

УДК 551.435.122:551.311.234 (470.1/.6)

## ТЕМПЫ СЕДИМЕНТАЦИИ НА ПОЙМАХ РАВНИННЫХ РЕК ЦЕНТРА ЕВРОПЕЙСКОЙ ЧАСТИ РОССИИ ПО ДАННЫМ ИЗУЧЕНИЯ ПОЧВЕННО-АЛЛЮВИАЛЬНЫХ СЕРИЙ<sup>#</sup>

© 2023 г. А. Л. Александровский<sup>1,\*</sup>, В. Н. Голосов<sup>1,2</sup>, И. В. Замотаев<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Институт географии РАН, Москва, Россия

<sup>2</sup> Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, географический факультет, Москва, Россия

\*e-mail: alexandrovski@igras.ru

Поступила в редакцию 23.06.2022 г.

После доработки 09.10.2022 г.

Принята к публикации 10.11.2022 г.

Скорости отложения пойменного аллювия за различные временные интервалы голоцена на реках Истра, Ока и Сейм определены с помощью комбинации методов датирования (радиоуглеродного, радиоцезиевого и историко-археологических) и на основе разработанного метода определения темпов седиментации, основанном на оценке степени развития профиля почв, погребенных в аллювии. В результате проведенных хронологических и почвенно-геоморфологических исследований установлены пространственно-временные различия скоростей пойменной седиментации. На приречных участках молодой поймы она составляет 1.8–23 мм/год (р. Сейм), 2–15 мм/год (р. Истра), тогда как на древних (рр. Ока, Сейм) в разные периоды скорости аккумуляции изменялись в диапазоне 0.01–0.7 мм/год, причем периоды усиления темпов отложения наносов были непродолжительными по времени. На основании изучения молодой, быстро нараставшей поймы р. Истры, отложения которой датированы на основе историко-археологических материалов, получены новые уточненные данные о характерных скоростях седиментации в поймах центра Восточно-Европейской равнины: аллювий без признаков педогенеза формируется при скорости накопления более 15 мм/год, с признаками такового – 2–15 мм/год, кумулятивные почвы – при скорости 0.5–2 мм/год. По разрезу Никитино на р. Оке, который выделяется большой серией хорошо развитых палеопочв, на основании <sup>14</sup>C и археологических дат, установлены циклические колебания скорости седиментации в голоцене: во время накопления слоев аллювия она составляла около 2 мм/год, что в 20 раз выше, чем в более длительные периоды формирования почв – 0.07–0.14 мм/год.

**Ключевые слова:** аллювий, скорость седиментации, палеопочвы, скорость педогенеза, радиоцезиевый метод, радиоуглеродный метод, голоцен

**DOI:** 10.31857/S2949178923010036, **EDN:** GPIMSP

### 1. ВВЕДЕНИЕ

Проблема оценки скорости процессов, происходящих в природных и природно-антропогенных системах, чрезвычайно важна, но еще недостаточно исследована. В большой степени это относится к процессам эрозии и седиментации, проходящим в днищах речных долин. Их темпы в течение голоцена изменялись, как под воздействием естественных, так и антропогенных факторов (Александровский и др., 2004; Golosov & Panin, 2006; Kalicki et al., 2008; Маркелов др., 2012; Hupp et al., 2015). Длительная история освоения

земель Западной и Центральной Европы затрудняет выявление вклада климатических изменений в изменения темпов аккумуляции на речных поймах (Hoffmann et al., 2009; Notebaert, & Verstraeten, 2010). Кроме того, важным фактором, сказавшимся на темпах аккумуляции наносов на поймах рек, является создание противопаводковых дамб, что привело к искусственному сужению пойм и изменениям естественного протекания эрозионно-кумулятивных процессов в днищах речных долин. Подобная практика характерна для равнинных рек Европы и Северной Америки (Knox, 2006; Nobo et al., 2010). В связи с изменениями режима формирования стока в голоцене этапы седиментации на речных поймах чередовались с этапами педогенеза. Это можно наблюдать в строении речных пойм, в которых встречаются серии погребенных почв, чередую-

<sup>#</sup> Ссылка для цитирования: Александровский А.Л., Голосов В.Н., Замотаев И.В. Темпы седиментации на поймах равнинных рек центра европейской части России по данным изучения почвенно-аллювиальных серий // Геоморфология и палеогеография. 2023. Т. 54, № 1. С. 17–36. <https://doi.org/10.31857/S0435428123010030>; <https://elibrary.ru/GPIMSP>

щихся со слоями аллювия с характерными признаками слоистости (Александровский и др., 1987; Mandel, 1992; Сычева, Гласко, 2003; Bettis et al, 2008).

