

ОРИГИНАЛЬНАЯ СТАТЬЯ

УДК 551.4.042

doi: 10.26907/2542-064X.2021.4.603-625

## СОВРЕМЕННАЯ ДИНАМИКА НАКОПЛЕНИЯ И СОСТАВ АЛЛЮВИЯ ПРИРУСЛОВОЙ ПОЙМЫ РЕКИ ОКИ

*А.Ю. Воробьев, В.А. Кривцов, А.С. Кадыров*

*Рязанский государственный университет имени С.А. Есенина, г. Рязань, 390000, Россия*

### Аннотация

В 2014–2018 гг. нами были предприняты стационарные исследования литологических характеристик свежих аллювиальных наносов, собранных при помощи седиментационных ловушек с участков прирусловой поймы р. Оки. Установлено, что наиболее интенсивная аккумуляция происходит на вершинах и нижних крыльях окских излучин – мощность слоя наносов здесь достигала 50–60 мм/год. Подобная динамика осадконакопления отмечалась преимущественно в 2018 г. во время половодья, когда на русловых отмелях отлагались пески и суглинистые пески. В затоны Оки и на поймы ее притоков ежегодно поступал тонкий материал в виде илов, илистых суглинков и глиноилистых суглинков. Выпадение песчаных частиц в затонах происходило также лишь в 2018 г. В предыдущие два года на русловых отмелях накапливались илы, илистые суглинки и песчаные суглинки. Половодья с пониженными расходами (2014–2015 гг.) отличались аккумуляцией маломощного наилка (не более 18 мм/год), крупность которого определялась длительностью затопления ловушек и ходом половодья.

**Ключевые слова:** аллювий, река Ока, седиментационная ловушка, пойма, песчаное русло, весеннее половодье

### Введение

Река Ока, являющаяся наиболее крупным правым притоком р. Волги (рис. 1), в среднем течении отличается слабо зарегулированным стоком и развитой поймой. Благодаря выраженной годовой ритмичности водного режима р. Оки возможны прогноз и оценка геоморфологических последствий паводков и половодий, рассматривающихся как главные рельефообразующие события для интразональных пойменных ландшафтов. Фундаментальные представления о развитии ландшафтов данного типа включают определение устойчивости русла, темпов обновления минерального компонента синлитогенных почв и оценку вероятности проявления опасных для человека рельефообразующих процессов. Примером прикладного аспекта исследований пойменно-русловой аккумуляции наносов является определение актуальных ареалов выпадения тонкодисперсных наносов – потенциальных сорбентов экотоксикантов.

На данный момент для среднего течения р. Оки имеются лишь самые общие представления о скорости аккумуляции аллювия в ее прирусловой и центральной пойме [1, 2]. Цель настоящего исследования заключалась в получении информации не только о скорости пойменного осадконакопления, но и о пространственной

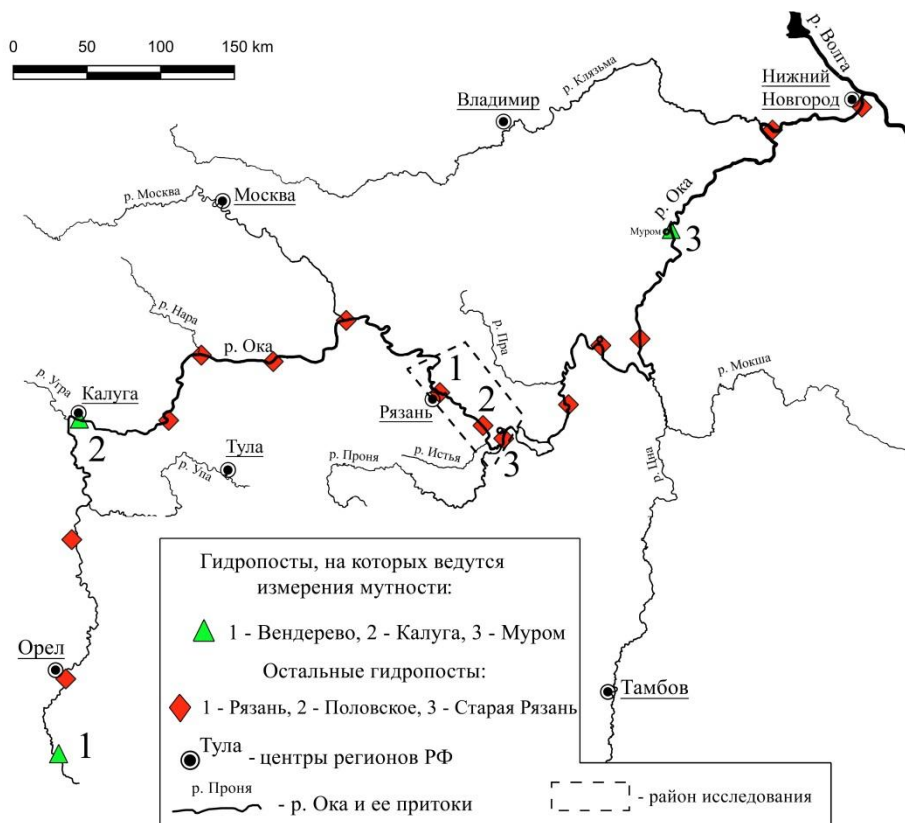


Рис. 1. Район исследования и пункты гидрологического мониторинга на р. Оке

организации данного процесса, особенно в прирусловой пойме низкого уровня, в большей степени обеспеченной половодными расходами и затопляемой на наиболее продолжительный срок [3]. Анализ вещественного состава половодного наилка, обновляющего поверхность пойменно-руслового рельефа, позволяет сформировать представление о степени современного заиления берегов и русла Оки, а также о расположении участков, уязвимых к техногенному загрязнению. Накопленный опыт мониторинга аллювиальной аккумуляции на поймах рек зарубежной Европы [4–6], Азии [7], США [8, 9], Австралии [10] и России [11–14] свидетельствует о значительном, но далеко еще не полностью реализованном потенциале использования прямых методов наблюдения.

В приречной зоне осадконакопления окской поймы в 2014–2018 гг. каждый год нами устанавливались специальные ловушки для половодного наилка. Разработана методика их применения для определения мощности слоя и механического состава аллювия, отлагающегося в половодье на отдельных формах рельефа низкой прирусловой (< 2.5 м над урезом реки) поймы [14, 15]. Несмотря на то что сам метод ловушек опробован и используется давно [8, 11], непосредственно для поймы р. Оки он применяется впервые. В подобных работах измерения скорости аллювиального осадконакопления производятся на площадках из полевого шпата [4] либо задействуются маты из искусственной травы [5]. Иногда используются и другие модификации данного метода, в которых изменениям подвергается материал ловушек [6, 7, 10] и их расположение в системе «пойма – русло» [10].

Высокая результативность применения седиментационных ловушек, хотя и при существенной трудоемкости, проявляется в возможности перехода от приблизительных оценок к точным значениям мощности свежих наносов, отлагающихся на поверхности пойменного рельефа [4–6, 9, 10, 12]. Получаемые с помощью отмеченного метода результаты находятся не только в области динамической геоморфологии. В наилке, отобранном с ловушек, содержится литологическая информация, которая может быть использована для гидравлического моделирования транспорта наносов, а также для корреляции скоростей древнего и современного осадконакопления в пойме р. Оки.

### Район и методы исследований

К среднему течению р. Оки относится отрезок окской долины от впадения в нее р. Угры до слияния р. Оки и р. Мокши [16]. Глубина долины на этом участке изменяется от 35 до 56 м, ширина – от 2 до 40 км. Долина асимметрична. Пойма реки смещена к ее правому коренному борту относительной высотой от 40 до 56 м, надпойменные террасы (от одной до трех) располагаются в основном на левобережье, где образуют террасовую равнину трех уровней: 100–110 м (первая надпойменная терраса), 110–118 м (вторая), 118–125 м (третья) [16, 17]. Все террасы имеют четвертичный возраст [1, 16].

Пойма р. Оки в ее среднем течении имеет четковидное строение и представляет собой чередование расширенных (до 6–12 км) и суженных (до 1.5–3.0 км) участков. Стационарные исследования велись в двух пойменных расширениях («Рязанское» и «Спасское») и в разделяющем их сужении («Половское»), на отрезке русла р. Оки в 743–604 км от ее устья (рис. 1 и 2). Для расширений характерны сегментно-гривистые и наложенные поймы. В Половском сужении по площади абсолютно преобладают параллельно-гривистые пойменные генерации, сформированные при перемещении всего русла параллельно самому себе. Русло р. Оки в пределах пойменных расширений преимущественно занимает центральное положение, в Половском сужении оно отжато к правому борту долины. Ширина пояса современного меандрирования достигает 1.5–3.0 км. Средняя относительная высота поймы над урезом Оки в Рязанском расширении составляет 5.4 м, в Половском сужении – 7.1 м, в Спасском расширении – 6.6 м.

При реализации метода седиментационных ловушек использовали резиновые рифленые коврики с рисунком размером 40 × 60 см и аналогичные по габаритам коврики из кокосового волокна (для имитации дерна). По количеству резиновые сборники аллювия абсолютно преобладали над ловушками из волокна, причем последние использовались лишь как дублирующие. Ловушки устанавливали осенью или в предзимье, реже весной накануне половодья и закреплялись девятью гвоздями, длиной 30 см каждый, все сборники аллювия имели GPS-координаты и заранее определенные с помощью тахеометра Sokkia CX-106 (Sokkia, Япония) z-координаты высот. Ловушки с наносами снимали сразу же после спада половодья при ежедневном контроле актуального уровня реки с помощью соответствующих сервисов мониторинга (в том числе и для р. Оки), находящихся в свободном доступе [18]. Отдельно устанавливали также и мерные реперы с отметками для уровня воды, нулевой уровень которых был достоверно известен. Регулярные полевые выезды к местам установки ловушек

