

<https://doi.org/10.30766/2072-9081.2024.25.4.645-654>

УДК 631.452:631.454:631.434.52

**Паводковые седименты как источник пополнения
аллювиальных почв элементами питания растений**

© 2024. А. В. Ильинский, К. Н. Евсенкин, А. А. Павлов✉

ФГБНУ «Федеральный научный центр гидротехники и мелиорации
имени А. Н. Костякова», г. Москва, Российская Федерация

Паводковая седиментация в условиях регулярного затопления поймы является ключевым фактором формирования аллювиальной почвы. Характер прохождения полых вод и их состав влияют на количественные и качественные характеристики паводковых седиментов, оказывая при этом существенное влияние на агроэкологическое состояние пойменного агроландшафта. Цель исследований – изучение роли паводковых седиментов в обогащении подстилающей аллювиальной почвы питательными элементами. Эксперимент проведен на мелиорируемых пахотных землях Рязанской области в 2023 году. Определение уровня седиментной нагрузки и отбор проб наилка осуществляли с помощью закрепленных на поверхности почвы пластиковых осадконакопительных пробоотборников, расположенных на расстоянии 200 м друг от друга (установка – 23 марта, продолжительность сбора седиментов – 42 дня до схода полых вод). Определен средний уровень седиментной нагрузки – 15,4 т/га, изучены агрохимические свойства паводковых седиментов и подстилающей почвы, проанализирована структура поступления в агроландшафт органического вещества, макро- и микроэлементов с паводковыми седиментами и их вынос с урожаем кукурузы на силос. Вместе с седиментами в почву поступило (кг/га): общего азота – 107,80, общего фосфора – 43,10, общего калия – 104,70, органического вещества – 2464,0, подвижного фосфора – 15,20, обменного калия – 17,80; микроэлементов (г/га): бора – 11,86, молибдена – 1,54, цинка – 122,74, марганца – 1215,06, меди – 200,20, кобальта – 52,05. С урожаем кукурузы на силос (36,1 т/га) вынос составил (кг/га): N – 105, P₂O₅ – 33, K₂O – 105. Проведенные исследования свидетельствуют о несомненной агрономической ценности паводковых седиментов, которые могут частично обеспечивать потребность растений в элементах питания, что позволит корректировать систему применения удобрений. В 2023 году масса поступивших веществ с паводковыми седиментами полностью покрыла потребность кукурузы по азоту, по подвижному фосфору потребность сократилась до 17,8 кг/га, по обменному калию – до 87,2 кг/га.

Ключевые слова: агроландшафт, агрохимические показатели, деградация почвы, плодородие, поступление элементов, удобрительное воздействие, экологическая безопасность

Благодарности: работа выполнена при поддержке Минобрнауки РФ в рамках Государственного задания ФГБНУ «Федеральный научный центр гидротехники и мелиорации имени А. Н. Костякова» (тема № FGUF-2022-0008).

Авторы благодарят рецензентов за их вклад в экспертную оценку этой работы.

Конфликт интересов: авторы заявили об отсутствии конфликта интересов.

Для цитирования: Ильинский А. В., Евсенкин К. Н., Павлов А. А. Паводковые седименты как источник пополнения аллювиальных почв элементами питания растений. Аграрная наука Евро-Северо-Востока. 2024;25(4):645–654. DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2024.25.4.645-654>

Поступила: 13.03.2024

Принята к публикации: 02.07.2024

Опубликована онлайн: 28.08.2024

**Flood sediments as a source of replenishment of alluvial soils with
plant nutrition elements**

© 2024. Andrey V. Ilinskiy, Konstantin N. Evsenkin, Artyom A. Pavlov✉

All-Russian Research Center for Hydraulic Engineering and Land Reclamation
named after A. N. Kostyakov, Moscow, Russian Federation

Flood sedimentation in conditions of regular floodplain flooding is a key factor in the formation of alluvial soil. The nature of the passage of hollow waters and their composition affect the quantitative and qualitative characteristics of flood sediments, while having a significant impact on the agroecological state of the floodplain agricultural landscape. The aim of the research was to study the role of flood sediments in enriching the underlying alluvial soil with nutrients. The experiment was conducted on reclaimed arable lands of the Ryazan region in 2023. Determination of the sediment load level and sampling on the surface were carried out using plastic sedimentation samplers fixed on the soil surface, located at a distance of 200 m from each other. The installation was carried out on March 23, the duration of sediment collection was 42 days before the descent of the hollow waters. The average sediment load level of 15.4 t/ha was established, the agrochemical properties of flood sediments and underlying soil were studied, the structure of organic matter, macro- and microelements with flood sediments

and their removal from the corn harvest to silage was analyzed. Together with sediments the soil received (kg/ha): total nitrogen – 107.80, total phosphorus – 43.10, total potassium – 104.70, organic matter – 2464.0, mobile phosphorus 15.20, exchangeable potassium 17.80; trace elements (g/ha): boron – 11.86, molybdenum – 1.54, zinc – 122.74, manganese – 1215.06, copper – 200.20, cobalt – 52.05. With a corn harvest for silage of 36.1 kg/ha, the takeaway was: N – 105 kg/ha, P₂O₅ – 33 kg/ha, K₂O – 105 kg/ha. The conducted studies indicate the undoubted agronomic value of flood sediments, they can partially meet the need for fertilizers, therefore, it is necessary to take into account the mass of the substances used to carry out appropriate adjustments to the fertilizer application system. In 2023, the mass of incoming substances with flood sediments completely covered the need for nitrogen; for mobile phosphorus the need decreased to 17.8 kg/ha, for exchangeable potassium the need decreased to 87.2 kg/ha.

Keywords: agrolandscape, agrochemical indicators, soil degradation, fertility, intake of elements, fertilizing effect, environmental safety

Acknowledgments: this work was supported by the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation within the state assignment of the All-Russian Research Center for Hydraulic Engineering and Land Reclamation named after A. N. Kostyakov (theme No. FGUF-2022-0008).

The authors thank the reviewers for their contribution to the peer review of this work.

Conflict of interest: the authors stated that there was no conflict of interest.

