

## АККУМУЛЯЦИЯ АЛЛЮВИАЛЬНЫХ ОТЛОЖЕНИЙ В ПРИРУСЛОВЫХ ПОЙМАХ<sup>1</sup>

**Воробьев Алексей Юрьевич**, кандидат географических наук, старший преподаватель, Рязанский государственный университет имени С. А. Есенина, Российская Федерация, 390000, г. Рязань, ул. Свободы, 46, e-mail: a.vorobyov90@mail.ru

**Кадыров Александр Сергеевич**, магистрант, лаборант, Рязанский государственный университет имени С. А. Есенина, Российская Федерация, 390000, г. Рязань, ул. Свободы, 46, e-mail: alieksandr.kadyrov93@yandex.ru

Приводятся результаты экспериментальных исследований динамики аккумуляции половодного наилка в прирусловой пойме р. Оки в её среднем течении. Определён гранулометрический состав 72 образцов наилка, отобранных в различных субфациальных условиях на двух окских излучинах в 2014–2019 гг. Литология отложений отражает ежегодную изменчивость гидроклиматических условий в окском бассейне и влияние местных гидроморфологических факторов. Установлено, что наиболее крупнодисперсные наносы отлагались во время половодья 2018 г. с наибольшими уровнями и расходами за шестилетний период. В маловодные годы отмечается преобладающее накопление алевритов и илов и уменьшение мощности накопленного слоя аллювия в 8–15 раз по сравнению с 2018 г. Выявлено, что тонкие фракции принимают наибольшее участие в осадках затонов и в меньшей степени – нижних крыльев излучин Оки. Определены отличия в гранулометрическом составе свежих осадков, аккумуляровавшихся в естественных условиях и в условиях потока, зарегулированного плотиной Аксеновского гидроузла, расположенного у с. Константиново.

**Ключевые слова:** река Ока, аллювий, седиментационная ловушка, гранулометрический анализ, ГИС, половодье, русловая плотина

## ACCUMULATION OF ALLUVIAL DEPOSITS IN THE RIVERINE FLOODPLAINS

**Vorobyov Aleksey Yu.**, Ph. D. of Geography, Senior Lecturer, Ryazan State University named of S. A. Yesenin, 46 Svobody St., Ryazan, 490000, Russian Federation, e-mail: a.vorobyov90@mail.ru

**Kadyrov Aleksandr Sergeevich**, undergraduate, Laboratory Assistant, Ryazan State University named of S. A. Yesenin, 46 Svobody St., Ryazan, 490000, Russian Federation, e-mail: alieksandr.kadyrov.93@mail.ru

Presented the results of experimental studies of the dynamics of the accumulation of high water deposits in the riverbed floodplain of the Oka river in its middle course. We was determined the granulometric composition of 72 bulk samples of alluvial deposits, taken under various subfacial conditions at two Oka river bends in 2014–2019. The lithology of sediments reflects the annual variability of hydroclimatic conditions in the Oka river basin and the influence of local hydromorphological factors. It was found, that the most coarse sediments were deposited during the flood of 2018 with the highest levels and expenses over a six-year period of our research. In dry years, there is a predominant accumulation of silt and clay, as well as a decrease in the thickness of the accumulated alluvium layer by 8–15 times compared to 2018. It was revealed, that fine fractions take the greatest part in precipitation of backwaters, and, to a lesser extent, of the lower wings of river bends. We was determined the differences in the granulometric composition of sediments, accumulated under natural conditions and in the conditions of the flow regulated by the dam of the "Aksyonovsky" hydroelectric complex, located near the "Konstantinovo" village.

**Keywords:** Oka river, alluvium, sedimentation trap, particle size analysis, GIS, flood, channel dam

<sup>1</sup> Работа выполнена при поддержке РФФИ (Проект № 18-45-623002) и Министерства промышленности и экономического развития Рязанской области. (This work was supported by the Russian Foundation for Basic Research (Project No. 18-45-623002) and the Ministry of Industry and Economic Development of the Ryazan Region.)

**Введение.** Как известно [14, с. 18], одной из главных черт морфолитосистем пойм равнинных рек является их аллювиальность – периодическое накопление твёрдофазного материала на поверхности пойменного рельефа. Общие представления об аккумуляции аллювия в речных поймах лежат в рамках известных седиментационных и геоморфологических концепций [16, с. 120; 21, с. 5]. Обновление поверхности форм рельефа пойм осуществляется во время паводков, в прирусловой зоне аккумуляция может возобновляться и при прохождении паводков летом или осенью. Практическим значением затопления поймы реки является увеличение ёмкости матрицы аллювиальных почв за счёт привноса свежего наилка на их поверхность и пополнения почвенного ППК, что увеличивает плодородие пойменных угодий [3, с. 124].

Однако на фоне теоретической проработки общего алгоритма аллювиальной седиментации выделяется сравнительно небольшое количество работ, в которых задействованы прямые методы наблюдения за динамикой пойменного осадконакопления. Чаще используются дистанционные прогнозные либо балансовые методы, позволяющие определить составляющие баланса наносов в пределах конкретного руслового створа [2, с. 88]. В зарубежных работах полевой мониторинг динамики осадконакопления используется чаще [20, с. 31–51; 22, с. 693; 23, с. 315], причём число его модификаций велико, среди которых заметное положение занимает метод седиментационных ловушек.

В пойменной части долины р. Оки – крупного притока р. Волги – весеннее половодье чётко выражено, что в сочетании со сложным рельефом и морфологическими переходами «пойменное расширение – пойменное сужение» в её среднем течении создаёт сложную картину аллювиальной аккумуляции. Учитывая, что генерации окской поймы имеют неодинаковый гипсометрический уровень, можно предположить и различную от места к месту интенсивность аккумуляции аллювия. Применение метода седиментационных ловушек в пределах поймы Средней Оки осуществлялось в 2014–2019 гг. на участках, различных по высоте над урезом реки, однако из-за учащения маловодных лет в 2010-е гг. наиболее репрезентативными являются результаты экспериментов на прирусловой пойме.