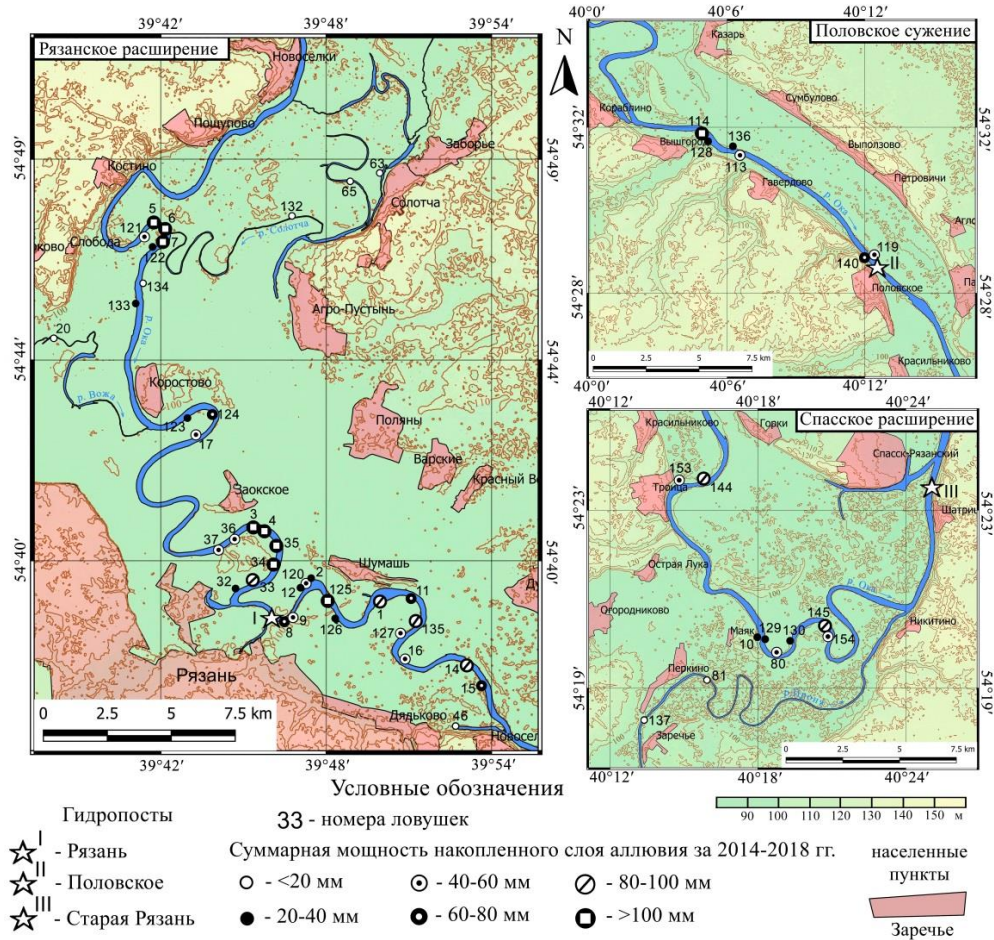


Рис. 2. Положение ловушек на цифровой модели местности SRTM C-SIR расширенных и суженных участков поймы р. Оки

совершались также в целях предупреждения их порчи посторонними лицами и смыва свежего наилка атмосферными осадками.

За период исследования устанавливались 53 резиновые ловушки каждый год, общее число наблюдений – 263. Сборники аллювия закреплялись на прирусловой пойме в одной из шести типов обстановок осадконакопления. Из 31 ловушки, устанавливаемой на выпуклых берегах Окских излучин, 14 размещалось на их вершинах, 8 – на их верхних крыльях и 9 – на их нижних крыльях. Кроме того, 7 сборников аллювия помещалось на прирусловых участках относительно прямолинейного потока. Еще 8 ловушек устанавливалось в затонах Оки, имеющих непосредственную связь с современным руслом, а 6 сборников аллювия ежегодно размещалось в пределах пойменных участков низовьев окских притоков (рек Вожи, Солотчи, Прони).

После снятия седиментационных ловушек собранный материал смывали в специальную посуду, высушивали и очищали от органики. Наилкок взвешивали и определяли его объем, экстраполяция которого на площадь ловушек (0.24 м<sup>2</sup>), позволяла установить мощность накопленного слоя аллювия. Такую же пло-

щадь имели и ловушки из кокосового волокна, не входящие в число основных сборников аллювия и устанавливаемые для оценки влияния типа поверхности на осадконакопление. Известно, что достоверность подобных экспериментов увеличивается [6, 7, 10] при расширении методики за счет введения новых типов искусственных поверхностей и установки ловушек в различных растительных ассоциациях. Шероховатость резиновой поверхности может быть принята [19] примерно на уровне  $n = 0.015$ , а кокосового волокна –  $n = 0.03$ . Поэтому одной из наших исходных гипотез было предположение о лучшей задержке мелких частиц, особенно тонкого алеврита (0.005–0.001 мм) и ила ( $< 0.001$  мм), волокнистыми сборниками аллювия.

Определение гранулометрического состава каждого из собранных образцов аллювиальных наносов проводили с помощью двух методов: пипеточного и ситового. Анализ пипеточным методом проводился по стандартной методике [20] с дополнительным разделением алевритовых фракций и с очисткой наилка от органики. Измеряли объем наилка и производили его экстраполяцию на площадь ловушки, что позволило получить усредненную мощность слоя свежих осадков ( $H$ ). Наносы были разделены на стандартные фракции мелкообломочного материала, использующиеся в отечественной литературе [21, 22]. После определения соотношения песка (2–0.06 мм), алеврита (0.06–0.001 мм) и ила ( $< 0.001$  мм) в каждом образце наилка нами было установлено положение пробы на треугольниках Ферре и, соответственно, было введено обозначение ее гранулометрического состава. С помощью уточнения содержания отдельных фракций песков и алевритов, соответствующих классификации мелкообломочного материала ISO 14688-1:2002 (модифицированная классификация Вентворта) [23], были получены значения следующих стандартных [22, 24, 25] осадочных показателей: средний диаметр частиц ( $Md$ ), процентиля  $D16$  и  $D84$ . Последние являются точками соответствующей обеспеченности на кумулятивных кривых распределения гранулометрического состава образцов.

Был также произведен отбор данных [26] о параметрах весенней паводковой волны на гидрологических станциях «Рязань», «Половское», «Старая Рязань» (рис. 2), при анализе результатов использовали данные станций «Вендереево», «Калуга» и «Муром». Для каждого года исследований на створах определены максимальные расходы ( $Q_{\max}$ ), средние 30-дневные расходы для марта, апреля и мая ( $Q_{30}^{\text{III}}$ ,  $Q_{30}^{\text{IV}}$ ,  $Q_{30}^{\text{V}}$ ), минимальные расходы ( $Q_{\min}$ ), максимальные ( $h_{\max}$ ) и минимальные уровни ( $h_{\min}$ ). Завершающий, камеральный этап обработки полученных результатов включал их визуализацию на цифровой модели местности SRTM C-SIR, созданной с помощью программ QGIS v 3.4.0 Madeira и SAGA GIS v.7.0. Статистические операции выполнены в программе STATISTICA 10.0.

#### **Режим стока р. Оки в 2014–2018 гг. и значение его изменений для пойменной морфолитодинамики**

Традиционно считается, что пойма реки – территория, ежегодно или почти ежегодно заливаемая в половодье. В действительности же половодья на реках центра Восточно-Европейской равнины как события, ход которых определяется метеорологическими условиями водосбора в зимне-весенний период, за последние десятилетия претерпели существенные изменения. Частота мощных разливов

с высокими расходами снизилась [27–29], что для окского бассейна может быть объяснено увеличением повторяемости оттепелей в предзимье, слишком ранним снеготаянием и усиленной фильтрацией талой воды в слабо промерзший грунт. Особенно заметным снижением максимальных уровней на средней Оке стало в 2010-е годы (рис. 3). Но и в целом для периода 1990–2018 гг. (после завершения этапа климатической нормы [30]) характерно увеличение амплитуды значений  $h_{\max}$  (в смежные годы они могут отличаться в 2–3 раза) и появление ранее не фиксировавшихся отрицательных экстремумов. Среди последних минимумов  $h_{\max}$  выделяются половодья 2014–2017 гг., но и в 2018 г. половодье по этому показателю имело обеспеченность всего 75% (для гидропоста Рязань). Половодье единственного за время настоящего исследования года с затоплением поймы высокого и среднего уровня, таким образом, может быть принято как условно нормальное лишь для последнего десятилетия.

В классической монографии Д.Л. Соколовского [31] р. Ока отнесена к типу водотоков с преобладающим весенним половодьем со следующими границами сезонов по месяцам: весна III – V, лето VI – IX, осень X – XI, зима XII – II. Приводимые им данные о внутригодовом распределении стока свидетельствуют, что у г. Калуги в первой половине XX в. на весну приходилось 68% стока, на остальные сезоны – по 8–15% (табл. 1). По сравнению с отмеченным периодом в настоящее время (2008–2018 гг.) удельный вес гидрологической весны в годовом стоке снизился до 40–55%, а зимняя и летняя водность Оки в верхнем и среднем течениях возросла в 1.5–2 раза. Экстремально маловодными были 2014–2015 гг. (рис. 3 и 4), в которых среднемесячные расходы на участке настоящего исследования не превышали 800–950 м<sup>3</sup>/с, в то время как годовая норма стока на створе Половское составила всего 11–15 км<sup>3</sup>. В 2012–2013 гг. половодья имели обеспеченность по  $h_{\max}$  уже на уровне 25–28%, а годовой объем стока находился в интервале 20–26 км<sup>3</sup>. Повышенными были и значения максимальных расходов – до 5800 м<sup>3</sup>/с, а не 1200–2600 м<sup>3</sup>/с, как в 2014–2018 гг. Отметим, что начало половодий 2014–2017 гг. было смещено к первой половине марта, что объясняется учащением оттепелей в это время года. Именно с 2014 г. резко возросли среднегодовые температуры в Северном полушарии, а также увеличилась повторяемость прорывов южных циклонов [32, 33] в высокие широты, что сделало более вероятными теплые ранние весны в окском бассейне. Лишь в 2018 г. начало многоводной фазы водного режима Оки отложилось до 1–3 апреля по причине устойчивого притока арктического воздуха на протяжении всего марта.

Очевидно, что изменившийся гидрологический режим р. Оки должен был отразиться в составе аллювия последних лет и скорости рельефообразования в пределах всех зон пойменного осадконакопления. Классические модели формирования рельефа днищ долин равнинных рек, в которых постулируются принципы его развития в условиях затопляемости и аллювиальности [1, 2, 34–36], в период наших исследований были актуальными в основном для прируслового рельефа. Преобразование рельефа днища окской долины лишь в 2018 г. может быть в полной мере описано известным уравнением баланса наносов [37]. В остальные годы исследования значительно снижалась роль пойменной аккумуляции, в меньшей степени – русловой эрозии, которая могла иметь место только в основаниях

Табл. 1

Распределение стока по сезонам (в %) на створах Калуга и Половское по Д.Л. Соколовскому за 1920–1950-е годы [31] и нашим расчетам за 2008–2018 гг.