For citation: Ilyinsky A. V., Evsenkin K. N., Pavlov A. A. Flood sediments as a source of replenishment of alluvial soils with plant nutrition elements. *Agrarnaya nauka Evro-Severo-Vostoka* = Agricultural Science Euro-North-East. 2024;25(4):645–654. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2024.25.4.645-654>

Received: 13.03.2024

Accepted for publication: 02.07.2024

Published online: 28.08.2024

По территории России протекает большое количество малых и крупных рек, благодаря этому пойменные почвы получили широкое распространение в различных почвенно-климатических зонах. В Нечерноземной зоне РФ пойменные земли составляют около 3 % от общей площади. Использование таких почв в сельском хозяйстве имеет большое практическое значение в обеспечении продовольственной безопасности. Излишне увлажненные пойменные земли могут использоваться только после проведения соответствующих мелиоративных мероприятий, которые должны учитывать особенности почвообразования в условиях поймы [1, 2, 3].

Процесс почвообразования пойменных почв одновременно сопровождается накоплением наилка, выпадающего на поверхность поймы во время ее затопления [4, 5, 6]. Накопление речных седиментов происходит неравномерно на разных участках поймы ввиду отличительных особенностей рельефа, удаленности от русла, концентрации взвешенных веществ в период половодья, скорости потока, мощности половодья и его продолжительности [7, 8, 9]. В прирусловой части поймы оседает больше всего галечник и песчаные частицы, в центральной и притеррасной пойме – илистые и пылевидные частицы. На территориях, расположенных в пойме р. Ока Рязанской области, наименьшая седиментная нагрузка приходится на естественные сенокосы, на пашне она выше, чем на лугах, за счет привнесения в пойму дополнительных материалов с пахотных земель [10].

Благодаря паводковым седиментам пойменные почвы обладают высоким плодородием

[11, 12, 13]. Мониторинг качественного состава паводковых седиментов является важной эколого-мелиоративной задачей. Учет элементов питания сельскохозяйственных культур, поступивших с седиментами, будет способствовать изучению биогеохимических циклов миграции биогенных элементов с целью сбалансированного воздействия на пойменные ландшафты и оптимизации производственных расходов, связанных с использованием минеральных удобрений [14, 15].

Результаты ранее проведенных мониторинговых исследований состояния аллювиальных почв Рязанского региона [15] свидетельствуют о выраженном процессе деградации почв. К ключевым причинам ухудшения агрономических характеристик почв относится несоблюдение научно обоснованных рекомендаций по ведению сельского хозяйства на пойменных почвах мелиорированных земель, глобальные климатические изменения, техногенное загрязнение окружающей среды. В целях достижения высокопродуктивного и экологически чистого растениеводства, снижения процессов деградации почв необходима разработка и внедрение рациональных способов сохранения и повышения плодородия аллювиальных почв при использовании многокомпонентных органических мелиорантов [16, 17]. Актуальность исследований заключается в том, что учет элементов питания растений, поступивших в почву с паводковыми седиментами, позволит скорректировать системы применения удобрений в технологии выращивания кормовых культур на пойменных землях.

Цель исследований – агрохимическая оценка влияния паводковой седиментации на пахотные земли агроландшафта поймы реки Ока.

Новизна исследований – паводковые седименты рассматриваются как источники обогащения аллювиальных почв не только макро-, но и микроэлементами. Кроме того, для определения седиментной нагрузки впервые использованы пробоотборники, имитирующие поверхность пашни, которые позволяют более точно находить уровень седиментной нагрузки, чем пластиковые маты, имитирующие травяной покров.

Материал и методы. Изучение влияния седиментной нагрузки на мелиорированные земли начато в весенний период 2023 года на стационарном участке наблюдений, расположенном в 5 километрах от границы г. Рязань (с. Шумашь). Выбор участка связан с тем, что в настоящее время на нем проводятся многолетние полевые исследования по восстановлению плодородия и повышению продуктивности почв. Территория исследований расположена в центральной части поймы с характерным для среднего течения р. Ока сегментно-грядистым рельефом и просадочным микрорельефом с ложбинно-западинными формами. Исследуемый участок пойменного агроландшафта является полностью освоенным, в 70-х годах прошлого века была построена осушительно-увлажнительная мелиоративная система, которая в настоящее время требует капитального ремонта.

Проведенные ранее исследования ВНИИ-ГиМ [10, 11] на данной территории свидетельствуют о поступлении питательных веществ на пашню с полыми водами в виде седиментов. На исследуемой территории распространены аллювиальные луговые среднесуглинистые почвы, которые характеризуются близкой к нейтральной реакцией среды, гидролитической кислотностью – 1,10 ммоль/100 г, повы-

шенной суммой поглощенных оснований – 18,2 ммоль/100 г, высокой степенью насыщенности основаниями – 94,3 %, повышенным содержанием подвижного фосфора – 123 мг/кг, низким – обменного калия 56 мг/кг [15].

Определение уровня седиментной нагрузки выполнено по оригинальной авторской методике (патент РФ №2815978 [18]) с помощью зафиксированных на рельефе четырех осадко-накопительных пробоотборников, представляющих собой ворсистые пластиковые маты, расположенные друг от друга на расстоянии 0,2 км. В целях получения наиболее объективной информации об уровне седиментной нагрузки на исследуемой территории места расстановки пробоотборников определяли с учетом всех форм микрорельефа (понижениями и повышениями). Размещение пластиковых матов на рельефе опытного участка выполнено 23 марта 2023 года, период экспозиции – 42 дня. Сразу после схода полых вод пластиковые маты удаляли с поверхности почвы, высушивали (до воздушно-сухого состояния наилка), осадок извлекали путем встряхивания матов и чисткой поверхности пластиковой лопаткой. Определяли массу седиментов. Одновременно отбирали почвенные образцы методом конверта на всю глубину пахотного слоя.