Русло Оки в среднем течении представляет преимущественно сочетание меандрирующих и прямолинейных участков. В настоящем исследовании сопоставляются данные мониторинга аллювиальной седиментации на двух излучинах (Константиновской и Луковской), в фациально сходных условиях осадконакопления одного морфодинамического типа русла. Гранулометрический состав осадков, отлагавшихся на ловушках, является, с одной стороны, маркером определённых сочетаний скоростных полей паводкового потока, а с другой – информацией о новом геологическом наполнении форм пойменно-руслового рельефа (русловых отмелей, прирусловых валов, затонов). До настоящего времени экспериментальные данные о современном развитии отдельных форм пойменно-руслового рельефа Средней Оки практически отсутствовали, что создавало условия для оценки интенсивности аллювиальной аккумуляции в широком диапазоне значений.

**Район и методы исследований.** Окская пойма в её среднем течении, от слияния главной реки с р. Москвой (850 км от устья Оки) до слияния с р. Мокшей (354 км от устья Оки), представляет собой чередование расширенных и суженных участков. Среди них в границах Белоомутской мезоморфоструктуры (Мещерская низина) [10, с. 58], на контакте с Константиновским мезоморфоструктурным блоком (Среднерусская возвышенность), располагается Константиновское сужение поймы Оки. Отношение ширины русла к ширине поймы здесь не превышает 12/1, преобладает относительно прямолинейное русло. Две окские излучины – Константиновская и Федякинская (рис. 1) – образуют S-образный изгиб и расположены в зоне подпора Аксеновского гидроузла. Как известно, наличие русловой разборной плотины обычно способствует накоплению более тонкодисперсного материала в русле выше по течению по сравнению с незарегулированным руслом [9, с. 154; 15, с. 139].

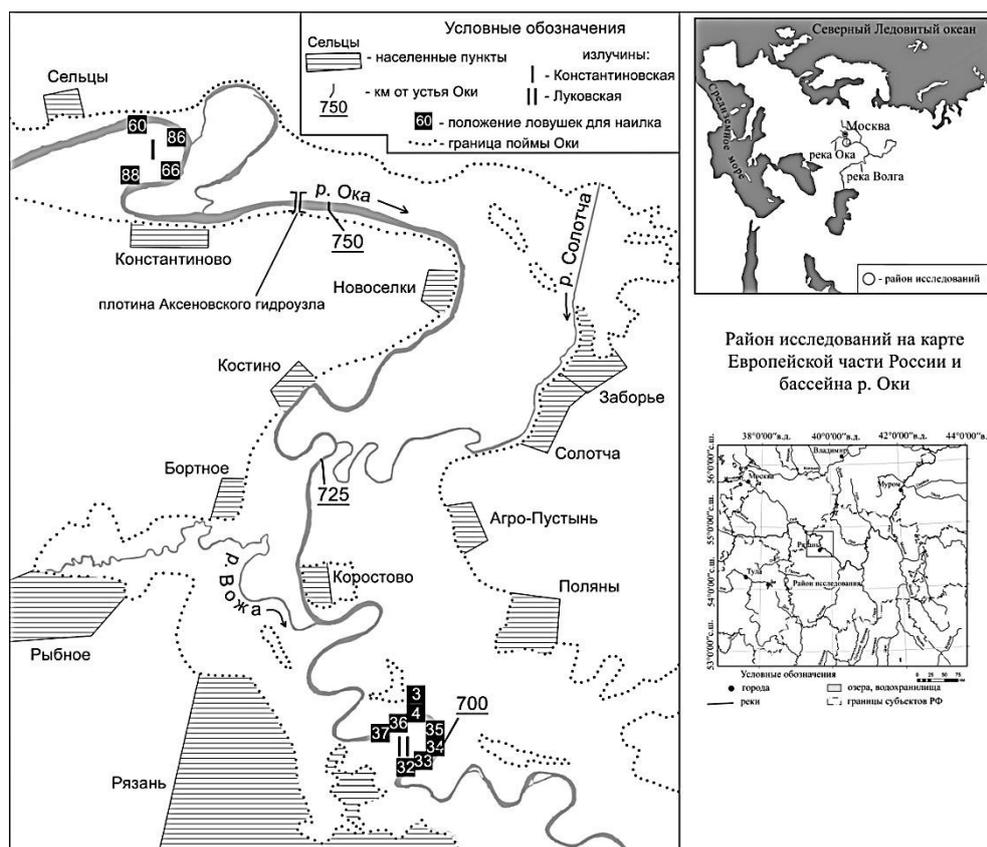


Рис. 1. Картограмма района исследований

Излучины Оки представлены и в Рязанском расширении её поймы. В его пределах, на отрезке днища долины от 743 до 662 км от устья, отношение ширины поймы к ширине русла Оки составляет 40/1, местами увеличиваясь до 65/1. Русло здесь не регулируется плотинами. Серия излучин, различных по своим морфологическим параметрам, на отрезке русла в 719–679 км от устья включает второй участок настоящего исследования. Мониторинг аллювиальной аккумуляции на выпуклом берегу шпоры Луковской излучины производился с большим пространственным разрешением, чем на Константиновской излучине. Наблюдения велись на русловых отмелях, нижних частях прирусловых валов и в затоне на нижнем крыле меандра.