Годы	Створ	Весна	Лето	Осень	Зима
1920–1950-е	Калуга	68.0	14.8	8.1	9.1
2008–2018	Калуга	49.0	21.8	11.9	17.3
2008–2018	Половское	47.2	22.0	12.6	18.2
2014	Половское	44.7	25.1	13.3	16.9
2015	Половское	41.9	25.3	12.3	20.5
2016	Половское	45.7	25.6	12.8	15.9
2017	Половское	41.2	20.7	11.0	27.1
2018	Половское	53.2	20.9	10.8	15.1

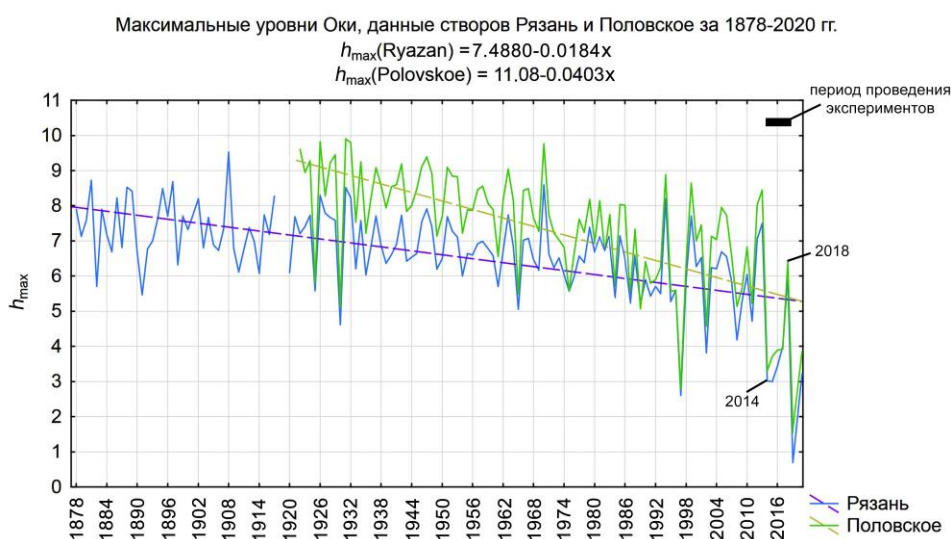


Рис. 3. Варьирование максимальных уровней р. Оки на створах Рязань и Половское за период инструментальных наблюдений

береговых откосов и в подводной части руслового ложа. Из года в год изменялась, соответствуя хронологическому режиму весеннего половодья и зимних паводков, и продолжительность затопления сборников аллювия (табл. 2). Большинство ловушек для наилка находилось на высоте < 0.6 м над урезом рек, но в ряде мест для обеспечения достоверности [38] эмпирических наблюдений требовалась установка на относительно повышенных участках. Примечательно, что из-за пространственно-временных различий в заметании гребнем половодья пойменных расширений и сужений, а также по причине неодинакового числа ловушек в интервалах относительных высот можно сделать ложный вывод о том, что гипсометрически приподнятые участки подтапливаются дольше нижележащих.

Сравнение результатов исследования, полученных за краткий, но неоднородный по энергии бассейнового массопереноса период, позволяет оценить литологический отклик приречной зоны осадконакопления на фактические различия

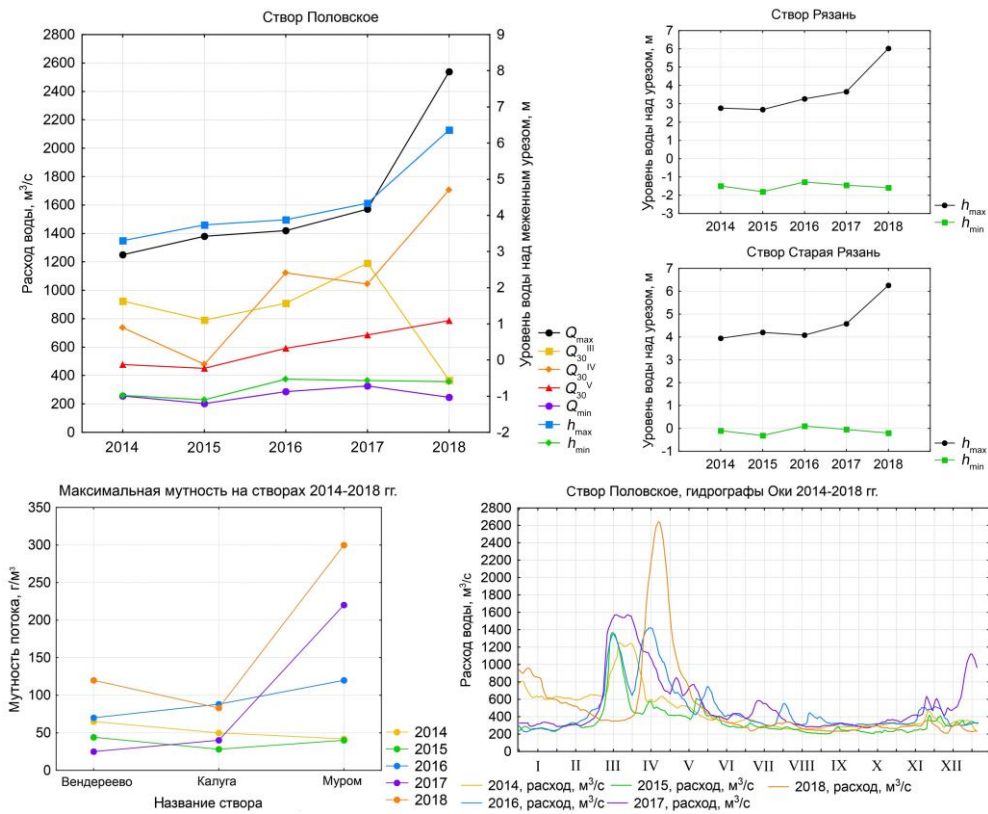


Рис. 4. Характеристики гидрологического режима р. Оки за 2014–2018 гг.

Табл. 2

Средняя продолжительность затопления ловушек и высота их установки относительно меженного уреза Оки

$z_1 - z_0$	$N$	$T_{2014}$	$T_{2015}$	$T_{2016}$	$T_{2017}$	$T_{2018}$
0.2–0.39	8, 9, 20, 46, 63, 65, 81, 121, 122, 125–128, 132, 134, 137, 153, 154	177	49	92	114	162
0.4–0.59	1, 10–12, 14, 15, 17, 32, 33, 35–37, 119, 123, 124, 129, 130, 133, 135, 140, 145	164	37	78	94	138
0.6–0.79	3–7, 34, 80, 120, 144	144	25	60	81	130
0.8–0.99	2, 16, 113, 136	143	19	59	93	120
1.0–1.19	114	155	22	73	101	151

Условные обозначения:  $z_1 - z_0$  – высота ловушки над урезом, м;  $N$  – номер ловушки,  $T$  – среднее время затопления за холодный период года, дни.

режима и параметров половодий. Одной из наших рабочих гипотез было предположение, что наилок, накапливающийся в маловодные годы, будет отличаться от наилка года «нормальной» водности в сторону измельчения механического состава. Маловодья при этом являются и фактором экологических рисков [27] для местных пойменных ландшафтов, оценка которых на фоне изменчивости регионального климата неполна без выявления особенностей проявлений долинной литодинамики.



Табл. 3

Средние значения мощности наилка и его осадочных показателей в различных обстановках осадконакопления

		2014	2015	2016	2017	2018
А	<i>H</i> , мм	4.1	7.4	23.2	15.7	37.2
	<i>Md</i> , мм	0.11	0.28	0.21	0.25	0.36
	<i>D</i> <sub>16</sub> , мм	0.19	0.47	0.44	0.51	0.81
	<i>D</i> <sub>84</sub> , мм	0.06	0.17	0.09	0.1	0.15
Б	<i>H</i> , мм	2.4	4.5	11.3	12	19.1
	<i>Md</i> , мм	0.08	0.1	0.12	0.13	0.22
	<i>D</i> <sub>16</sub> , мм	0.16	0.21	0.31	0.25	0.51
	<i>D</i> <sub>84</sub> , мм	0.03	0.06	0.04	0.06	0.1
В	<i>H</i> , мм	2	2.9	14.9	13.6	28.7
	<i>Md</i> , мм	0.07	0.19	0.1	0.21	0.31
	<i>D</i> <sub>16</sub> , мм	0.13	0.31	0.29	0.45	0.63
	<i>D</i> <sub>84</sub> , мм	0.03	0.11	0.02	0.11	0.15
Г	<i>H</i> , мм	4.2	5.6	10.6	11.2	16.1
	<i>Md</i> , мм	0.06	0.15	0.12	0.15	0.25
	<i>D</i> <sub>16</sub> , мм	0.12	0.18	0.3	0.35	0.36
	<i>D</i> <sub>84</sub> , мм	0.03	0.06	0.03	0.05	0.08
Д	<i>H</i> , мм	1.3	1.7	5.1	5.8	8.8
	<i>Md</i> , мм	0.01	0.02	0.02	0.02	0.04
	<i>D</i> <sub>16</sub> , мм	0.05	0.08	0.07	0.07	0.13
	<i>D</i> <sub>84</sub> , мм	0.005	0.01	0.006	0.005	0.01
Е	<i>H</i> , мм	0.4	1.0	2.5	2.8	5.5
	<i>Md</i> , мм	0.01	0.04	0.02	0.01	0.04
	<i>D</i> <sub>16</sub> , мм	0.03	0.06	0.05	0.05	0.09
	<i>D</i> <sub>84</sub> , мм	0.005	0.02	0.003	0.003	0.003

Условные обозначения: А – вершины излучин Оки, Б – верхние крылья окских излучин, В – нижние крылья излучин, Г – прирусловая пойма относительно прямолинейного окского русла, Д – затоны Оки, Е – прирусловая пойма притоков Оки.

### Результаты исследования

Наиболее интенсивная аккумуляция наносов за весь период исследований отмечалась в пределах современного пояса меандрирования р. Оки в Рязанском расширении ее поймы (рис. 2). Суммарно за пять лет мощность слоя аллювия на ловушках достигала на вершинах меандров 146 мм, уменьшение интенсивности аккумуляции фиксируется на их верхних и нижних крыльях (до 85 и 121 мм за 5 лет соответственно). Средние значения мощности слоя накопленных осадков также наиболее высоки на вершинах излучин (17.5 мм/год) и снижаются на нижних и верхних крыльях окских излучин (9.8–12.4 мм/год) (табл. 3). В зато-нах р. Оки и на прирусловой пойме ее притоков аккумуляция аллювия была ослаблена (2.5–4.5 мм/год). Отметим, что в 2014–2015 гг. мощность слоя наилка на любой из ловушек не превышала 18 мм, в то время как в 2018 г. на 7 ловуш-ках она составила более 50 мм.