В седиментах определяли следующие агрохимические показатели: массовая доля общего азота – по ГОСТ 26715-85¹, общего фосфора – по ГОСТ 26717-85², общего калия – по ГОСТ 26718-85³; органического вещества – по ГОСТ 27980-88⁴, значение водородного показателя (рН_{KCl}) – по ПНД Ф 16.2:2.2.3:3.3.33-02⁵, гранулометрический состав – по ГОСТ 12536⁶; в почвах – значение водородного показателя (рН) – по ГОСТ 26483-85⁷, органического вещества – по ГОСТ 26213-21⁸, общего фосфора и

¹ГОСТ 26715-85. Удобрения органические. Методы определения общего азота. М.: Государственный комитет СССР по стандартам, 1986. 12 с. URL: <https://ohranatruda.ru/upload/iblock/30a/4294827739.pdf>

²ГОСТ 26717-85. Удобрения органические. Методы определения общего фосфора. М.: Государственный комитет СССР по стандартам, 1986. 6 с. URL: <https://files.stroyinf.ru/Data2/1/4294827/4294827737.pdf>

³ГОСТ 26718-85. Удобрения органические. Методы определения общего калия. М.: Государственный комитет СССР по стандартам, 1986. 4 с. URL: <https://files.stroyinf.ru/Data2/1/4294827/4294827736.pdf>

⁴ГОСТ 27980-88. Удобрения органические. Методы определения органического вещества. М.: Государственный комитет СССР по стандартам, 1989. 11 с. URL: <https://files.stroyinf.ru/Data2/1/4294826/4294826787.pdf>

⁵ПНД Ф 16.2:2.2.3:3.3.33-02. Количественный химический анализ почв. Методика выполнения измерений значения водородного показателя (рН) твердых и жидких отходов производства и потребления, осадков, шламов, активного ила, донных отложений потенциометрическим методом. М.: Государственный комитет Российской Федерации по охране окружающей среды, 2005. 12 с. URL: <https://ohranatruda.ru/upload/iblock/b49/4293800671.pdf>

⁶ГОСТ 12536-2014. Грунты. Методы лабораторного определения гранулометрического (зернового) и микроагрегатного состава. М.: Стандартинформ, 2019. 23 с. URL: <https://files.stroyinf.ru/Data2/1/4293766/4293766967.pdf>

⁷ГОСТ 26483-85. Почвы. Приготовление солевой вытяжки и определение ее рН по методу ЦИНАО. М.: Государственный комитет СССР по стандартам, 1985. 6 с. URL: <https://ohranatruda.ru/upload/iblock/738/4294827946.pdf>

⁸ГОСТ 26213-21. Почвы. Методы определения органического вещества. М.: Российский институт стандартизации, 2021. 11 с. URL: <https://files.stroyinf.ru/Data/758/75803.pdf>

калия – по ГОСТ 26261-84⁹, общего азота – по ГОСТ 26107-84¹⁰. В почвах и седиментах определяли: содержание подвижного фосфора и обменного калия – по ГОСТ Р 54650-2011¹¹; микроэлементов: марганца – по ГОСТ Р 50682-94¹², цинка – по ГОСТ Р 50686-94¹³, меди – по ГОСТ Р 50684-94¹⁴, кобальта – по ГОСТ Р 50687-94¹⁵, молибдена – по ГОСТ Р 50689-94¹⁶, бора – по ГОСТ 50688-94¹⁷.

Доли поступления органического вещества, макро- и микроэлементов с седиментами от содержания в почве определяли исходя из массы почвы пахотного слоя, равной 3000 тонн.

Потребность растений в N, P₂O₅, K₂O в результатах исследований представлена как разница массы вынесенных веществ с урожаем кукурузы и массы веществ, поступивших с седиментами на поверхность почвы.

По данным гидропоста г. Рязани, на р. Оке за последние 23 года среднее значение максимального уровня воды в половодье соответствует 220 см выше нуля поста и отмечается обычно 18-19 апреля. Абсолютный максимум – 618 см (28.04.2013), что на 32 см ниже отметки начала подтопления жилых помещений. Весеннее половодье имеет однопиковый характер. Абсолютный максимум в 2023 году паводок достиг 6 апреля и составил 590 см, что приравнивается ко второму уровню неблагоприятного явления, при котором русло выходит из берегов и паводок квалифицируется как средний¹⁸.

Осень и начало зимы 2022 года характеризовались обильными осадками, выше климатической нормы, вследствие чего предзимнее увлажнение почв в бассейне р. Ока было в норме, а в некоторых местах переувлажнение почвы наблюдалось до 70 % выше нормы. Чередование оттепели и морозной погоды в период с декабря 2022 г. по январь 2023 г. местами способствовало образованию на полях ледяной корки. К середине февраля глубина промерзания почвы составила 40–87 см, что на 40 % выше февральской нормы. Высота снежного покрова и количество влаги в снеге всю зиму были ниже нормы, лишь к концу февраля, благодаря обильным снегопадам, запас воды в снеге приблизился к норме. Уровень воды в р. Ока в период зимнего паводка 2023 года был выше на 1,5 метра, чем в последние годы, но при таком уровне не наблюдается подтопления прилегающих территорий. После прохождения пика зимнего паводка, отметка воды к концу февраля 2023 года снизилась на 3 метра.

Весеннее половодье 2023 года по скорости подъема уровня воды за сутки можно разделить на четыре периода: с 12 по 14 марта отмечалось медленное, но стабильное повышение уровня в пределах 8–10 см; с 14 по 18 марта – подъем средней интенсивности – на 22–35 см; с 18 по 25 марта – период максимального подъема уровня воды на 40–56 см; с 25 марта по 6 апреля – замедление до 7–20 см за сутки и достижение пика¹⁹.

⁹ГОСТ 26261-84. Почвы. Методы определения валового фосфора и валового калия. М.: Государственный комитет СССР по стандартам, 1984. 13 с. URL: <https://ohranatruda.ru/upload/iblock/a99/4294828203.pdf>

¹⁰ГОСТ 26107-84. Почвы. Методы определения общего азота. М.: Государственный комитет СССР по стандартам, 1984. 11 с. URL: <https://ohranatruda.ru/upload/iblock/ef7/4294828346.pdf>

¹¹ГОСТ Р 54650-2011. Почвы. Определение подвижных соединений фосфора и калия по методу Кирсанова в модификации ЦИНАО. М.: Стандартинформ, 2013. 11 с. URL: <https://ohranatruda.ru/upload/iblock/32d/4293788445.pdf>

¹²ГОСТ Р 50682-94. Почвы. Определение подвижных соединений марганца по методу Пейве и Ринькиса в модификации ЦИНАО. М.: Издательство стандартов, 1994. 14 с. URL: <https://ohranatruda.ru/upload/iblock/2ac/4294819404.pdf>