Седиментационные ловушки, применённые в эксперименте, – коврики размером 40 см × 60 см, закрепляемые на формах пойменного рельефа. Использовались коврики из резины, на некоторых точках наблюдений они дублировались ковриками из кокосового волокна для сравнения осадконакопления на поверхностях с разной шероховатостью. Ловушки фиксировались девятью гвоздями по 30 см длиной каждый. Установка осуществлялась перед половодьем, осенью (в начале гидрологического года), либо перед прохождением половодной волны. Места установки ловушек отмечались с помощью GPS-навигатора GARMIN GPSMAP 62s с ошибкой позиционирования не более 3–4 м и затем привязывались к спутниковым снимкам в программе “QGIS v. 3.4.4-Madeira”. После съёма ловушек проводился гранулометрический анализ навесок собранных осадков с помощью ситового и пипеточного методов. Песчаные отложения разделялись на 17 фракций [по: 13, с. 130; 17, с. 151], а алевриты – на фракции, соответствующие международной классификации размерности частиц ISO 14688-1:2002 [8, с. 9]. Также был осуществлён отбор данных [1] о среднесуточных уровнях р. Оки на гидропосте Рязань, расположенном наиболее близко

к участкам исследований. Общие закономерности варьирования максимальных расходов и мутности Оки во время половодий за 2014–2019 гг. отображены по наблюдениям на контрольных створах Оки в верхнем, среднем и нижнем её течении.

**Полученные результаты.** Известно, что мехсостав осадков, отлагающихся на поверхности пойменных форм рельефа, напрямую зависит от местной гидродинамики в период половодий. Увеличение размера частиц, перемещающихся в половодном потоке, обусловлено повышением средней скорости в русле при прохождении руслоформирующих и максимальных расходов [11, с. 109; 19, с. 285]. Высокая изменчивость гидроклиматических параметров в окском бассейне в 2014–2019 гг. включает и неодинаковую выраженность самой половодной фазы в водном режиме Оки. Так, в 2014–2015 и 2019 гг. максимальный уровень подъёма весеннего паводка не превышал 2,5 м, максимальные расходы увеличивались по сравнению с меженными всего в 4–5 раз (рис. 2). Повышение водности Оки в период половодий 2016–2017 гг. сопровождалось заполнением руслового ложа до отметок 3,0–3,5 м над урезом, а в 2018 г., единственном году с половодьем на уровне верхнего интервала руслоформирующих расходов, – до отметки 6 м над урезом. Максимальные расходы при затоплении центральной поймы при этом были в 8–9 раз больше меженных. Очевидно, что неодинаковый ход половодий из года в год и различные значения описывающих их параметров должны иметь литологический отклик в составе аллювиальных осадков.

Константиновская излучина Оки – симметричный изгиб реки, расположенный в 766–759 км от её устья. Шаг излучины (L) составляет 2,7 км, длина стрелы прогиба (h) – 2,7 км, степень развитости (L/h) – 2,0. Радиус кривизны излучины (r) равен 1,3 км. По классификации Р. С. Чалова, форма Константиновской излучины имеет пограничное положение между сегментной крутой и омеговидной формами [15, с. 54]. За последние 200 лет её плановые очертания существенно изменились при заложении спрямляющей протоки (на участке между ловушками № 86 и 66). Протока отделила наиболее молодую часть шпоры бывшей более развитой излучины. Ловушка № 60 располагалась на верхнем крыле Константиновского меандра, сборник аллювия № 86 соответствовал его вершине, № 66 – нижнему крылу, а ловушка № 88 – затону на нижнем крыле. Установка ловушек № 86 и 66 осуществлялась на нижних частях прирусловых валов, а ловушки № 60 – на низовой части крутого залёсенного откоса массива выровненной поймы.

Среди фракций, присутствовавших в свежих половодных осадках прирусловой поймы Константиновской излучины во все годы наблюдений, доминируют частицы размерностью < 0,063 мм (рис. 3). В 2019 г. на фоне низких уровней и расходов Оки на всех ловушках не фиксировалась аккумуляция более крупных частиц, в 2014 г. доля песчаных фракций также была минимальной. В то же время ил (< 0,001 мм) составлял до 30 % навески наилка в эти годы, а в затоне (ловушка № 60) – 50–60 %. Наиболее крупнодисперсные осадки в среднем по ловушкам излучины отлагались в 2017–2018 гг., преобладали фракции 0,08–0,16 мм, однако в 2015 г. заметно участие также и алевритовых частиц. Менее выражены модальные классы в осадках 2016 г., преобладают частицы крупного алеврита (0,008–0,063 мм). В 2016 г. 17–32 % наилка было представлено илом. Максимальная мощность накопленного слоя отложения фиксировалась в 2016 и 2018 гг. (рис. 3). Наиболее интенсивное осадконакопление за 6 лет (60–68 мм) отмечалось для вершины и нижнего крыльев излучины (рис. 4). Средний за период исследований образец отложений на всех ловушках – суглинок (частиц < 0,001 мм – 17,5 %) с числом пластичности около 0,1 [7, с. 13]. В усреднённых за шесть лет осадках заметным оказывается участие ила, фракций мелкого и тонкого песка (на крыльях и вершине меандра) при резком преобладании алеврита. Средний за период наблюдений образец осадков «затонной» ловушки № 88 – глина, на треть состоящая из ила.