Среди проб наилка 2014 г. абсолютно преобладали образцы с медианной орди-натой гранулометрического состава в интервале крупного алеврита, причем стан-дартное отклонение общей выборки составляло 0.64. На графиках распределений

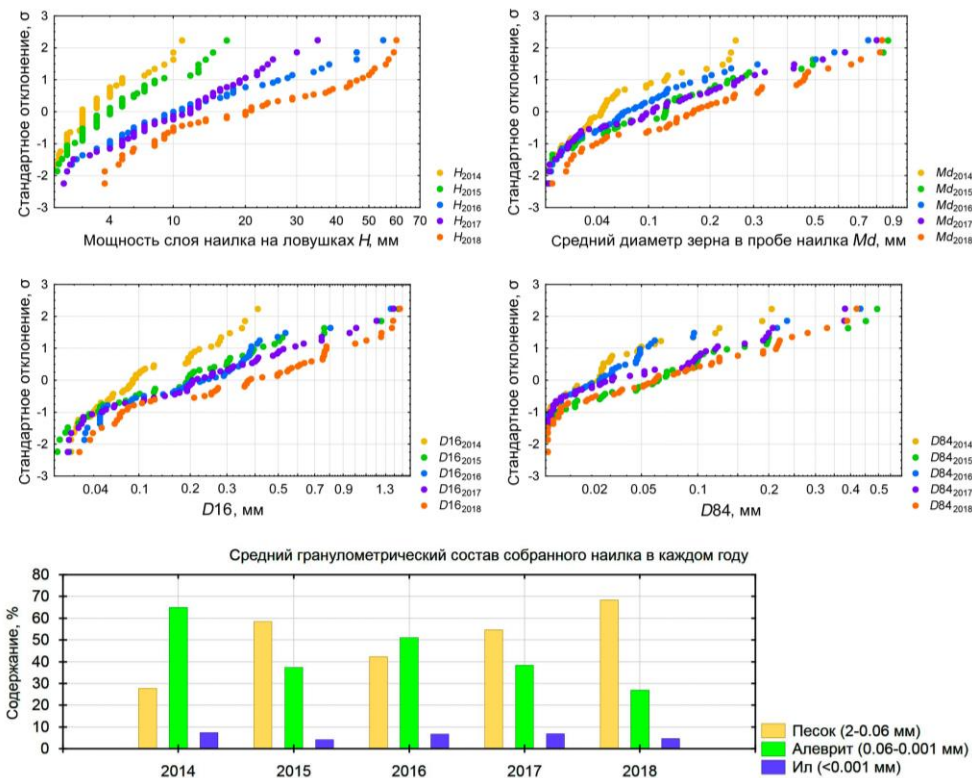


Рис. 5. Основные осадочные показатели для проб аллювия с ловушек каждого года исследования

значений данного года почти все значки  $Md$  находятся в интервале  $2\sigma$ , выбросы отсутствуют (рис. 5). Всего 16 образцов имели значение  $Md$  в песчаных фракциях, практически все они были собраны с прирусловых участков различных морфологических частей окских излучин (табл. 3). В следующем году в осадках доминировали фракции тонкого и мелкого песка, медианный диаметр частиц в 36 навесках аллювия был крупнее 0.06 мм. Среднеквадратичное отклонение выборки по всем точкам наблюдений составляло уже 1.82. Наносы 2016–2017 гг. имели существенный разброс значений  $Md$  (отклонения выборок 1.42 и 1.64), но среднее по ловушкам, несмотря на возросшие относительно 2015 г. расходы, было меньше: 0.11 мм в 2016 г. и 0.15 мм в 2017 г. В условиях затопления обширных выделов окской поймы в 2018 г. на фоне повышенных расходов и активизации транспорта наносов наблюдалось четкое разделение значений  $Md$  в зависимости от обстановки осадконакопления. Так, на участках, примыкающих к современному руслу Оки, средний диаметр зерен соответствовал среднезернистому песку (0.25–0.5 мм), а в остальных случаях – фракции крупного алеврита (0.01–0.06 мм).

Распределения процентилей  $D16$  и  $D84$  по ловушкам на ключевых участках в целом укладываются в существующие представления о зонах пойменного осадконакопления [1, 2, 23] (рис. 5). В затонах Оки и на пойме ее притоков тонкая часть осадков была представлена илом и мелким алевритом, а на выпуклых берегах окских меандров – крупным алевритом и мелким песком (табл. 3). Средние

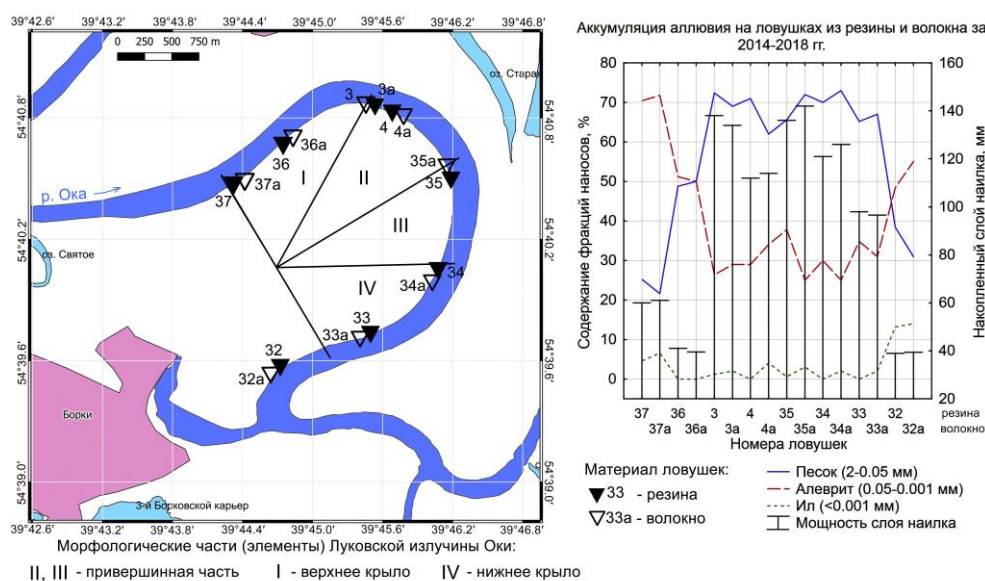


Рис. 6. Аккумуляция аллювия на ловушках из кокосового волокна и резины

значения содержания песка, алеврита и ила во всех образцах аллювия, собранных с ловушек, существенно варьировались из года в год (рис. 5). Так, прохождение половодья 2014 г. вызвало выпадение преимущественно алевритовых частиц на поверхность прирусловой поймы Оки, а доля песчаных зерен составила 27.7%. В последующие годы процентное содержание алеврита не превышало половины от общего объема накопленного аллювия. Особенно низким оно было в образцах наилка 2015 г. (37%) и 2018 г. (26.9%). В те же годы резко возрастала роль песчаных частиц в составе свежих осадков, а наименьшие различия в интенсивности аккумуляции песка и алеврита, напротив, фиксировались в 2016–2017 гг. Среднее содержание ила в осадках того или иного года за весь период наблюдений не превышало 7.3%. Отметим, что активизация заиления прирусловой поймы сопутствовала усиленной аккумуляции алевритового материала.

На примере закрепляемых поблизости друг от друга сборников аллювия из резины и кокосового волокна, установленных на прирусловой пойме тех или иных морфологических частей Луковской излучины р. Оки (рис. 6), можно видеть, что материал ловушек не оказывает существенного влияния на мощность слоя отлагавшихся наносов. В целом за пять лет стационарных исследований на ловушках из волокна задерживалось на 1–5% больше илистых частиц, чем на резиновых сборниках аллювия. Установлено, однако, что аккумуляция песка и алеврита происходит вне зависимости от различий в материале ловушек. Несостоятельность гипотезы о наличии подобной взаимосвязи, по-видимому, обеспечивается одинаковой шероховатостью поймы в местах парной установки ловушек и высокой скоростью седиментации – поступающие наносы быстро перекрывают исходную подстилающую поверхность, а дальнейшая аккумуляция осуществляется уже на свежем материале.

### Обсуждение результатов

Развитие рельефа в днищах речных долин происходит в тесной взаимосвязи с воздействием гидроклиматических факторов на интенсивность и характер бассейнового массопереноса. Река и пойма, как составляющие [36, 39] частной речной подсистемы эрозионно-русловой системы бассейна, чувствительны к весенним и предвесенним колебаниям метеорологических элементов, которые влияют на строение и морфологию пойменного рельефа через параметры половодного потока. Соотношение в нем влекомых и взвешенных наносов варьирует в зависимости от выраженности половодья и вовлеченности в него эрозионной сети бассейна в конкретном году. Для Русской равнины объем весеннего склонового стока находится [40, 41] в прямой связи с запасами влаги в снежном покрове накануне его таяния. По метеорологическим данным [42], в верхней и средней частях окского бассейна перед половодьями 2014–2015 гг. запас влаги в снеге составлял 25–70 мм, а в 2016–2018 гг. – 70–120 мм. Таким образом, в первые два года стационарных наблюдений подавляющее большинство илисто-алевритовых частиц половодной взвеси имело русловое происхождение, а в последующие годы следовало ожидать активизации стока наносов на водосборах. Поступление дополнительного твердофазного материала бассейнового генезиса проявилось в возрастании весенних значений мутности Оки (рис. 4). Очевидно, что это должно было также способствовать усиленной аккумуляции тонкодисперсного материала на затопленных участках окской поймы верхней и средней Оки, особенно в 2016–2017 гг., когда максимальные расходы потока были невысоки. Расположение значков свежих осадков разных лет, собранных с седиментационных ловушек, на треугольниках Ферре (рис. 7), в целом подтверждает данное предположение.

После малоснежной и относительно теплой зимы 2014 г. при пониженной водности продолжительного весеннего паводка русловым потоком осуществлялся транспорт мелкодисперсных наносов преимущественно во взвешенном состоянии. Длительное затопление ловушек при расходах порядка 600–1200 м<sup>3</sup>/с привело к накоплению илистых суглинков даже на выпуклых берегах вершин излучин Оки. Пониженные средние значения  $D_{16}$ , находящиеся для 37.5% проб наилка в диапазоне 0.06–0.001 мм, свидетельствуют о невысоких скоростях половодного потока. Лишь в местах его ускорения – на верхних крыльях излучин и на их привершинных частях в 90% случаев наблюдалось заметное накопление частиц тонкого и мелкого песка. Но в целом участие влекомых наносов в обновлении поверхности берегов было минимальным. Специфическими чертами формировавшихся седиментов являлись их малая мощность (ослабленное поступление в поток при консервации берегов русел рек) и тяжелый механический состав (малая роль перекачивания в их транспорте). Суглинистые пески и песчаные суглинки отлагались лишь на пологих берегах верхних крыльев меандров Оки.