¹³ГОСТ Р 50686-94. Почвы. Определение подвижных соединений цинка по методу Крупского и Александровой в модификации ЦИНАО. М.: Издательство стандартов, 1994. 13 с. URL: <https://ohranatruda.ru/upload/iblock/963/4294819400.pdf>

¹⁴ГОСТ Р 50684-94. Почвы. Определение подвижных соединений меди по методу Пейве и Ринькиса в модификации ЦИНАО. М.: Издательство стандартов, 1994. 14 с. URL: <https://files.stroyinf.ru/Data2/1/4294819/4294819402.pdf>

¹⁵ГОСТ Р 50687-94. Почвы. Определение подвижных соединений кобальта по методу Пейве и Ринькиса в модификации ЦИНАО. М.: Издательство стандартов, 1994. 16 с. URL: <https://ohranatruda.ru/upload/iblock/7ba/4294819399.pdf>

¹⁶ГОСТ Р 50689-94. Почвы. Определение подвижных соединений молибдена по методу Григга в модификации ЦИНАО. М.: Издательство стандартов, 1994. 10 с. URL: <https://files.stroyinf.ru/Data2/1/4294819/4294819397.pdf>

¹⁷ГОСТ 50688-94. Почвы. Определение подвижных соединений бора по методу Бергера и Труога в модификации ЦИНАО. М.: Издательство стандартов, 1994. 16 с. URL: <https://ohranatruda.ru/upload/iblock/24e/4294819398.pdf>

¹⁸Уровень воды в Оке (г. Рязань) сегодня. [Электронный ресурс].

URL: <https://allrivers.info/gauge/oka-ryazan/waterlevel> (дата обращения: 10.07.2023).

¹⁹Информация о сложившихся (к 20 февраля) и ожидаемых гидрометеорологических условиях на территории Рязанской области в преддверии весеннего половодья 2023 года. [Электронный ресурс].

URL: https://meteo62.ru/press-relizy/:polovode-2022_220309 (дата обращения: 04.06.2023).

Результаты и их обсуждение. Исследуемая территория расположена на пахотных землях, затапливаемых во время половодья. В весенний период после схода полых вод территория около одного месяца остается в подтопленном состоянии. При благоприятных климатических условиях почвы к полевым работам становятся готовыми ориентировочно в последней декаде мая. В условиях смещения агротехнических сроков исследуемый агроландшафт используется преимущественно для выращивания кукурузы на силос.

В ходе изучения процесса седиментации на участке стационарных наблюдений была отмечена неравномерность распределения седиментов по почвенному покрову. Одним из факторов, создающих условия распределения

седиментной нагрузки на одном и том же элементе строения поймы, выступает микро-рельеф. Исследования показали, что различие в массе накапливаемого наилка на понижениях или повышениях рельефа достигает 60 %. В ходе исследований среднее значение седиментной нагрузки составило 15,4 т/га при варьировании от 10,8 до 18,6 т/га в разных частях стационарного участка (рис. 1).

В сравнении с ранее проведенными исследованиями, выполненными в конце XX века П. И. Пыленком, можно отметить, что уровень седиментной нагрузки в текущем году был выше среднемноголетних значений на 2,5 т/га, при этом автор отмечает, что в условиях средневысоких половодий уровень может достигать 20–32 т/га [11].

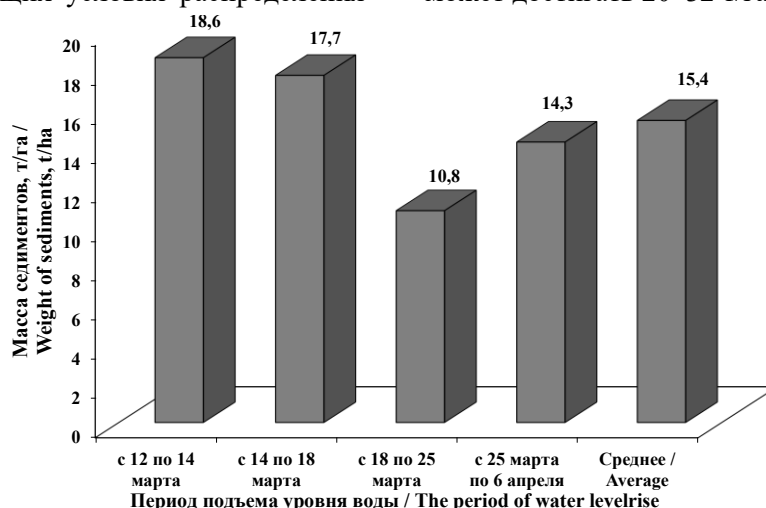


Рис. 1. Результаты определения уровня седиментной нагрузки на стационарном участке наблюдений, т/га (2023 г.) /
Fig. 1. The results of determining the sediment load level at the stationary observation site, t/ha (2023)

Анализ гранулометрического состава седиментов свидетельствует о преобладании пылеватых частиц, суммарное содержание которых составило 85,3 % от массы проб.

Отношение песчаных, пылеватых и глинистых частиц приблизительно оценивается как 1:213:36. Содержание песчаных частиц ниже в 36 раз, чем глинистых (рис. 2).

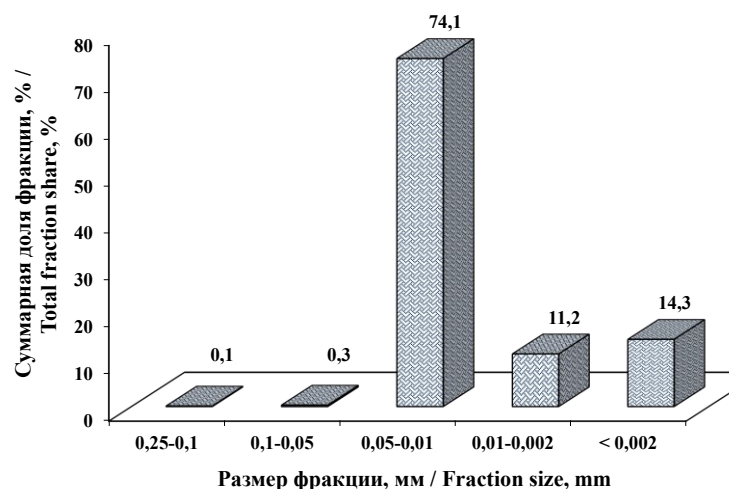


Рис. 2. Оценка гранулометрического состава паводкового седимента /
Fig. 2. Assessment of the granulometric composition of flood sediment