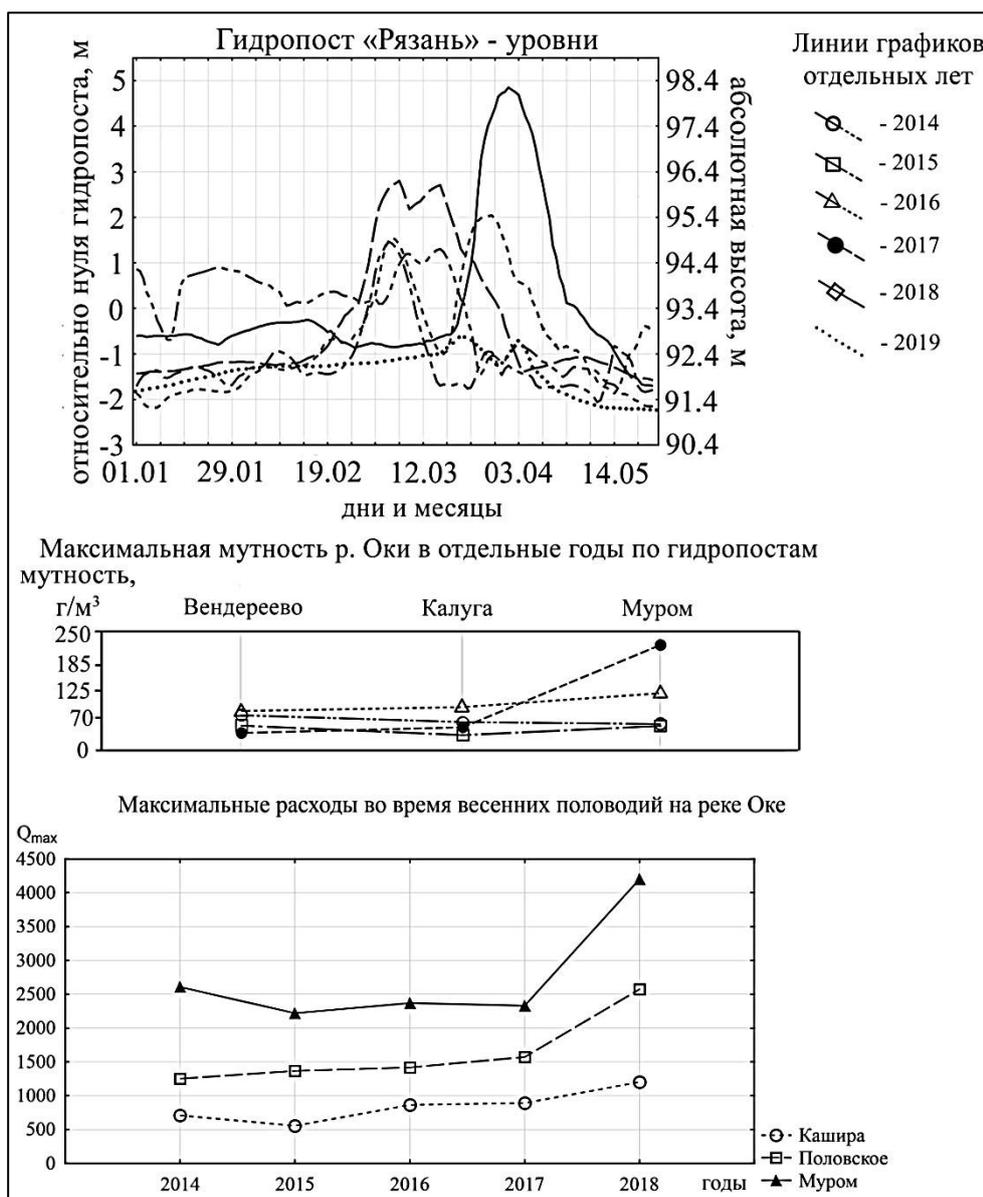


Рис. 2. Изменения гидрологических показателей на р. Оке в 2014–2019 гг.

Луковская излучина Оки, расположенная в 55 км ниже по течению от устья. Шаг излучины  $L$  равен 1,95 км, длина по руслу  $l$  – 4,86 км, степень развитости  $l/L$  – 2,5. Длина стрелы прогиба  $h$  составляет 1,76 км, радиуса кривизны  $r$  – 1 км, соответственно, излучина может быть отнесена к омеговидному (петлеобразному) типу (по классификации Р. С. Чалова) с  $L/h = 1,1$ ,  $r = 4,3h$  и  $l = 2,76h$ . Сложная форма меандра с четко выраженными второстепенными вершинами подразумевает подробный охват прирусловой поймы седиментационными ловушками. На вершине были закреплены ловушки № 3, 4 и 35. Второстепенной вершине на нижнем крыле соответствует сборник аллювия № 33, подножию высокого прируслового вала – ловушка № 34. На верхнем крыле ловушка № 36 установлена в низовой части активного берегового откоса, ловушка № 37 – более пологого берега, покрытого кустарником. В затоне на нижнем крыле Луковской излучины закреплялась ловушка № 32.

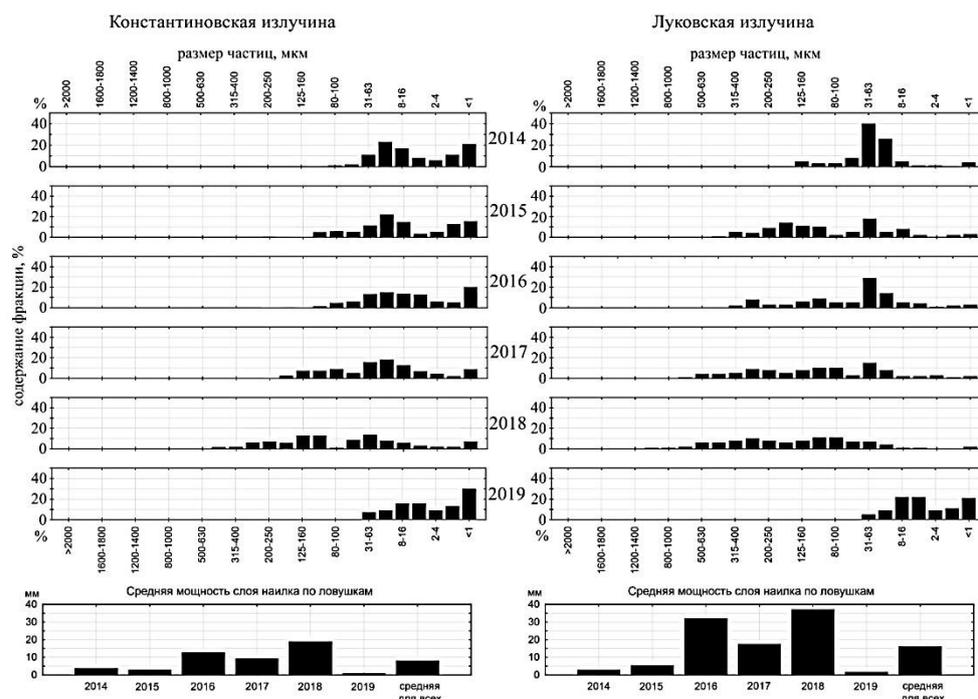


Рис. 3. Общее содержание фракций осадка за все годы наблюдений в среднем для двух излучин