По сравнению с предыдущим годом в 2015 г. зафиксировано увеличение максимальных расходов при меньшей продолжительности затопления и меньшей мутности потока. Водные массы короткого (в среднем 15–30 дней) половодья осуществляли интенсивную аккумуляцию песчаного и песчано-алевритового маломощного наилка. На треугольниках Ферре отмечается значительное наполнение зон песков, суглинистых песков и песчаных суглинков, в то время как

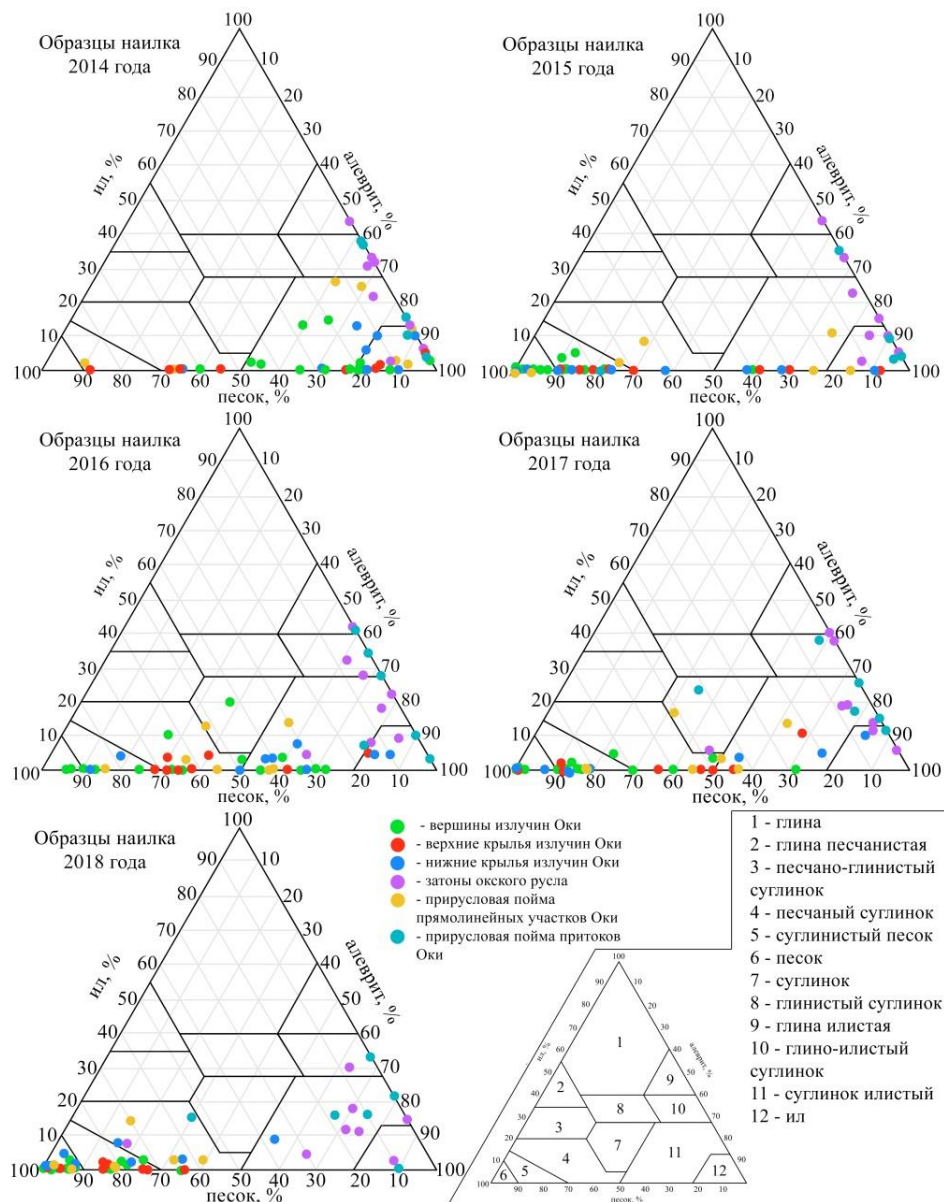


Рис. 7. Распределение проб аллювия, собранных с седиментационных ловушек, на треугольниках Ферре

в затонах и поймах притоков Оки аккумулировался тонкий материал – от илов до илистых глин. При невысокой мутности потока на участке между створами Калуга и Муром (рис. 1 и 4) в наносах с морфологических частей меандров и прямолинейных участков прирусловой поймы содержались частицы размерностью 0.25–2 мм и даже > 2 мм, чего не отмечалось в предыдущем году, хотя  $Q_{\max 2014}$  и  $Q_{\max 2015}$  сопоставимы. Перемещение песчаных осадков происходило, вероятно, во время кратковременного пика расходов воды при наибольших по энергии пульсациях скорости. Активизация транспорта крупных фракций в подобных условиях отмечается в некоторых экспериментах [43, 44]. Прохождение

половодья 2015 г. в виде кратковременной волны, обедненной взвесью, способствовало реализации транспортирующей способности потока преимущественно за счет движения влекомых наносов. О недооценке их доли в твердом стоке европейских рек свидетельствуют многочисленные наблюдения [45–47], особенно на участках с выраженным дефицитом взвешенных наносов (эффект «голодной воды» [47]).

В летне-осеннюю межень 2015 г. на средней Оке отмечались наиболее низкие за 2014–2018 гг. уровни (ниже нулевых отметок гидропостов) и расходы (до 200–230 м<sup>3</sup>/с вместо нормальных значений 240–300 м<sup>3</sup>/с) [15, 26], что повлекло заиливание прибрежной зоны и участков русла с затрудненным водообменом. При прохождении половодной волны 2016 г., помимо активизации бассейнового массопереноса, осуществлялся переход илисто-алевритовых наносов, слагавших дно обмелевших в 2014–2015 гг. мелководий Оки, во взвешенное состояние. В результате мутность потока на всем протяжении окского русла резко увеличилась. Половодье 2016 г. отличалось двумя максимумами уровней и продолжительным (табл. 2) затоплением прирусловой поймы при увеличении мощности слоя наносов (табл. 3) на большинстве ловушек по сравнению с предыдущими годами. Дополнительное взмучивание наносов, отложившихся после первой паводковой волны, обычное для активных фаз водного режима со сложным ходом [43, 44], происходило в апреле, во время второго пика уровня воды. Оно отразилось в одновременном накоплении тонкодисперсных и песчаных частиц на окских берегах, а также низких значениях *D*<sub>84</sub>, в 91% случаев расположенных в алевритовых фракциях (рис. 5). За исключением затонов и пойм окских притоков, в остальных обстановках осадконакопления отлагались, в основном, суглинистые пески и илистые суглинки.

На треугольниках Ферре ординация значков проб наилка половодья 2017 г. (наполнение руслового ложа почти до пойменных бровок) и 2018 г. (выход воды на пойму) отражает различия в осадконакоплении при паводках обеспеченностью по уровням 94.5% и 75% соответственно. Дружное снеготаяние в апреле 2018 г. после мартовских морозов способствовало быстрому формированию половодной волны. Поток с повышенными расходами и скоростями [15, 26] вовлекал в транспорт более крупные частицы, что подтверждается заметным повышением *D*<sub>16</sub> и наличием песчаных зерен в образцах наносов с затонов Оки, а также с пойм ее притоков. Практически на всех ловушках, закрепленных на прирусловых участках зоны меандрирования, аккумуляровались пески либо суглинистые пески. Более динамичные условия рельефообразования в половодье 2018 г. были характерны и для прирусловой поймы прямолинейного русла Оки. Если на ней в предыдущие годы изымалось всего 1–2 пробы песков и суглинистых песков, то в 2018 г. таких образцов было 4, накопление суглинков и илистых суглинков уже не фиксировалась (рис. 7).

Отсутствие глин, песчанистых глин, глинистых суглинков и песчано-глинистых суглинков в аккумуляруемых осадках обусловлено, главным образом, литологией четвертичных отложений речных бассейнов центра Русской равнины. Взвешенными наносами рек региона является материал бассейнового (лессовидные суглинки и палеопочвы плейстоцена) и пойменно-руслового (пойменные суглинки и палеопочвы голоцена) происхождения. Во всех случаях среди

частиц различных фракций почвогрунтов водосборов значима доля алевритов [2, 23, 40], поэтому их отсутствие в наилке при одновременном содержании илов и песков практически исключено.

Отметим, что на ловушках № 5–7 весь период исследования фиксировалось местное укрупнение обломочного материала в наилке ( $Md = 0.24–0.87$  мм), что, на наш взгляд, обусловлено ускорением компактного потока на вершине малой излучины Оки. Ширина надводной части прирусловой отмели здесь – наибольшая среди всех исследованных излучин. На фоне неглубокого залегания коренных пород река осуществляет усиленную глубинную и боковую эрозию и интенсивное перемещение влекомых наносов. Ширина реки здесь уменьшается до 120–130 м, выполняется главное условие [48] (ширина русла превышает глубину не более чем в 15–20 раз) для выраженного влияния поперечной циркуляции водных масс на перемещение донных наносов.

На некоторых излучинах, например в Спасском расширении (ловушки № 80, 129–130), отмечается ослабление аллювиальной аккумуляции. В пределах данного участка оно сопровождается относительной стабильностью вогнутого берега, сложенного плейстоценовыми [49] озерными илами, и эрозией крутого выпуклого берега при блуждании динамической оси узкого потока на фоне переуглубления русла Оки (до 16–17 м по [50]). Некоторую роль в снижении содержания алевритовых частиц бассейнового происхождения в пробах наносов в Спасском расширении, возможно, играет их аккумуляция выше по течению. Так, на основе наблюдений [51, 52], проведенных ранее в Дединовском расширении поймы Оки, было установлено, что мутность пойменного потока в половодье на данном участке может достигать 200–400 г/м<sup>3</sup> и более. Запасы свежего наилка на поверхности центральной поймы при этом составляли 20–40 т/га (мощность слоя наносов около 1–2 мм) и регулярное до 2010-х годов осажде-ние минеральной взвеси на спаде половодья поддерживало высокое плодородие местных почв.