Пылеватые частицы представлены грубыми и тонкими частицами, находящимися в соотношении 6:1. Грубые составляют 86,8 % от массы пылеватых частиц, или 74,1 % от общей массы, тонкие – 13,2 % от массы пылеватых частиц, или 11,2 % от общей массы. Песчаные частицы представлены в виде мелкозернистых и тонкозернистых, а грубозернистые, крупнозернистые и среднезернистые фракции выявлены не были. Общее содержание песчаных частиц минимально и составляет 0,4 % от общей массы. В общей массе песчаных частиц преобладали тонкозернистые с содержанием 75 % от массы песчаных частиц, или 0,3 % от общей массы. Содержание глинистых частиц в седиментах в среднем составило 14,3 % от общей массы, они придают седиментам пластичность. Паводковый седимент классифицируется как

легкосуглинистый с содержанием 25,5 % физической глины и 74,5 % физического песка.

В своих многолетних исследованиях по изучению процесса седиментации П. И. Пыленок [11] отмечает, что при увеличении массы седиментов в их составе увеличивается доля песчаной фракции, в то же время доли глинистых и илистых фракций уменьшаются. Наши исследования подтвердили данное утверждение: в условиях среднего паводка при седиментной нагрузке 15,4 т/га соотношение физического песка и физической глины создает предпосылки, что паводковый седимент по гранулометрическому составу классифицируется как легкосуглинистый, ближе к среднесуглинистому.

Результаты химико-аналитических исследований паводкового седимента и подстилающей аллювиальной почвы представлены в таблицах 1, 2.

Таблица 1 – Результаты определения содержания макроэлементов и органического вещества в паводковых седиментах и аллювиальной почве /
Table 1 – Results of determining the content of macroelements and organic matter in flood sediments and alluvial soil

Показатель / Indicator	Ед. изм. / Unit of measurement	Седимент* / Sediment	Почва* / Soil	К содержанию в почве / To the content in the soil		Масса поступивших веществ, кг/га / Mass of incoming substances, kg/ha
				±	%	
pH _{KCl}	ед. pH / units pH	7,50±0,01	5,90±0,02	1,60	27	-
Органическое вещество / Organic substance	%	16,00±0,11	3,25±0,19	12,75	392	2464,00
Общий фосфор / Total phosphorus		0,28±0,02	0,21±0,01	0,07	33	43,10
Общий калий / Total potassium		0,68±0,05	2,61±0,12	-1,93	-74	104,70
Общий азот / Total nitrogen		0,70±0,06	0,18±0,04	0,52	289	107,80
Обменный калий / Exchangeable potassium	мг/кг / mg/kg	1154,00±73,00	80,00±6,00	1074,00	1342	17,80
Подвижный фосфор / Mobile phosphorus		990,00±98,00	109,00±11,00	881,00	808	15,20

*Измерение в четырех повторностях (среднее ± доверительный интервал, при α = 0,95) /
 Measurement in four replicates (average ± confidence interval, at α = 0.95)

Анализ результатов агрохимических исследований показал, что паводковые седименты характеризуются нейтральной реакцией среды и положительно влияют на снижение кислотности подстилающей почвы, а также являются весомым источником поступления в почву органического вещества, фосфора, калия и азота. Так, в седименте зафиксировано большее, по сравнению с пахотным слоем подстилающей

аллювиальной почвы, содержание обменного калия – в 14 раз; подвижного фосфора – в 9 раз; органического вещества – в 5 раз; общего азота – в 4 раза; общего фосфора – в 1,33 раза; меньшее содержание общего калия – в 3,84 раза.

Такое явное превосходство питательной ценности паводковых седиментов по сравнению с почвой может быть связано с их происхождением, поскольку наилок, который представляет

собой основную массу, является пограничным горизонтом на границе дно – вода, где накапливаются оседающие из воды частицы как минерального, так и органического происхождения. Кроме того, в состав паводковых седиментов включаются смываемые частицы с поверхности прирусловых пойменных почв, богатых элементами питания растений [19, 20, 21]. Концентрация подвижных форм фосфора и калия в паводковом седimente на порядок выше, чем в подстилающей аллювиальной почве, в то же время содержание общих форм этих элементов не имеет таких больших различий. Такая закономерность характерна для донных отложений, в виду того, что в них интенсивно протекают обменные геохимические процессы.

Доля поступления макроэлементов и органического вещества с седиментами от содержания в почве следующая: обменный калий – 7,41 %; подвижный фосфор – 4,65 %; органическое вещество – 2,53 %; общий азот – 2,00 %; общий фосфор – 0,68 %; общий калий – 0,13 %.

По результатам ранее проведенных исследований 1999 года [11], паводковые седименты обладали нейтральной реакцией среды, средним

содержанием подвижного фосфора 450 мг/кг, что в 2-3 раза больше содержания в почве, и обменного калия 420 мг/кг, что в 8 раз больше его содержания в почве, органического вещества 3,6–5,2 %. Полученные нами данные согласуются с результатами ранее проведенных исследований и подтверждают высокое содержание макроэлементов и органического вещества в паводковых седиментах.

Как показали исследования, паводковые седименты также являются и источником поступления в почву микроэлементов: содержание марганца, цинка, меди, кобальта и бора характеризуется как высокое, а молибдена – низкое (табл. 2). В седиментах зафиксировано большее по сравнению с пахотным слоем подстилающей аллювиальной почвы содержание следующих микроэлементов: цинка – в 2,4 раза, марганца – в 1,62 раза; кобальта, бора и меди примерно одинаковое количество; немного меньше, чем в почве содержание молибдена и меди. Доля поступления микроэлементов с седиментами от содержания в почве следующая: цинк – 1,24 %, марганец – 0,83 %, кобальт – 0,57 %, бор – 0,53 %, медь – 0,50 %, молибден 0,39 %.