В отличие от Константиновской излучины, в наилке на ловушках Луковского меандра представлены фракции среднего, крупного и даже грубого песка. Частицы, соответствующие по размеру грубому песку, встречаются только в аллювии 2018 г. и только на ловушках № 3 и 4. В усреднённых по ловушкам осадках 2017–2018 гг. одна из мод падает на фракцию 0,250–0,315 мм, а в средней навеске аллювия 2015 г. более 50 % частиц крупнее 0,1 мм. Как и на аллювиальных сборниках Константиновского участка, в 2014 и 2019 гг. отлагались алеврито-глинистые осадки, однако заметен сдвиг в сторону более крупных пылеватых фракций, отмечается меньшее содержание ила в наилке за все годы. До 40 % аллювия 2014 г. на Луковской излучине представлено фракцией 0,031–0,063 мм, но в осадках 2019 г. сохраняются модальные фракции 0,004–0,008 и 0,008–0,016 мм.

После половодий 2016 и 2018 гг. отмечалась значительная аккумуляция, особенно на привершинной части излучины. На ловушках № 3 и 4 в данные годы отлагалось до 60 мм осадков, на верхнем крыле излучины интенсивность аккумуляции была в 2–4 раза меньше. В 2017 г. в среднем по ловушкам слой наилка был в два раза меньше, чем в 2018 г., а в 2014–2015 гг. – в 7–8 раз. По сравнению с Константиновским участком, на Луковской излучине осадки 2015–2018 гг. были сортированы хуже, хотя конфигурация распределения по фракциям частиц в отложениях 2017–2018 гг. в целом сходна. В усреднённых за период мониторинга образцах наилка отмечается существенно большая доля песчаных фракций (до 20 % на ловушках № 3, 4, 34). В отличие от Константиновского участка, в осадках встречаются частицы размерностью 0,5–1,0 мм, причём почти на всех ловушках. В затоне на нижнем крыле излучины отлагались преимущественно алеврито-глинистые частицы, однако отмечается и участие фракций тонкого (5 %) и мелкого (2 %) песка в усреднённом образце аллювия. Средний за шесть лет образец по ловушкам – супесь (ила 6 %) с числом пластичности около 0,04.

**Интерпретация результатов исследования.** Обе излучины, на которых проводилось настоящее исследование, являются русловыми изгибами с неоднородными скоростными полями потока, что подтверждается результатами гранулометрического анализа свежих осадков прирусловой поймы. Увеличение живой силы потока на закруглении меандра при относительно высоких скоростях создаёт благоприятные условия для переноса песчаных частиц путём перекачивания и сальтации, отсюда укрупнение гранулометрического состава образцов аллювия, собранного с «вершинных» ловушек № 66, 86, 3, 4 и 35. Свежие осадки субфаций прирусловых валов и русловых отмелей в условиях повышенных скоростей почти лишены ила и мелкого алеврита. На растущей второстепенной вершине нижнего крыла Луковской излучины (ловушки № 34 и 33) отмечается интенсивная аккумуляция, что считается обычным для развитых омеговидных меандров [15, с. 142; 22, с. 690]. Осложнение их крыльев дополнительными вершинами происходит при совпадении продольных и поперечных составляющих скорости потока. Зачастую это сопровождается формированием дополнительных плесовых ложбин у противоположных вогнутых берегов, что и наблюдается на нижнем крыле Луковской излучины. Напротив места установки ловушки № 33 русло переуглублено до 5,2 м [12, с. 57] (соседние участки имеют глубину 3,2–3,3 м). В 2018 г. на данной ловушке максимальный размер (D1) осадков находился в диапазоне 0,63–0,80 мм, а первая квартиль – в пределах 0,4–0,5 мм, что отражает наличие сальтации и перекачивания во время пульсаций скорости.

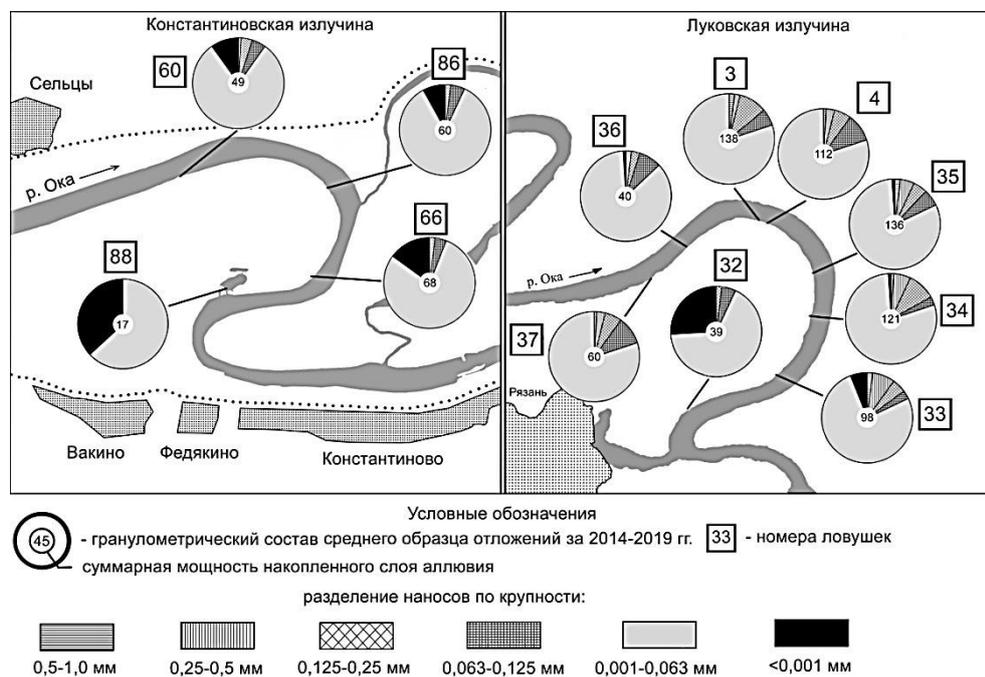


Рис. 4. Общее содержание фракций осадка за все годы наблюдений в среднем для двух излучин