### Заключение

Результаты стационарных исследований осадконакопления в прирусловой зоне поймы р. Оки в ее среднем течении находятся в рамках общих представлений об аллювиальной аккумуляции, однако выявлен ряд качественных и количественных особенностей данного процесса в период нестабильности водного режима реки. В 2014–2017 гг. на фоне учащения оттепелей в весенние месяцы отлагались преимущественно песчаные и илистые суглинки и илы. Мощность слоя накопленных наносов составляла в среднем 14.3 мм/год (на вершинах излучин Оки), 8–8.5 мм/год (на их верхних и нижних крыльях). Сопоставимой была и средняя скорость аккумуляции наилка на прирусловой пойме, примыкающей к относительно прямолинейному руслу Оки (9 мм/год), а на берегах окских затонов и рек Прони, Вожи и Солотчи интенсивность осадконакопления колебалась от 1.4 до 4.4 мм/год. Обогащение свежих осадков илистой фракцией, увеличивающей поглотительную способность свежих седиментов и восприимчивость их к загрязнению экотоксикантами, наблюдалось не только на берегах затонов Оки, но и в приречной зоне ее меандрирующего русла. Особняком стоят отложения 2015 г. с повышенными значениями  $Md$ ,  $D_{16}$  и  $D_{84}$ , отлагавшиеся

в условиях пониженной мутности потока. Среднее содержание в наилке илистых частиц было наименьшим за все годы наблюдений – всего 4.2%. Ослабление аккумуляции тонкодисперсного материала способствовало снижению риска потенциального загрязнения окских берегов, в то время как в затонах Оки и в поймах ее притоков все равно сохранялась тенденция к заилению.

Отрицательные температурные аномалии марта 2018 г. вкуче с быстрым апрельским снеготаянием привели к формированию половодной волны нормального уровня и затоплению участков центральной поймы Оки. Наилкок, отлагавшийся в прирусловой пойме в данных условиях, отличался повышенной мощностью (до 60 мм), причем аккумуляция аллювия была более чем в 2 раза интенсивнее на вершинах излучин Оки (в среднем 40 мм/год), чем на прямолинейных ее участках (18 мм/год). Наибольшее участие песчаных частиц в составе свежих аллювиальных осадков 2018 г. объясняется активизацией массового смещения руслообразующих наносов на фоне повышенных расходов половодного потока. Об увеличении участия сальтации и волочения в перемещении частиц в приречной зоне осадконакопления свидетельствует переход средних значений  $Md$ ,  $D16$  и  $D84$  аллювиальных осадков в песчаные фракции и увеличение их на 0.01–0.35 мм по сравнению с 2014–2017 гг. Между тем в абсолютных значениях была велика и аккумуляция алевритовых наносов, обусловленная, в том числе, интенсификацией боковой эрозии. В 2018 г. усиление выраженности многоводной фазы водного режима рек окского бассейна также содействовало укрупнению наносов, аккумуляировавшихся в поймах притоков Оки и в затонах ее русла, что являлось следствием активизации местного водообмена и привело к снижению экологических рисков для данных акваторий.

#### Литература

1. *Лазаренко А.А.* Литология аллювия равнинных рек гумидной зоны (на примере Днепра, Десны, Оки). – М.: Наука, 1964. – 237 с. (Труды ГИН АН СССР, Вып. 120)
2. *Шанцер Е.В.* Аллювий равнинных рек умеренного пояса и его значение для познания закономерностей строения и формирования аллювиальных свит // Труды Ин-та геолог. наук АН СССР. – 1951. – Вып. 135: Геол. сер. (№ 55). – 275 с.
3. *Чалов Р.С., Сурков В.В., Жмыхова Т.В.* Прирусловые отмели как формы руслового рельефа, промежуточные между меженным руслом и поймой реки // Геоморфология. – 2016. – № 1. – С. 18–29. – doi: 10.15356/0435-4281-2016-1-18-29.
4. *Kaase C.T., Kapfer J.A.* Sedimentation patterns across a Coastal Plain floodplain: The importance of hydrogeomorphic influences and cross-floodplain connectivity // *Geomorphology*. – 2016. – V. 269. – P. 43–55. – doi: 10.1016/j.geomorph.2016.06.020.
5. *Keesstra S.D.* Impact of natural reforestation on floodplain sedimentation in the Dragonja basin, SW Slovenia // *Earth Surf. Processes Landforms*. – 2007. – V. 32, No 1. – P. 49–65. – doi: 10.1002/esp.1360.
6. *Asselman N.E.M., Middelkoop H.* Floodplain sedimentation: Quantities, patterns and processes // *Earth Surf. Processes Landforms*. – 1995. – V. 20, No 6. – P. 481–499. – doi: 10.1002/esp.3290200602.
7. *Nghia N., José H., Delgado M., Güntner A., Merz B., Bárdossy A., Apel H.* Sedimentation in the floodplains of the Mekong Delta, Vietnam Part II: Deposition and erosion // *Hydrol. Processes*. – 2014. – V. 28, No 7. – P. 3145–3160. – doi: 10.1002/hyp.9855.



8. *Guy H.P., Norman V.W.* Field Methods for Measurement of Fluvial Sediment: U.S. Geological Survey, Techniques of Water Resources Investigation, Book 3, Chapter C2. – 1970. – 59 p.
9. *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. – V. 228. – P. 666–680. – doi: 10.1016/j.geomorph.2014.10.023.
10. *Casas-Mulet R., Alfredsen K.T., McClusky A.H., Stewardson M.J.* Key hydraulic drivers and patterns of fine sediment accumulation in gravel streambeds: A conceptual framework illustrated with a case study from the Kiewa River, Australia // *Geomorphology*. – 2017. – V. 299. – P. 152–164. – doi: 10.1016/j.geomorph.2017.08.032.
11. *Голосов В.Н.* Исследования аккумуляции наносов на речных поймах: методические возможности и перспективы // *Геоморфология*. – 2009. – № 4. – С. 39–44. – doi: 10.15356/0435-4281-2009-4-39-44.
12. *Тюрин В.Н.* Оценка седиментации в прирусловой зоне по почвенному покрову (пойма широтного отрезка р. Оби, окрестности г. Сургут) // Тридцать пятое пленарное межвузовское координационное совещание по проблемам эрозионных, русловых и устьевых процессов: Докл. и краткие сообщ. – Курск: Курск. гос. ун-т, 2020. – С. 135.
13. *Захарова Э.Д., Беляев В.Р., Харченко С.В.* Обстановки осадконакопления и источники наносов в дельте реки Селенги // VIII Щукинские чтения: рельеф и природопользование: Материалы Всерос. конф. с междунар. участием. – М.: Геогр. фак. МГУ, 2020. – С. 485–490.
14. *Кривцов В.А., Воробьев А.Ю., Пузаков С.В.* Применение метода ковриков-ловушек для определения динамики накопления современного аллювия на рязанском участке среднего течения р. Оки // *Вестн. Волгogr. гос. ун-та. Сер. 11. Естеств. науки*. – 2015. – № 4. – С. 30–39. – doi: 10.15688/jvolsu11.2015.4.4.
15. *Воробьев А.Ю., Кадыров А.С.* Аккумуляция аллювиальных отложений в прирусловых поймах // *Геология, география и глобальная энергия*. – 2020. – № 3. – С. 17–27.
16. *Львович М.И.* Реки СССР. – М.: Мысль, 1971. – 352 с.
17. *Кривцов В.А., Воробьев А.Ю.* Особенности пространственной организации и формирования локальных морфологических комплексов в пределах поймы реки Оки на ее рязанском участке // *Вестн. Рязан. гос. ун-та*. – 2014. – № 1. – С. 142–155.
18. Уровень воды в р. Ока по гидропосту г. Рязань сегодня – URL: <https://allrivers.info/gauge/oka-ryazan/>, свободный.
19. СП 100.13330.2016. Мелиоративные системы и сооружения. Актуализированная редакция СНиП 2.06.03-85. – М.: ФГБНУ «РосНИИПМ», 2016. – 231 с.
20. *Вадюнина А.Ф., Корчагина З.А.* Методы исследования физических свойств почв. – М.: Агропромиздат, 1986. – 416 с.
21. *Шванов В.Н.* Песчаные породы и методы их изучения. – Л.: Недра, 1969. – 248 с.
22. *Осовецкий Б.М.* Структура и микроструктура аллювия р. Кубани // *Аллювий: Межвуз. сб. науч. тр.* – Пермь: Изд-во Перм. ун-та, 1976. – С. 12–36.
23. *Романовский С.И.* Седиментологические основы литологии. – Л.: Недра, 1977. – 408 с.
24. *Remo J.W.F., Heine R.A., Ickes B.S.* Particle size distribution of main-channel-bed sediments along the upper Mississippi River, USA // *Geomorphology*. – 2016. – V. 264. – P. 118–131. – doi: 10.1016/j.geomorph.2016.04.012.
25. *Gradziński R., Kostecka A., Radomski A., Unrug R.* *Sedymentologia*. – Warszawa: Wydawnictwo Geologiczne, 1976. – 614 s.

26. Автоматизированная информационная система государственного мониторинга водных объектов. – URL: <https://gmvo.skniivh.ru/>.
27. *Киреева М.Б., Илич В.П., Гончаров А.В., Богачев А.Н., Фролова Н.Л., Пахомова О.М., Соловьева В.В.* Влияние маловодья 2007–2015 гг. в бассейне р. Дон на состояние водных экосистем // Вестн. Моск. ун-та. Сер. 5. География. – 2018. – № 5. – С. 3–13.
28. *Джамалов Р.Г., Фролова Н.Л., Киреева М.Б., Телегина А.А., Телегина Е.А.* Современные ресурсы поверхностных и подземных вод бассейна Оки // Недропользование XXI век. – 2013. – № 6. – С. 40–45.
29. *Ванин А.А.* Прогноз гидрографов весеннего половодья речной системы средней Оки // Мелиорация и водное хозяйство. – 2013. – № 2. – С. 8–13.
30. Гидрометцентр России. – URL: <https://meteoinfo.ru/>, свободный.
31. *Соколовский Д.Л.* Речной сток (основы теории и практики расчетов). – Л.: Гидрометеиздат. 1959. – 527 с.
32. *Кононова Н.К.* Типы глобальной циркуляции атмосферы: результаты мониторинга и ретроспективной оценки за 1899–2017 гг. // Фундаментальная и прикладная климатология. – 2017. – № 3. – С. 108–123.
33. *Савичев А.И., Мироничева Н.П., Цепелев В.Ю.* Особенности колебаний атмосферной циркуляции в Атлантико-Евразийском секторе полушария за последние десятилетия // Учен. зап. Рос. гос. гидрометеорол. ун-та. – 2015. – № 39. – С. 120–131.
34. *Чернов А.В.* Геоморфология пойм равнинных рек. – М.: Изд-во Моск. ун-та, 1983. – 198 с.
35. *Симонов Ю.Г., Симонова Т.Ю., Кичигин А.Н.* Элементарная морфолитосистема днище долины // Прогнозно-географический анализ территории административного района. Т. 2. – М.: Наука, 1984. – С. 14–31.
36. *Knighton D.* Fluvial Forms and Processes: A New Perspective. – London: Arnold, 1998. – 383 p.
37. *Алексеевский Н.И.* Формирование и движение речных наносов. – М.: Моск. гос. ун-т, 1998. – 202 с.
38. *Симонов Ю.Г.* Геоморфология. Методология фундаментальных исследований. – СПб.: Питер, 2005. – 427 с.
39. *Чалов Р.С.* Руслведение: теория, география, практика. Т. 1: Русловые процессы: факторы, механизмы, формы проявления и условия формирования речных русел. – М.: ЛКИ, 2008. – 608 с.
40. *Литвин Л.Ф., Кирюхина З.П., Краснов С.Ф., Добровольская Н.Г.* География динамики земледельческой эрозии почв на европейской территории России // Почвоведение. – 2017. – № 11. – С. 1390–1400. – doi: 10.7868/S0032180X17110089.
41. *Барabanов А.Т., Долгов С.В., Коронкевич Н.И., Панов В.И., Петелько А.И.* Поверхностный сток и инфильтрация в почву талых вод на пашне в лесостепной и степной зонах Восточно-Европейской равнины // Почвоведение. – 2018. – № 1. – С. 62–69. – doi: 10.7868/S0032180X18010069.
42. Специализированные массивы для климатических исследований. – URL: <http://aisori-m.meteo.ru/waisori/>.
43. *Чеботарев А.С.* Лабораторные исследования закономерностей формирования гранулометрического состава донных отложений в речных излучинах // Журн. Ун-та водных коммуникаций. – 2010. – Вып. 2. – С. 132–144.
44. *Wang L., Cuthbertson A.J.S., Pender G., Cao Z.* Experimental investigations of graded sediment transport under unsteady flow hydrographs // Int. J. Sediment Res. – 2015. – V. 30, No 4. – P. 306–320. – doi: 10.1016/j.ijsrc.2015.03.010.