Таблица 2 – Результаты определения микроэлементов в паводковых седиментах и аллювиальной почве /
Table 2 – The results of the determination of trace elements in flood sediments and alluvial soil

Микроэлемент / Trace element	Ед. изм. / Unit of measurement	Седимент* / Sediment	Почва* / Soil	К содержанию в почве / To the content in the soil		Масса поступивших веществ, г/га / Mass of incoming substances, g/ha
				±	%	
Бор / Boron	мг/кг / mg/kg	0,77±0,01	0,75±0,01	0,02	2,66	11,86
Молибден / Molybdenum		0,10±0,01	0,13±0,02	-0,03	-23,07	1,54
Цинк / Zinc		7,97±0,19	3,31±0,10	4,66	140,78	122,74
Марганец / Manganese		78,90±0,53	48,60±0,37	30,3	62,34	1215,06
Медь / Copper		13,00±0,04	13,30±0,03	-0,3	-2,25	200,20
Кобальт / Cobalt		3,38±0,08	3,07±0,06	0,31	10,09	52,05

*Измерение в четырех повторностях (среднее ± доверительный интервал, при $\alpha = 0,95$) /
 Measurement in four replicates (average ± confidence interval, at $\alpha = 0.95$)

Выращивание кукурузы на силос способствует интенсивному процессу минерализации органического вещества до 30,0 ц/га и значительному выносу макро- и микроэлементов с биомассой. В 2023 году на опытном участке урожайность кукурузы на силос составила 36,1 т/га, вынос питательных веществ (кг/га): N – 105, P₂O₅ – 33, K₂O – 105. Установлено, что масса поступивших веществ с паводковыми седиментами в 2023 году удовлетворила потреб-

ность растений в азоте полностью, по подвижному фосфору – на 46 %, при этом потребность сократилась до 17,8 кг/га, по обменному калию – на 17 % и до 87,2 кг/га соответственно.

Расчет поступления в аллювиальную почву за период весеннего половодья органического вещества, макро- и микроэлементов свидетельствует о высокой удобрительной ценности паводковых седиментов. При выращивании кукурузы на силос на пойменных землях павод-

ковые седименты не в полной мере способны обеспечить потребность растений в элементах питания. Необходимо учитывать массу поступивших веществ в годы затопления пойменных агроландшафтов полыми водами при корректировке системы применения удобрений.

Заключение. Проведено исследование наилка, оседающего в паводок на поверхности аллювиальной почвы в центральной части поймы р. Оки в Рязанской области. В исследованиях 2023 г. уровень седиментной нагрузки составил 15,4 т/га, паводковый седимент классифицировался как легкосуглинистый с содержанием физической глины 25,5 %. Полученные результаты согласуются с ранее проведенными исследованиями [11].

Обладая высоким содержанием органического вещества, фосфора, калия, азота, а также микроэлементов: бора, цинка, марганца,

меди, кобальта, паводковые седименты являются главным природным источником восполнения элементов питания подстилающей аллювиальной почвы и снижают её кислотность. В 2023 году при выращивании кукурузы на силос (урожайность 36,1 т/га) паводковые седименты полностью обеспечили потребность растений в азоте, частично – в подвижном фосфоре (на 46 %) и обменном калии (на 17 %).

Поскольку количество и состав седиментов зависят от характера паводка, то для получения объективной информации необходимы многолетние исследования, результаты которых могут служить основой для разработки рекомендаций по использованию адаптированной системы применения мелиорантов на пойменных сельскохозяйственных землях для повышения их продуктивности и получения экологически безопасной растениеводческой продукции.

Список литературы

1. Добровольский Г. В., Балабко П. Н., Стасюк Н. В., Быкова Е. П. Аллювиальные почвы речных пойм и дельт и их зональные отличия. Аридные экосистемы. 2011;(3(48)):5–13. Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=17315485> EDN: OOXUFX
2. Кондерешко Э. П. Мировой опыт государственного регулирования эффективного использования мелиорированных земель в сельскохозяйственном производстве. Сборник научных трудов «Проблемы экономики». 2019;(2(29)):105–113. Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=42478179> EDN: FULJHA
3. Докучаева Л. М., Юркова Р. Е. Химическая мелиорация на мелиорированных землях России. Пути повышения эффективности орошаемого земледелия. 2021;(3(83)):73–78. Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=46620265> EDN: XUNNUR
4. Kałmykow-Piwińska A., Falkowska E. Morphodynamic conditions of heavy metal concentration in deposits of the Vistula River valley near Kępa Gosteczka (central Poland). Open Geosciences. 2020;12(1):1036–1051. DOI: <https://doi.org/10.1515/geo-2020-0058>
5. Belčáková I., Offertálerová M., Vojtková J., Pauková Ž. The impact of floodplain vegetation on the erosion-sedimentation processes in fluvisols during flood events. Applied Ecology and Environmental Research. 2019;17(3):6349–6374. DOI: https://doi.org/10.15666/aer/1703_63496374
6. Remor M. B., Vilas Boas M. A., Sampaio S. C., Damatto S. R., Stevaux J. C., dos Reis R. R. Sedimentation rate and accumulation of nutrients in the Upper Paraná river floodplain. Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry. 2022;331:1019–1027. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10967-021-08153-5>
7. Воробьев А. Ю., Кривцов В. А., Кадыров А. С. Современная динамика накопления и состав аллювия прирусловой поймы реки Оки. Ученые записки Казанского университета. Серия: Естественные науки. 2021;163(4):603–625. DOI: <https://doi.org/10.26907/2542-064X.2021.4.603-625> EDN: AVNIXP
8. Подлесных И. В., Зарудная Т. Я. Оценка влияния противоэрозионных комплексов для сокращения выноса из агроландшафтов биогенных веществ с весенним стоком. Агрохимический вестник. 2019;(4):24–28. DOI: <https://doi.org/10.24411/0235-2516-2019-10053> EDN: XOXFNP
9. Макавеев Н. И. Русло реки и эрозия в ее бассейне. М.: АН СССР, 1955. 346 с.
10. Новосельцев В. Н., Бесфамильный И. Б., Кизяев Б. М., Райнин В. Е., Виноградова Г. Н., Грэм Т., Добрачев Ю. П., Ильина Т. А., Коломийцев Н. В., Майсснер Р., Митрюхин А. А., Мюллер Г., Пыленок П. И., Фримель Ф. Х., Яхья А., Яшин В. М. Техногенное загрязнение речных экосистем. М.: Научный мир, 2002. 140 с.
11. Пыленок П. И. Влияние седиментации на качество аллювиальной почвы в пойме реки Ока. Агрофизика. 2020;(4):7–13. DOI: <https://doi.org/10.25695/AGRPH.2020.04.02> EDN: DMANWI
12. Толкачев Г. Ю., Корженевский Б. И., Коломийцев Н. В. Мониторинг загрязнения категорий донных отложений для различных водных объектов Нечерноземной зоны. Экологические системы и приборы. 2023;(2):3–13. DOI: <https://doi.org/10.25791/esip.2.2023.1350> EDN: GJJSIY
13. Лопатнюк А., Тиво П, Лопатнюк Л. Основные направления повышения эффективности использования мелиорированных земель в современных условиях. Аграрная экономика. 2023;(5(336)):22–33. DOI: <https://doi.org/10.29235/1818-9806-2023-5-22-33> EDN: YEEDHZ
14. Силаев А. Л., Чекин Г. В., Смольский Е. В. Распределение микроэлементов в почвах пойменного ландшафта р. Унеча. Агрохимический вестник. 2021;(5):12–17. DOI: <https://doi.org/10.24412/1029-2551-2021-5-003> EDN: YUTDGW