Регуляция жидкого и твёрдого стока русловой плотиной у с. Аксёново создаёт условия для подтопления русловой отмели на вершине и нижнем крыле Константиновской излучины. До 2015 г. гидроузел находился около с. Кузьминского, на 3 км ближе к участку исследования. Уклон водной поверхности здесь существенно меньше (0,012 ‰), чем на Луковской излучине (0,062 ‰), единственная хорошо выраженная плёсовая ложбина находится на 762 км от устья Оки. Падение скоростей потока препятствует массовому размыву дна, перемещение песка при этом становится

возможным, главным образом, при увеличении расходов и росте турбулизации потока. В результате осадки отлагаемые на прирусловой пойме Константиновской излучины обеднены песчаными фракциями, в свою очередь, представленными в основном частицами 0,08–0,16 мм. Между тем, фиксируется накопление взвешенных наносов (алеврит и ил) при падении скоростей ниже незаилающих значений на спаде половодья. Характерно, что гидравлическая крупность частиц подобного размера при температуре 3–6 °С (в холодной весенней воде) не более 0,003–0,004 м/с [4, с. 92], что соответствует медленно текущему ламинарному потоку. Более чем двукратные различия в общей мощности наилка между двумя излучинами также объясняются уменьшением транспортирующей способности потока, при этом выпадение наносов должно происходить и в мёртвом объёме руслового водохранилища. Отметим, что Константиновский участок расположен в 32 км ниже по течению от плотины Белоомутского гидроузла, из нижнего бьефа которой поступает осветлённый поток. При этом протяжённость активных береговых откосов – потенциальных источников твёрдофазного материала – между двумя плотинами составляет всего 7 км (11 % общей протяжённости).

Не только местные гидроморфологические факторы, но и параметры самой половодной волны влияют на состав отлагавшихся осадков. Транзит взвешенных наносов в половодье 2016 г. на фоне возрастания максимальной мутности хорошо отражён в литологических признаках прирусловых осадков. При сравнительно невысоких максимальных уровнях и расходах данного года осуществлялась аккумуляция транзитного материала. Дополнительным фактором увеличения аккумуляции являлся сложный ход половодий 2016–2017 гг. с двумя пиками. В 2018 г., во время половодья на уровне верхнего интервала руслоформирующих расходов резко активизировались горизонтальные русловые деформации [5, с. 122], ускорился рост прирусловых отмелей. Крайне низкие значения мощности слоя наилка по ловушкам в 2014–2015 и 2019 гг. коррелируют с нарушением нормальной периодичности водного режима Оки. Половодье в эти годы по уровню и расходам было сопоставимо с осенними паводками. Между тем, при пониженной мутности потока в 2015 г. его транспортирующая способность также реализовывалась за счёт перемещения влекомых наносов и размыва дна, особенно на Луковской излучине. В 2014 и 2019 гг. в транспорте частиц абсолютно преобладали взвешенные наносы.

Формирование косослоистой толщи отложений на выпуклых берегах шпор излучин происходит при выпадении частиц соответствующего размера, перемещённых из более глубоких частей русла [16, с. 159]. В частности, это могут быть осадки прибрежной субфации аллювия, субфация перекатов, отложения нижних частей русловых отмелей. Движение песчинок осуществляется при мгновенных пульсациях скоростей, обычно превышающих средние значения. D1 частиц осадков Константиновского участка не превышает 0,16–0,20 мм, лишь в 2018 г. данный показатель увеличился до 0,4–0,5 мм. Примерные значения придонной скорости потока для перемещения среднего песка должны быть около 0,08–0,09 м/с [4, с. 140]. На нижних частях прирусловых валов и верхних частях русловых отмелей Луковской излучины отлагались осадки с D1 до 1,2 мм. Перекатывание песчинок подобного диаметра возможно уже при придонных скоростях порядка 0,15 м/с, что свидетельствует о гораздо более динамичной среде осадконакопления в условиях незарегулированного русла.

**Заключение** Проведённые экспериментальные исследования свидетельствуют о неодинаковом проявлении современного аллювиального осадконакопления в пойме, примыкающей к развитым излучинам р. Оки (даже близким по форме) в её среднем течении. После весенних половодий 2014–2019 гг. накапливался преимущественно средне- и легкосуглинистый наилок. Относительное утяжеление гранулометрического состава отмечалось в 2014, 2016–2017 и 2019 гг. Оно было связано с прохождением невысоких половодий с пониженной энергией, слабо выраженных в годовом ходе уровней и расходов Оки. Увеличение участия песчаных фракций в осадках

фиксирувалось для 2015 г. при невысоких значениях максимальной мутности и для 2018 г. Только в 2018 г., во время половодья, близкого по уровню и расходам к средним многолетним значениям, осуществлялось перемещение песчаных частиц фракции грубого песка (1–2 мм) на вершине Луковской излуины. Средняя скорость аллювиальной аккумуляции на нижних частях прирусловых валов и надводных частях русловых отмелей Луковской излуины в 2014–2019 гг. составляла 21 мм/год. В фациально схожей обстановке прирусловой поймы Константиновской излуины Оки, в условиях подпора потока русловой плотиной средняя скорость накопления наилка уменьшается до 11 мм/год. На том же участке регулирование русла влияет также и на гранулометрический состав наносов – в замедленном половодном потоке выпадают и алеврито-глинистые частицы, что наблюдается на Луковской излуине лишь в затоне на её нижнем крыле. Антропогенное изменение естественного водного режима на Константиновском участке ведёт к накоплению илистых частиц – потенциальных сорбентов химических загрязнителей. Их накопление в русле и на низкой пойме в зонах подпора русловых водохранилищ может приводить к увеличению экологических рисков в локальном масштабе, особенно при оправдании прогнозов [6, с. 119] на уменьшение слоя стока и увеличения испарения в бассейне Оки к середине XXI в.