45. *Babiński Z., Chalov R.S.* Udział rumowiska unoszonego i wleczonego w transporcie fluwialnym // *Środowisko przyrodnicze w badaniach geografii fizycznej. Promotio Geografia Bydgosiensia.* – 2005. – No 2. – P. 9–34.
46. *Walling D.E., Fang D.* Recent trends in the suspended sediment loads of the world's rivers // *J. Global Planet. Change.* – 2003. – V. 39, No 1–2. – P. 111–126. – doi: 10.1016/S0921-8181(03)00020-1.
47. *Kondolf G.M.* Hungry water: Effects of dams and gravel mining on river channels, profile // *Environ. Manage.* – 1997. – V. 21, No 4. – P. 533–551. – doi: 10.1007/s002679900048.
48. Поперечная циркуляция в открытом потоке и ее гидротехнические применения: Сб. ст. / Под ред. М.В. Потапова. – М.: Сельхозгиз, 1936. – 383 с.
49. *Кривцов В.А., Воробьев А.Ю., Водорезов А.В., Зазовская Э.П.* Особенности формирования поймы реки Оки в ее среднем течении (на примере Спасского расширения) // *Геоморфология.* – 2020. – № 3. – С. 56–71. – doi: 10.31857/S0435428120030050.
50. *Моспан Е.Л.* Лоция внутренних водных путей. – М.: Транслит, 2008. – 112 с.
51. *Кононов М.С., Пановская М.З.* Состав аллювиальных наносов и почв Дединовского расширения Окской поймы // *Почвоведение.* – 1973. – № 11. – С. 18–26.
52. *Шишов С.А.* Аллювиальные темногумусовые почвы Окской поймы в районе села Дединово, их агроэкологические свойства и динамика почвенных процессов // *Проблемы почвоведения: Сб. науч. тр.* – М.: Почв. ин-т им. В.В. Докучаева, 2006. – С. 174–198.

Поступила в редакцию  
15.04.2021

---

**Воробьев Алексей Юрьевич**, кандидат географических наук, старший преподаватель кафедры географии, экологии и природопользования

Рязанский государственный университет имени С.А. Есенина  
ул. Свободы, д. 46, г. Рязань, 390000, Россия  
E-mail: [a.vorobyov90@mail.ru](mailto:a.vorobyov90@mail.ru)

**Кривцов Вячеслав Андреевич**, доктор географических наук, профессор кафедры географии, экологии и природопользования

Рязанский государственный университет имени С.А. Есенина  
ул. Свободы, д. 46, г. Рязань, 390000, Россия  
E-mail: [v.krivtcov@365.rsu.edu.ru](mailto:v.krivtcov@365.rsu.edu.ru)

**Кадыров Александр Сергеевич**, магистрант, лаборант кафедры географии, экологии и природопользования

Рязанский государственный университет имени С.А. Есенина  
ул. Свободы, д. 46, г. Рязань, 390000, Россия  
E-mail: [aliekstrandr.kadyrov93@yandex.ru](mailto:aliekstrandr.kadyrov93@yandex.ru)

## ORIGINAL ARTICLE

doi: 10.26907/2542-064X.2021.4.603-625

**Current Dynamics of Accumulation and Composition of Alluvium  
in the Near-Channel Floodplain of the Oka River (Russia)**

A.Yu. Vorobyov\*, V.A. Krivtsov\*\*, A.S. Kadyrov\*\*\*

Ryazan State University named for S. Yesenin, Ryazan, 390000 Russia

E-mail: \*a.vorobyov90@mail.ru, \*\*v.krivtsov@365.rsu.edu.ru, \*\*\*ali Aleksandr.kadyrov93@yandex.ru

Received April 15, 2021

**Abstract**

In 2014–2018, we carried out stationary observations of the lithological characteristics of 263 alluvial sediment samples collected with the sediment traps placed in the near-channel floodplain of the Oka River, about 743–604 km from its mouth. The most intensive sediment accumulation was recorded on the tops and lower parts of the Oka River meanders, with the thickness of the sediment layer up to 50–60 mm/year. Similar sedimentation dynamics were seen in 2018, i.e., during the flood period, when sands and loamy sands were deposited on the channel banks. Fine materials such as silts, silty loams, and clay-silt loams accumulated annually in the backwaters of the Oka River and on the floodplains of its tributaries. The prevalence of fractions sized 0.06–0.01 mm in alluvium after the floods with two low peaks of levels and relatively high turbidity (up to 50–220 g/m<sup>3</sup> in 2016–2017) was revealed. The precipitation of sand particles in the backwaters was confirmed only in 2018 as well. In the previous two years, silts and silty and sandy loams accumulated on the channel banks. During the low-energy floods (2014–2015), the fresh sediment layer on all traps did not exceed 11–18 mm; the size of particles was determined by how long the traps remained submerged, as well as by the course of the flood.

**Keywords:** alluvium, Oka River, sediment trap, floodplain, sandy channel, spring flood

**Figure Captions**

- Fig. 1. Study area and hydrological monitoring sites on the Oka River.  
Fig. 2. Sediment traps mapped using the SRTM C-SIR digital terrain model of the wide and narrow segments of the Oka River floodplain.  
Fig. 3. Changes in the highest levels of the Oka River on the Ryazan and Polovskoe gauges as shown by the instrumental observations.  
Fig. 4. Hydrological regime of the Oka River in 2014–2018.  
Fig. 5. Major sedimentation characteristics of the alluvium samples collected using the sediment traps, year by year.  
Fig. 6 Accumulation of alluvium on the traps made from coconut fiber and rubber.  
Fig. 7. Ferret's triangles showing the distribution of the alluvium samples from the sediment traps.

**References**

1. Lazarenko A.A. *Litologiya allyuviya ravninnykh rek gumidnoi zony* [Alluvium Lithology of Lowland Rivers in the Humid Zone (For the Dnieper, Desna, Oka)]. Moscow, Nauka, 1964. 237 p. *Tr. GIN Akad. Nauk SSSR*, no. 120. (In Russian)
2. Shantser E.V. Alluvium of lowland rivers in the temperate zone and its role in understanding the structure and formation of alluvial suites. *Tr. Inst. Geol. Nauk AN SSSR*, 1951, no. 135, ser. 55. 275 p. (In Russian)

3. Chalov R.S., Surkov V.V., Zhmykhova T.V. Point bars as special forms of the channel relief, intermediate between a low-water channel and a river floodplain. *Geomorfologiya*, 2016, no. 1, pp. 18–29. doi: 10.15356/0435-4281-2016-1-18-29. (In Russian)
4. Kaase C.T., Kapfer J.A. Sedimentation patterns across a Coastal Plain floodplain: The importance of hydrogeomorphic influences and cross-floodplain connectivity. *Geomorphology*, 2016, vol. 269, pp. 43–55. doi: 10.1016/j.geomorph.2016.06.020.
5. Keesstra S.D. Impact of natural reforestation on floodplain sedimentation in the Dragonja basin, SW Slovenia. *Earth Surf. Processes Landforms*, 2007, vol. 32, no. 1, pp. 49–65. doi: 10.1002/esp.1360.
6. Asselman N.E.M., Middelkoop H. Floodplain sedimentation: Quantities, patterns and processes. *Earth Surf. Processes Landforms*, 1995, vol. 20, no. 6, pp. 481–499. doi: 10.1002/esp.3290200602.
7. Nghia N., José H., Delgado M., Güntner A., Merz B., Bárdossy A., Apel H. Sedimentation in the floodplains of the Mekong Delta, Vietnam Part II: Deposition and erosion. *Hydrol. Processes*, 2014, vol. 28, no. 7, pp. 3145–3160. doi: 10.1002/hyp.9855.
8. Guy H.P., Norman V.W. *Field Methods for Measurement of Fluvial Sediment: U.S. Geological Survey, Techniques of Water Resources Investigation*. Book 3, Ch. C-2, 1970. 59 p.
9. 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, pp. 666–680. doi: 10.1016/j.geomorph.2014.10.023.
10. Casas-Mulet R., Alfredsen K.T., McClusky A.H., Stewardson M.J. Key hydraulic drivers and patterns of fine sediment accumulation in gravel streambeds: A conceptual framework illustrated with a case study from the Kiewa River, Australia. *Geomorphology*, 2017, vol. 299, pp. 152–164. doi: 10.1016/j.geomorph.2017.08.032.
11. Golosov V.N. Studies of sediment accumulation in river floodplains: Methodological possibilities and prospects. *Geomorfologiya*, 2009, vol. 4, p. 39–44. doi: 10.15356/0435-4281-2009-4-39-44. (In Russian)
12. Tyurin V.N. Assessment of sedimentation in the riverbed zone based on the soil cover (the floodplain of the latitudinal section of the Ob River, environs of Surgut). *Tritsats' pyatoe plenarnoe mezhdunarodnoye koordinatsionnoye soveshchanie po problemam erozionnykh, ruslovykh i ust'evykh protsessov* [Proc. 35th Plenary Interuniv. Coord. Conf. on the Problems of Erosion, Channel and Estuarine Processes]. Kursk, Kursk. Gos. Univ., 2020, p. 135. (In Russian)
13. Zakharova E.D., Belyaev V.R., Kharchenko S.V. Sedimentation environments and sediment sources in the Selenga River delta. *VIII Shchukinskie chteniya: rel'ef i prirodopol'zovanie: Materialy Vseros. konf. s mezhdunar. uchastiem* [VIII Shchukinskie Lectures: Relief and Nature Management: Proc. All-Russ. Conf. with Int. Participation]. Moscow, Geogr. Fak. MGU, 2020, pp. 485–490. (In Russian)
14. Krivtsov V.A., Vorobyov A.Yu., Puzakov S.V. Application of the sedimentary trap method for determining the dynamics of accumulation of modern alluvium in the Ryazan section of the middle reaches of the Oka River. *Vestn. Volgogr. Gos. Univ. Ser. 11. Estestv. Nauki*, 2015, no. 4, pp. 30–39. doi: 10.15688/jvolsu11.2015.4.4. (In Russian)
15. Vorobyov A.Yu., Kadyrov A.S. Accumulation of alluvial deposits in near-channel floodplains. *Geol., Geogr. Global'naya Energ.*, 2020, vol. 3, pp. 17–27. (In Russian)
16. L'vovich M.I. *Reki SSSR* [Rivers of the USSR]. Moscow, Mysl', 1971. 352 p. (In Russian)
17. Krivtsov V.A., Vorobyov A.Yu. Spatial organization and formation of local morphological complexes at the Ryazan site of the Oka River floodplain. *Vestn. Ryazan. Gos. Univ.*, 2014, no. 1, pp. 142–155. (In Russian)
18. The current water level of the Oka River at the gauging station of Ryazan. Available at: <https://allrivers.info/gauge/oka-ryazan/>. (In Russian)
19. Code of Rules 100.13330.2016. Reclamation systems and facilities. Updated edition of Russian Construction Rules and Regulations 2.06.03-85. Moscow, FGBNU "RosNIIPM", 2016. 231 p. (In Russian)
20. Vadyunina A.F., Korchagina Z.A. *Metody issledovaniya fizicheskikh svoystv pochv* [Methods for Studying the Physical Properties of Soils]. Moscow, Agropromizdat, 1986. 416 p. (In Russian)
21. Shvanov V.N. *Peschanye porody i metody ikh izucheniya* [Sand Rocks and Methods for Their Study]. Leningrad, Nedra, 1969. 248 p. (In Russian)