15. Ильинский А. В., Нефедов А. В., Евсенкин К. Н. Обоснование необходимости повышения плодородия мелиорированных аллювиальных почв АО "Московское". Мелиорация и водное хозяйство. 2019;(5):44–47. Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=41411496> EDN: HRJEAR
16. Коломийцев Н. В., Матвеев А. В. Информационное обеспечение системы управления технологиями восстановления плодородия почв и рекультивации деградированных агроландшафтов. Экологические системы и приборы. 2021;(7):3–10. DOI: <https://doi.org/10.25791/esip.07.2021.1236> EDN: ZRFCJG
17. Евсенкин К. Н., Ильинский А. В., Матвеев А. В. Новые способы повышения продуктивности почв мелиорированных сельскохозяйственных земель на основе применения биокомпостов. Плодородие. 2021;(4(121)):56–59. DOI: <https://doi.org/10.25680/S19948603.2021.121.17> EDN: AMTRLN
18. Ильинский А. В., Евсенкин К. Н., Павлов А. А., Голубенко М. И. Способ контроля поступления тяжелых металлов и мышьяка в составе седиментной нагрузки на пахотные мелиорированные земли пойменного агроландшафта: пат. № 2815978 Российская Федерация. № 2023119944: заяв. 28.07.2023; опубл. 25.03.2024. Бюл. № 9. 2 с. Режим доступа: https://www1.fips.ru/registers-doc-view/fips_servlet
19. Гречушников М. Г., Ломова Д. В., Ефимова Л. Е., Вишневская Г. Н. Обменные процессы на границе вододонные отложения в Истринском водохранилище в летний период. Вестник Московского университета. Серия 5: География. 2015;(2):86–92. Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=23865605> EDN: UCGNMV
20. Тищенко П. Я., Борисенко Г. В., Барабанщиков Ю. А., Павлова Г. Ю., Рюмина А. А., Сагалаев С. Г., Семкин П. Ю., Тищенко П. П., Уланова (Заика) О. А., Швецова М. Г., Шкирникова Е. М. Оценка потоков биогенных веществ на границе раздела вода–дно в мелководных бассейнах залива Петра Великого (Японское море). Геохимия. 2022;67(9):881–895. DOI: <https://doi.org/10.31857/S0016752522090084> EDN: ILJBXJ
21. Гаврилов Д. А., Мамиров Т. Б., Растигеев С. А., Пархомчук В. В. История формирования и освоение человеком поймы реки Деркул (Западный Казахстан) в середине голоцена. Поволжская Археология. 2021;(3(37)):127–141. DOI: <https://doi.org/10.24852/pa2021.3.37.127.141> EDN: WIVVBX

References

1. Dobrovol'skiy G. V., Balabko P. N., Stasyuk N. V., Bykova E. P. Alluvial soils of river floodplains and deltas and their zonal differences. *Aridnye ekosistemy* = Arid Ecosystems. 2011;(3(48)):5–13. (In Russ.). URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=17315485>
2. Kondereshko E. P. World experience in state regulation of efficient usage of meliorated lands in agricultural production. *Sbornik nauchnykh trudov «Problemy ekonomiki»*. 2019;(2(29)):105–113. (In Belarus). URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=42478179>
3. Dokuchaeva L. M., Yurkova R. E. Chemical reclamation in the reclaimed lands of Russia. *Puti povysheniya effektivnosti orosha-emogo zemledeliya*. 2021;(3(83)):73–78. (In Russ.). URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=46620265>
4. Kałmykow-Piwińska A., Falkowska E. Morphodynamic conditions of heavy metal concentration in deposits of the Vistula River valley near Kępa Gostecka (central Poland). *Open Geosciences*. 2020;12(1):1036–1051. DOI: <https://doi.org/10.1515/geo-2020-0058>
5. Belčáková I., Offertálerová M., Vojtková J., Pauková Ž. The impact of floodplain vegetation on the erosion-sedimentation processes in fluvisols during flood events. *Applied Ecology and Environmental Research*. 2019;17(3):6349–6374. DOI: https://doi.org/10.15666/aer/1703_63496374
6. Remor M. B., Vilas Boas M. A., Sampaio S. C., Damatto S. R., Stevaux J. C., dos Reis R. R. Sedimentation rate and accumulation of nutrients in the Upper Paraná river floodplain. *Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry*. 2022;331:1019–1027. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10967-021-08153-5>
7. Vorobyev 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: Estestvennye nauki* = Proceedings of Kazan University. Natural Sciences Series. 2021;163(4):603–625. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.26907/2542-064X.2021.4.603-625>
8. Podlesnykh I. V., Zarudnaya T. Ya. Assessment of the impact of erosion control systems for the reduction of the removal of nutrients with spring runoff from agricultural lands. *Agrokhimicheskiy vestnik* = Agrochemical Herald. 2019;(4):24–28. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.24411/0235-2516-2019-10053>
9. Makaveev N. I. Riverbed and erosion in its basin. Moscow: AN SSSR, 1955. 346 p.
10. Novosel'tsev V. N., Besfamil'nyy I. B., Kizyaev B. M., Raynin V. E., Vinogradova G. N., Gremm T., Dobrachev Yu. P., Il'ina T. A., Kolomiitsev N. V., Mayssner R., Mitryukhin A. A., Myuller G., Pylenok P. I., Frimmel' F. Kh., Yakh'ya A., Yashin V. M. Man-made pollution of river ecosystems. Moscow: *Nauchnyy mir*, 2002. 140 p.
11. Pylenok P. I. Influence of sedimentation on alluvial soil quality in the Oka river floodplain. *Agrofizika* = Agrophysics. 2020;(4):7–13. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.25695/AGRPH.2020.04.02>
12. Tolkachev G. Yu., Korzhenevskiy B. I., Kolomiitsev N. V. Monitoring of pollution of sediments for various water bodies of the Non-chernozem zone. *Ekologicheskie sistemy i pribory* = Ecological Systems and Devices. 2023;(2):3–13. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.25791/esip.2.2023.1350>
13. Lopatnyuk A., Tivo P., Lopatnyuk L. The main directions for increasing the efficiency of the use of reclaimed lands in modern conditions. *Agrarnaya ekonomika* = Agrarian Economics. 2023;(5(336)):22–33. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.29235/1818-9806-2023-5-22-33>