#### Список литературы

1. Автоматизированная информационная система государственного мониторинга водных объектов. – Режим доступа: <https://gmvo.skniivh.ru/>, ограниченный. – Загл. с экрана. – Яз. рус. (дата обращения: 14.03.2020).
2. Алексеевский, Н. И. Формирование и движение речных наносов / Н. И. Алексеевский. – Москва : Московский ун-т, 1998. – 202 с.
3. Балабко, П. Н. Почвы мелиорированной поймы верхнего течения реки Оки, используемые в интенсивном земледелии / П. Н. Балабко, А. А. Снег, Т. В. Локалина, В. Н. Щедрин // Научный журнал Российского научно-исследовательского института проблем мелиорации. – 2016. – № 3 (23). – С. 116–137.
4. Векслер, А. Б. Рекомендации по прогнозу трансформации русла в нижних бьефах гидроузлов / А. Б. Векслер, В. М. Доненберг. – Санкт-Петербург : Всероссийский науч.-исслед. ин-т гидротехники им. Б. Е. Веденеева, 2006. – 201 с.
5. Воробьев, А. Ю. Локальные деформации русла Оки в ее среднем течении / А. Ю. Воробьев // Вестник Рязанского государственного университета им. С. А. Есенина. – 2018. – № 4 (61). – С. 115–126.
6. Гайдукова, Е. В. Сценарная оценка нормы изменений суммарных влагозапасов речных бассейнов / Е. В. Гайдукова, А. Баймаганбетов, Л. Синклеун, Э. С. Бонгу // Ученые записки Российского государственного гидрометеорологического университета. – 2018. – С. 113–122.
7. Долматов, Б. И. Механика грунтов, основания и фундаменты / Б. И. Долматов. – Ленинград : Стройиздат, Ленингр. отд-ние, 1988. – 415 с.
8. ГОСТ Р ИСО 14688-1-2017. Геотехнические исследования и испытания. Идентификация и классификация грунтов. – Москва : Стандартинформ, 2017. – 45 с.
9. Кондратьев, Н. Е. Основы гидроморфологической теории руслового процесса / Н. Е. Кондратьев, И. В. Попов, Б. Ф. Снищенко. – Ленинград : Гидрометеоздат, 1982. – 270 с.
10. Кривцов, В. А. Рельеф Рязанской области (региональный геоморфологический анализ) / В. А. Кривцов. – Рязань : Рязанский гос. пед. ун-т им. С. А. Есенина, 1998. – 195 с.
11. Мирцхулава, Ц. Е. Основы физики и механики эрозии русел / Ц. Е. Мирцхулава. – Ленинград : Гидрометеоздат, 1988. – 304 с.
12. Моспан, Е. Л. Лоция внутренних водных путей / Е. Л. Моспан. – Москва : Транслит, 2008. – 112 с.
13. Рожков, Г. Ф. Дробный ситовой гранулометрический анализ / Г. Ф. Рожков, З. Н. Ипатова, О. В. Колобзаров, Р. Н. Стайсон // Литология и полезные ископаемые. – 1973. – № 6. – С. 121–135.

14. Симонов, Ю. Г. Элементарная морфолитосистема дна долины / Ю. Г. Симонов, Т. Ю. Симонова, А. Н. Кичигин // Прогнозно-географический анализ территории административного района. – Москва : Наука, 1984. – Т. 2. – С. 14–31.
15. Чалов, Р. С. Речные излуины / Р. С. Чалов, А. С. Завадский, А. В. Панин. – Москва, 2004. – 371 с.
16. Шанцер, Е. В. Аллювий равнинных рек умеренного пояса и его значение для познания закономерностей строения и формирования аллювиальных свит / Е. В. Шанцер // Труды Института геологических наук. Геологическая серия. – 1951. – Вып. 135, № 55. – 271 с.
17. Шванов, В. Н. Песчаные породы и методы их изучения / В. Н. Шванов. – Ленинград : Недра, 1969. – 248 с.
18. Cotton, J. A. The effects of seasonal changes to in-stream vegetation cover on patterns of flow and accumulation of sediment / J. A. Cotton, G. Wharton, J. A. B. Bass, C. M. Heppell, R. S. Wotton // *Geomorphology*. – 2006. – Vol. 77. – P. 320–334.
19. Gradziński, R. *Sedymentologia: Wydawnictwa Geologiczne* / R. Gradziński, A. Kostecka, A. Radomski, R. Unrug. – Warszawa, 1976. – 653 p.
20. Nghia, N. Sedimentation in the floodplains of the Mekong Delta, Vietnam. Part II: deposition and erosion / N. Nghia, H. José, M. Delgado, A. Güntner, B. Merz, A. Bárdossy, H. Apel // *Hydrological Processes*. – 2014. – Vol. 28. – P. 3145–3160.
21. Phillips, J. M. The particle size characteristics of fine-grained channel deposits in the River Exe Basin, Devon, UK / J. M. Phillips, D. E. Walling // *Hydrological Processes*. – 1999. – Vol. 13. – P. 1–19.
22. Purkait, B. Grain-size distribution patterns of a point bar system in the Usri River, India / B. Purkait // *Earth Surface Processes and Landforms*. – 2006. – Vol. 31. – P. 682–702.
23. Wang, L. Experimental investigations of graded sediment transport under unsteady flow hydrographs / L. Wang, A. J. S. Cuthbertson, G. Pender, Z. Cao // *International Journal of Sediment Research*. – 2015. – Vol. 30. – P. 306–320.