22. Osovetskii B.M. The structure and microstructure of alluvium of the Kuban River. In: *Allyuvii: Mezhuз. Sb. nauch. tr.* [Alluvium: Interuniv. Collect. Sci. Art.]. Perm, Izd. Perm Univ., 1976, pp. 12–36. (In Russian)
23. Romanovskii S.I. *Sedimentologicheskie osnovy litologii* [Sedimentological Principles of Lithology]. Leningrad, Nedra, 1977. 408 p. (In Russian)
24. Remo J.W.F., Heine R.A., Ickes B.S. Particle size distribution of main-channel-bed sediments along the upper Mississippi River, USA. *Geomorphology*, 2016, vol. 264, pp. 118–131. doi: 10.1016/j.geomorph.2016.04.012.
25. Gradziński R., Kostecka A., Radomski A., Unrug R. *Sedymentologia*. Warszawa, Wydawnictwo Geologiczne, 1976. 614 s. (In Polish)
26. Automated information system for state monitoring of water bodies. Available at: <https://gmvo.skniivh.ru/>. (In Russian)
27. Kireeva M.B., Il'ich V.P., Goncharov A.V., Bogachev A.N., Frolova N.L., Pakhomova O.M., Solovieva V.V. Influence of 2007–2015 extreme low flow period in the Don River basin on water ecosystems. *Vestn. Mosk. Univ., Ser. 5. Geogr.*, 2018, no. 5, pp. 3–13. (In Russian)
28. Dzhama'lov R.G., Frolova N.L., Kireeva M.B., Telegina A.A., Telegina E.A. Current resources of the surface and ground waters of the Oka River basin. *Nedropol'z. XXI Vek*, 2013, no. 6, pp. 40–45. (In Russian)
29. Vanin A.A. Predicted hydrographs of spring floods in the river system of the middle Oka River. *Melior. Vodn. Khoz.*, 2013, no. 2, pp. 8–13. (In Russian)
30. Hydrometeorological Centre of Russia. Available at: <https://meteoinfo.ru/>. (In Russian)
31. Sokolovskii D.L. *Rechnoi stok (osnovy teorii i praktiki raschetov)* [River Runoff (Fundamentals of the Theory and Practice of Calculations)]. Leningrad, Gidrometeoizdat, 1959. 527 p. (In Russian)
32. Kononova N.K. Types of global atmospheric circulation: Results of the monitoring and retrospective assessment for 1899–2017. *Fundam. Prikl. Klimatol.*, 2017, no. 3, p. 108–123. (In Russian)
33. Savichev A.I., Mironicheva N.P., Tsepelev V.Yu. Fluctuations in the atmospheric circulation of the Atlantic-Eurasian sector of the northern hemisphere over the past decades. *Uch. Zap. Ross. Gos. Gidrometeorol. Univ.*, 2015, no. 39, pp. 120–131. (In Russian)
34. Chernov A.V. *Geomorfologiya poim ravninnykh rek* [Geomorphology of Lowland River Floodplains]. Moscow, Izd. Mosk. Gos. Univ., 1983. 198 p. (In Russian)
35. Simonov Yu.G., Simonova T.Yu., Kichigin A.N. Valley bottom as an elementary morpholithosystem. In: *Prognozno-geograficheskii analiz territorii administrativnogo raiona* [Predictive Geographical Analysis of the Administrative Area]. Vol. 2. Moscow, Nauka, 1984, pp. 14–31. (In Russian)
36. Knighton D. *Fluvial Forms and Processes: A New Perspective*. London, Arnold, 1998. 383 p. (In Russian)
37. Alekseevskii N.I. *Formirovanie i dvizhenie rechnykh nanosov* [Formation and Movement of River Sediments]. Moscow, Mosk. Gos. Univ., 1998. 202 p. (In Russian)
38. Simonov Yu.G. *Geomorfologiya. Metodologiya fundamental'nykh issledovaniy* [Geomorphology. Fundamental Research Methodology]. St. Petersburg, Piter, 2005. 427 p. (In Russian)
39. Chalov R.S. *Ruslovedenie: teoriya, geografiya, praktika* [The Study of River Morphology: Theory, Geography, Practice]. Vol. 1: Channel processes: Factors, mechanisms, forms of manifestation, and conditions for the formation of river channels. Moscow, LKI, 2008. 608 p. (In Russian)
40. Litvin L.F., Kiryukhina Z.P., Krasnov S.F., Dobrovolskaya N.G. Dynamics of agricultural soil erosion in European Russia. *Eurasian Soil Sci.*, 2017, vol. 50, no. 11, pp. 1344–1353. doi: 10.1134/S1064229317110084.
41. Barabanov A.T., Dolgov S.V., Koronkevich N.I., Panov V.I., Petel'ko A.I. Surface runoff and snow-melt infiltration into the soil on plowlands in the forest-steppe and steppe zones of the East European Plain. *Eurasian Soil Sci.*, 2018, vol. 51, no. 1, pp. 66–72. doi: 10.1134/S1064229318010039.
42. Specialized arrays for climate research. Available at: <http://aisori-m.meteo.ru/waisori/>. (In Russian)
43. Chebotarev A.S. Laboratory studies of the patterns of formation of the particle size distribution of bottom sediments in river bends. *Zh. Univ. Vodn. Kommun.*, 2010, no. 2, p. 132–144. (In Russian)

44. Wang L., Cuthbertson A.J.S., Pender G., Cao Z. Experimental investigations of graded sediment transport under unsteady flow hydrographs. *Int. J. Sedimentol. Res.*, 2015, vol. 30, no. 4, pp. 306–320. doi: 10.1016/j.jsrc.2015.03.010.
45. Babiński Z., Chalov R.S. Udział rumowiska unoszonego i wlezonego w transporcie fluwialnym. In: *Środowisko przyrodnicze w badaniach geografii fizycznej. Promotio Geografia Bydgoszczensis*, 2005, no. 2, pp. 9–34. (In Polish)
46. Walling D.E., Fang D. Recent trends in the suspended sediment loads of the world's rivers. *J. Global Planet. Change*, 2003, vol. 39, nos. 1–2, pp. 111–126. doi: 10.1016/S0921-8181(03)00020-1.
47. Kondolf G.M. Hungry water: Effects of dams and gravel mining on river channels, profile. *Environ. Manage.*, 1997, vol. 21, no. 4, pp. 533–551. doi: 10.1007/s002679900048.
48. Potapov M.V. (Ed.) *Poperechnaya tsirkulyatsiya v otkrytom potoke i ee gidrotekhnicheskie primeneniya* [Transverse Circulation in an Open Stream and Its Hydraulic Applications]. Moscow, Sel'khozizdat, 1936. 383 p. (In Russian)
49. Krivtsov V.A., Vorobyov A.Yu., Vodorezov A.V., Zazovskaya E.P. Features of the floodplain formation of the Oka River in its middle reaches (the case study of the "Spasskoe" local widening). *Geomorfologiya*, 2020, no. 3, pp. 56–71. doi: 10.31857/S0435428120030050. (In Russian)
50. Mospan E.L. *Lotsiya vnutrennikh vodnykh putei* [Pilot Chart of Inland Waterways]. Moscow, Translit, 2008. 112 p. (In Russian)
51. Kononov M.S., Panovskaya M.Z. The composition of alluvial sediments and soils of the Dedinovo extension of the Oka floodplain. *Pochvovedenie*, 1973, no. 11, pp. 18–26. (In Russian)
52. Shishov S.A. Alluvial dark-humus soils of the Oka River floodplain near the village of Dedinovo, their agroecological properties and dynamics of soil processes. In: *Problemy pochvovedeniya: Sb. nauch. tr.* [Soil Science Problems: Collect. Sci. Art.]. Moscow, Pochv. Inst. im. V.V. Dokuchaeva, 2006, pp. 174–198. (In Russian)

**Для цитирования:** Воробьев А.Ю., Кривцов В.А., Кадыров А.С. Современная динамика накопления и состав аллювия прирусловой поймы реки Оки // Учен. зап. Казан. ун-та. Сер. Естеств. науки. – 2021. – Т. 163, кн. 4. – С. 603–625. – doi: 10.26907/2542-064X.2021.4.603-625.

**For citation:** Vorobyov A. Yu., Krivtsov V.A., Kadyrov A.S. Current dynamics of accumulation and composition of alluvium in the near-channel floodplain of the Oka River (Russia). *Uchenye Zapiski Kazanskogo Universiteta. Seriya Estestvennyye Nauki*, 2021, vol. 163, no. 4, pp. 603–625. doi: 10.26907/2542-064X.2021.4.603-625. (In Russian)