Townsend P. A., Peet R. K. Patterns of floodplain sediment deposition along the regulated lower Roanoke River, North Carolina: Annual, decadal, centennial scales // *Geomorphology*. 2015. Vol. 228. P. 666–680.

Kononov M.S., Panovskaya M.Z. Composition of alluvial sediments and soils of the Dedinovskiy Oka floodplain // *Eurasian Soil Science*. 1973. № 11. P. 18–26. (In Russ.)

Korobkin V.I., Peredel'skij L.V. *Engineering geology and environmental protection*. Rostov-na-Donu: Izd-vo Rostov. un-ta. 2013. 348 p. (In Russ.)

Lazarenko A.A. Lithology of alluvium of plain rivers of humid zone (on the example of Dnieper, Desna, Oka). *Trudy GIN. Vyp. 120*. 1964. 236 p. (In Russ.)

Martynov A.V. Content of mobile forms of trace elements in alluvial soils of the floodplain of the middle reaches of the Amur River and the impact of the flood of 2013 on them // *Vest. Voronezh. gos. un-ta. Ser. Geografija. Geojekologija*. 2019. № 2. P. 32–39. (In Russ.)

Mokhov I.I. Russian climatic research in 2015–2018 // *Izvestiya, Atmospheric and Oceanic Physics*. 2020. Book 56. № 4. P. 376–396.

Muromtsev N.A., Mazhaisky Y.A., Semyonov N.A., Lytkin I.I., Shuravilin A.V., Tomin Y.A. Soils of the Oka and Ugra river valleys and their productivity. Ryazan: RSATU named after Professor P.A. Kostychev. 2011. 203 p.

Nanson G.C., Croke J.C. A genetic classification of floodplains // *Geomorphology*. 1992. Vol. 4. Iss. 6. P. 459–486.

National standart 12536-2014. Soils. Methods of laboratory determination of granulometric (grain) and microaggregate composition. Interstate standard. Moscow: Standardinform. 2019. 23 p. (In Russ.)

National standart 26213-2021. Soils. Methods for determination of organic matter. Interstate standard. Moscow: Standardinform. 2021. 11 p. (In Russ.)

Oldfield F., Hao Q., Bloemendal J., Gibbs-Eggar Z., Patil S., Guo Z. Links between bulk sediment particle size and magnetic grain-size: general observations and implications for Chinese loess studies // *Sedimentology*. 2009. Vol. 56. P. 2091–2106.

Opekunov A.Yu., Mitrofanova E.S., Opekunova M.G. Technogenic transformation of the composition of bottom sediments of rivers and canals of St. Petersburg // *Geojekologija. Inzhenernaja geologija. Hidrogeologija. Geokriologija*. 2017. № 4. P. 48–61. (In Russ.)

Palatov D.M., Novichkova A.A., Bykov A.D. Results of hydrobiological studies in the middle reaches of the Oka River // *Trudy Okskogo zapovednika*. 2019. № 38. P. 267–292. (In Russ.)

Phillips J.M., Walling D.E. The particle size characteristics of fine-grained channel deposits in the River Exe Basin, Devon, UK // *Hydrological Processes*. 1999. Vol. 13. Iss. 1. P. 1–19.

Sanitary rules and standards 2.1.7.573-96 'Hygienic requirements for the use of wastewater and its sludge for irrigation and fertilisation'. M.: Inform.-edat. centre of the Ministry of Health of Russia. 1997. 29 p.

Simonov Ju.G. *Methodology of fundamental research*. SPb.: Piter. 2005. 427 p. (In Russ.)

Shchegolkova N.M., Venitsianov E.V., Zvezdenkova G.A., Skripchinskiy A.K., Rybka K.Y. Multiyear dynamics of self-purification processes as an integral indicator for selecting control actions (by the example of the Moscow River) // *Vodnoe hozjajstvo Rossii*. 2016. № 4. P. 103–117. (In Russ.)