#### References

1. *Avtomatizirovannaya informatsionnaya sistema gosudarstvennogo monitoringa vodnykh obektov* [Automated information system for state monitoring of water bodies]. Available at: <https://gmvo.skniivh.ru/> (Accessed: 14.03.2020).
2. Alekseevsky, N. I. *Formirovanie i dvizhenie rechnykh nanosov* [Formation and movement of river sediments]. Moscow, Lomonosov Moscow State University Publ. 1998, 202 p.
3. Balabko, P. N., Sneg, A. A., Lokalina, T. V., Shchedrin, V. N. Pochvy meliorovannoy поймы верхнего течения реки Оки, исползуемые в интенсивном земледелии [Soils of the reclaimed floodplain of the upper reaches of the Oka River, used in intensive farming]. *Nauchnyy zhurnal Rossiyskogo nauchno-issledovatel'skogo instituta problem melioratsii* [Scientific journal of the Russian Research Institute of Land Reclamation], 2016, vol. 3 (23), pp. 116–137.
4. Veksler, A. B., Donenberg, V. M. *Rekomendatsii po prognozu transformatsii rusla v nizhnikh befakh gidrouzlov* [Recommendations for predicting the transformation of the channel in the lower pools of hydroelectric facilities]. St. Petersburg. All-Russian Scientific Research Institute of Hydraulic Engineering named after B.E. Vedeneva Publ., 2006, 201 p.
5. Vorobev, A. Yu. Lokalnye deformatsii rusla Oki v ee srednem techenii [Local deformations of the Oka riverbed in its middle course]. *Ryazan State University Bulletin S. A. Yesenina* [Bulletin of the Ryazan State University named after S. A. Yesenin], 2018, vol. 4 (61), pp. 115–126.
6. Gaydukova, E. V., Baimaganbetovy A., Sinkpeun, L., Bongu, E. S. Stsenarnaya otsenka normy izmeneniy summarnykh vlagozapasov rechnykh basseynov [Scenario assessment of the rate of change in the total moisture reserves of river basins]. *Uchenye zapiski Rossiyskogo gosudarstvennogo gidrometeorologicheskogo universiteta* [Scientific Notes of the Russian State Hydrometeorological University], 2018, pp. 113–122.
7. Dolmatov, B. I. *Mekhanika gruntov, osnovaniya i fundamenti* [Soil mechanics, foundations and foundations]. Leningrad, Stroyizdat Publ., 1988, 415 p.
8. *GOST R ISO 14688-1-2017. Geotechnical research and testing. Identification and classification of soils*. Moscow, Standartinform Publ., 2017, 45 p.
9. Kondratiev, N. E., Popov, I. V., Snishchenko, B. F. *Osnovy gidromorfologicheskoy teorii ruslovogo protsessa* [Fundamentals of the hydromorphological theory of the channel process]. Leningrad, Gidrometeoizdat Publ., 1982, 270 p.

10. Krivtsov, V. A. *Relief Ryazanskoy oblasti (regionalnyy geomorfologicheskiy analiz)* [Relief of the Ryazan region (regional geomorphological analysis)]. Ryazan, Ryazan State Pedagogical University named after S. A. Yesenin Publ., 1998, 195 p.
11. Mirtskhulava, Ts. E. *Osnovy fiziki i mehaniki erozii rusel* [Fundamentals of physics and mechanics of channel erosion]. Leningrad, Gidrometeoizdat Publ., 1988, 304 p.
12. Mospan, E. L. *Lotsiya vnutrennikh vodnykh putey* [Pilot inland waterways]. Moscow, Translit Publ. 2008, 112 p.
13. Rozhkov, G. F., Ipatova, Z. N., Kolobzarov, O. V., Stayson, R. N. Drobnyy sitovoy granulometricheskii analiz [Fractional sieve granulometric analysis]. *Litologiya i poleznye iskopaemye* [Lithology and minerals], 1973, vol. 6, pp. 121–135.
14. Simonov, Yu. G., Simonova, T. Yu., Kichigin, A. N. Elementarnaya morfolitosistema dnishcha doliny [Elementary morpholithosystem bottom of the valley]. *Prognozno-geograficheskiy analiz territorii administrativnogo rayona* [Forecast-geographical analysis of the territory of the administrative region]. Moscow, Nauka Publ., 1984, book 2, pp. 14–31.
15. Chalov, R. S., Zavadsky, A. S., Panin, A. V. *Rechnye izluchiny* [River bends]. Moscow, Lomonosov Moscow State University Publ., 2004, 371 p.
16. Shantser, E. V. Allyuviiy ravninnykh rek umerennogo poyasa i ego znachenie dlya poznaniya zakonernostey stroeniya i formirovaniya allyuvialnykh svit [Alluvium of lowland rivers of the temperate zone and its importance for understanding the laws of the structure and formation of alluvial suites]. *Trudy Instituta geologicheskikh nauk. Geologicheskaya seriya* [Proceedings of the Institute of Geological Sciences. Geological series], 1951, vol. 55, 271 p.
17. Shvanov V.N. Peschanye porody i metody ih izuchenija [Sand rocks and methods for their study]. Leningrad. Nedra Publ. 1969. 248 p.
18. 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, pp. 320–334.
19. Gradziński, R., Kostecka, A., Radomski, A., Unrug, R. *Sedymentologia: Wydawnictwa Geologiczne*. Warszawa, 1976, 653 p.
20. 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. *Hydrological Processes*, 2014, vol. 28, pp. 3145–3160.
21. 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, pp. 1–19.
22. Purkait, B. Grain-size distribution patterns of a point bar system in the Usri River, India. *Earth Surface Processes and Landforms*, 2006, vol. 31, pp. 682–702.
23. Wang, L., Cuthbertson, A. J. S., Pender, G., Cao, Z. Experimental investigations of graded sediment transport under unsteady flow hydrographs. *International Journal of Sediment Research*, 2015, vol. 30, pp. 306–320.