14. Silaev A. L., Chekin G. V., Smolsky E. V. Microelements distribution in soils floodplain landscape of the Unecha river. *Agrokhimicheskii vestnik* = Agrochemical Herald. 2021;(5):12–17. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.24412/1029-2551-2021-5-003>
15. Ilinskiy A. V., Nefedov A. V., Evsenkin K. N. Justification of the need to increase the fertility of reclaimed alluvial soils of JSC "Moskovskoe". *Melioratsiya i vodnoe khozyaystvo* = Melioration and Water Management. 2019;(5):44–47. (In Russ.). URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=41411496>
16. Kolomiitsev N. V., Matveev A. V. Infoware of control system for restoring soil fertility and recultivation of degraded agrolandscapes. *Ekologicheskie sistemy i pribory* = Ecological Systems and Devices. 2021;(7):3–10. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.25791/esip.07.2021.1236>
17. Evsenkin K. N., Ilinskiy A. V., Matveev A. V. New ways to increase soil productivity in reclaimed agricultural lands based on the application of biocompost. *Plodorodie*. 2021;(4(121)):56–59. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.25680/S19948603.2021.121.17>
18. Ilinskiy A. V., Evsenkin K. N., Pavlov A. A., Golubenko M. I. A method for controlling the intake of heavy metals and arsenic as part of the sedimentation load on arable reclaimed lands of the floodplain agricultural landscape: Patent RF, no. 2815978 2024. URL: https://www1.fips.ru/register-doc-view/fips_servlet
19. Grechushnikova M. G., Lomova D. V., Efimova L. E., Vishnevskaya G. N. Exchange processes at the contact of water and bottom sediments in the Istra reservoir during the summer period. *Vestnik Moskovskogo universiteta. Seriya 5: Geografiya* = Moscow University Bulletin. Series 5, Geography. 2015;(2):86–92. (In Russ.). URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=23865605>
20. Tishchenko P. Ya., Borisenko G. V., Barabanshchikov Yu. A., Pavlova G. Yu., Ryumina A. A., Sagalaev S. G., Semkin P. Yu., Tishchenko P. P., Ulanova (Zaika) O. A., Shvetsova M. G., Shkirnikova E. M. Estimation of nutrient fluxes on the interface bottom water–sediments in shallow bights of the Peter the great bay, sea of Japan. *Geokhimiya*. 2022;67(9):881–895. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.31857/S0016752522090084>
21. Gavrilov D. A., Mamirov T. B., Rastigeev S. A., Parkhomchuk V. V. The history of formation and anthropogenic development of the Derkul river floodplain (West Kazakhstan) in the mid holocene. *Povolzhskaya Arkheologiya* = The Volga River Region Archaeology. 2021;(3(37)):127–141. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.24852/pa2021.3.37.127.141>

Сведения об авторах

Ильинский Андрей Валерьевич, кандидат с.-х. наук, доцент, ведущий научный сотрудник, ФГБНУ «Федеральный научный центр гидротехники и мелиорации имени А. Н. Костякова», ул. Большая Академическая, 44 корпус 2, г. Москва, Российская Федерация, 127434, e-mail: mail@vniigim.ru, ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-6843-9170>

Евсенкин Константин Николаевич, кандидат техн. наук, ведущий научный сотрудник, ФГБНУ «Федеральный научный центр гидротехники и мелиорации имени А. Н. Костякова», ул. Большая Академическая, 44 корпус 2, Москва, Российская Федерация, 127434, e-mail: mail@vniigim.ru, ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-0194-8552>

✉ **Павлов Артём Андреевич**, кандидат биол. наук, научный сотрудник, ФГБНУ «Федеральный научный центр гидротехники и мелиорации имени А. Н. Костякова», ул. Большая Академическая, 44 корпус 2, Москва, Российская Федерация, 127434, e-mail: mail@vniigim.ru, ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-5932-1624>, e-mail: kupoz@mail.ru

Information about the authors

Andrey V. Ilinskiy, PhD in Agricultural Science, associate professor, leading researcher, All-Russian Research Center for Hydraulic Engineering and Land Reclamation named after A. N. Kostyakov, 44 Bolshaya Akademicheskaya str., building 2, Moscow, Russian Federation, 127434, e-mail: mail@vniigim.ru, ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-6843-9170>

Konstantin N. Evsenkin, PhD in Engineering, leading researcher, All-Russian Research Center for Hydraulic Engineering and Land Reclamation named after A. N. Kostyakov, 44 Bolshaya Akademicheskaya str., building 2, Moscow, Russian Federation, 127434, e-mail: mail@vniigim.ru, ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-0194-8552>

✉ **Artyom A. Pavlov**, PhD in Biological Science, researcher, All-Russian Research Center for Hydraulic Engineering and Land Reclamation named after A. N. Kostyakov, 44 Bolshaya Akademicheskaya str., building 2, Moscow, Russian Federation, 127434, e-mail: mail@vniigim.ru, ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-5932-1624>, e-mail: kupoz@mail.ru

✉ – Для контактов / Corresponding author