Shishov S.A. Alluvial black humus soils of the Oka River floodplain in the area of Dedinovo village, their agroecological properties and dynamics of soil processes // *Problems of Soil Science*. M.: Soil Institute named after V.V. Gubkin. V.V. Dokuchaev. 2006. P. 174–198. (In Russ.)

Steiger J., Gurnell A.M., Petts G.E. Sediment deposition along the channel margins of a reach of the middle River Severn, UK // *River Research and Applications*. 2001. Vol. 17. Issue 4–5. Special Issue: Eighth International Symposium on Regulated Streams. P. 443–460.

Vakhrameeva E.A., Losyuk G.N. Distribution of organic matter in the bottom sediments of the meromictic lake Trekhtsvetnoe (Kandalaksha Bay of the White Sea) // *Geography: development of science and education*. International Scientific and Practical Conf. XXIV Herzen Readings. 2021. SPb.: A.I. Herzen Russian State Pedagogical University. C. 290–293. (In Russ.)

Voss J. C. Deposition Patterns and Rates of Mining-Contaminated Sediment within a Sedimentation Basin System, S.E. Missouri". *MSU Graduate Theses*. 2017. 3074.

Vorobyev A.Yu. Floodability of local morphological complexes of the Oka River floodplain: experience in determining the flood zone configuration based on the results of geoinformation analysis // Vest. Rjazan. gos. un-ta im. S.A. Esenina. 2021. № 1 (70). P. 163–171. (In Russ.)

Vorobyev A.Yu., Kadyrov A.S. Accumulation of alluvial sediments in riverine floodplains // Geologiya, geografija i global'naja jenergija. 2020. № 3 (78). P. 17–27. (In Russ.)

Vorob'ev A.Ju., Krivcov V.A., Kadyrov A.S. Current dynamics of accumulation and composition of alluvium in the near-channel floodplain of the Oka river (Russia) // Uch. zap. Kazan. un-ta. Ser. estestv. nauki. 2021. T. 163. kn. 4. P. 603–625. (In Russ.)

Yacht Club 'Lighthouse'. [Electronic data]. Access way: <https://mayak-62.ru>. (access date: 08.01.2024).

Yanin E.P. Geochemistry of river epiphytic suspension in the zone of influence of an industrial city. M.: ARSO, 2020. 139 p. (In Russ.)

Zaidelman F.R., Belichenko M.V., Bibin A.S. Degradation and restoration of soils of the Moscow River floodplain for the last 50 years // Eurasian Soil Science. 2013. № 11. P. 1377–1386. (In Russ.)

Zhao R., Coles N.A., Wu J. Status of heavy metals in soils following long-term river sediment application in plain river network region, southern China // Journal of Soils and Sediments. 2015. Vol. 15. P. 2285–2292.

ABOUT THE AUTHORS

Aleksey Y. Vorobyov, Candidate of Geographical Sciences, Associate Professor, Department of Geography, Ecology, and Tourism, "Ryazan State University named after S.A. Yesenin", Candidate of Geographical Sciences, a.vorobyov90@mail.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7110-4232>.

Vyacheslav A. Krivtsov, Doctor of Geographical Sciences, Professor, Full Professor of the Department of Geography, Ecology and Tourism, Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education "Ryazan State University named after S.A. Yesenin", v.krivtsov@rzn-rsu.ru.

Alexey V. Vodorezov, Candidate of Geographical Sciences, Associate Professor, Head of the Department of Geography, Ecology and Tourism, Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education "Ryazan State University named after S.A. Yesenin", a.vodorezov@rzn-rsu.ru.

Alexey N. Varnakov, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Department of Geography, Ecology and Tourism, Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education "Ryazan State University named after S.A. Yesenin", a.varnakov@rzn-rsu.ru.

Aleksandr S. Kadyrov, post-graduate student, assistant, Department of Geography, Ecology, and Tourism, "Ryazan State University named after S.A. Yesenin", aliekssandr.kadyrov93@yandex.ru, ORCID: <https://orcid.org/0009-0007-1416-7898>.