При попытках оценить темпы процессов почво- и седиментогенеза, проходящих на пойме, следует учитывать, что эти процессы тесно взаимосвязаны. Причем связи эти обратные: чем сильнее темпы седиментации, тем слабее выражен педогенез. Выявляемые в пойменном аллювии погребенные почвы с хорошо развитым профилем формируются в периоды сильного замедления или полного прекращения седиментации (Holliday, 1992; Mandel, 1992). Это более характерно для высоких пойм, затапливаемых нерегулярно. Наоборот, при высокой скорости накопления аллювия, а также отложений другого происхождения (коллювия, эоловых, культурного слоя поселений), признаки почвообразования в них сформироваться не успевают, либо они развиты слабо. Таким образом, степень переработки педогенезом накапливающегося осадка (флювиально-го или иного происхождения) прямо зависит от скорости седиментации (Александровский, 2004).

Кроме седиментационных и педогенных, в пойме действуют также денудационные и турбационные процессы. В стратиграфии поймы они проявляется менее ярко, но существенно влияют на мощность слоев, что, соответственно, сказывается на результатах определения темпов седиментации.

Отметим, что скорость эрозионно-седиментационных процессов характеризуется большой пространственно-временной изменчивостью. В отличие от данных процессов важной чертой педогенеза является относительная стабильность (выдержанность во времени) скорости процессов и характерного времени формирования почвенного профиля и отдельных стадий его развития. Об этом свидетельствуют результаты исследования хронорядов почв (Stevens, Walker, 1970; Геннадиев, 1990). Они показывают, что при стабильном положении поверхности почвы, ее профиль постепенно заглубляется в отложения и за период в 2–3 тыс. лет становится зрелым, полно развитым. В связи с этим по степени развития почвенного профиля почв, формирующихся в днищах речных долин, можно судить о длительности его формирования в нормальной модели педолитогенеза и, соответственно, о длительности перерывов в седиментации. Так, нами с помощью данного метода были определены длительность формирования почв и скорость седиментации в почвенно-аллювиальных сериях в пойме рек Русской равнины, в мощных культурных слоях (древних урбоседиментах) Москвы и в насыпях курганов бронзового века (Alexandrovskiy et al., 2001; Александровский, Александровская, 2005; Александровский, 2016).

Использование техногенного изотопа цезия-137 для датировки пойменных отложений позволяет выявить скорости накопления пойменного аллювия за десятилетия, прошедшие с начала ядерных испытаний (Walling et al., 1997; Walling, He, 1997, 1998; Amos et al., 2009; Belyaev et al., 2013; Golosov et al., 2022 и др.), а по следам аварии на Чернобыльской АЭС – проследить динамику изменений скоростей накопления пойменного аллювия за два временных интервала (Golosov et al., 2010, 2012; Маркелов и др., 2012).

Совместное использование педолитогенетического, радиоуглеродного и радиоцезиевого методов для определения этапов и скоростей осадконакопления на пойме реки позволяет реконструировать особенности формирования стока воды и наносов на речном водосборе, расположенном выше по течению от исследуемого участка днища речной долины, за несколько временных интервалов.

Цель данной статьи заключается в оценке изменения темпов седиментации за голоцен в пойме рр. Сейм, Оки и Истры, как отражения этапов активизации и замедления эрозионно-аккумулятивных процессов в бассейнах этих рек, в разное время за последние столетия относившихся к одним из наиболее земледельчески освоенных регионов в пределах лесостепи и юга лесной зоны.

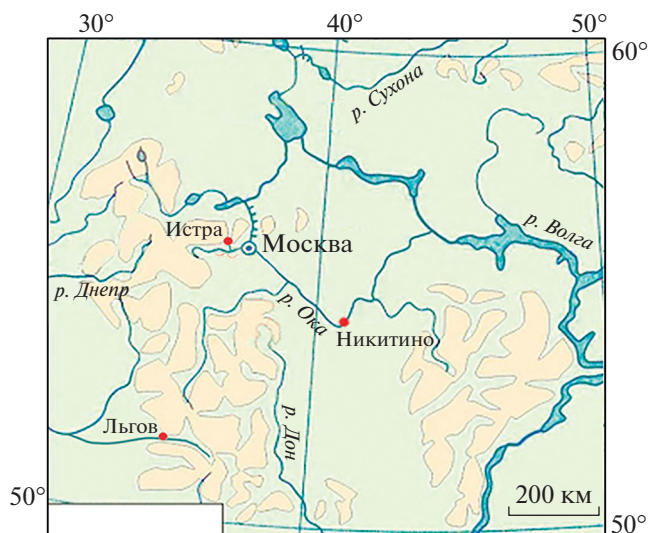
## 2. ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Исследованы три объекта, расположенные в пределах Среднерусской, Смоленско-Московской возвышенностей и Окско-Донской низменности (рис. 1). На р. Сейм у г. Льгов изучена серия разрезов по трансекте, протягивающейся от молодой части поймы – к древней. На р. Истре у Скита Никона – разрез с молодым пойменным аллювием и максимально высокими темпами накопления. Разрез Никитино на р. Оке около Старой Рязани характеризуется большим числом погребенных почв и резкими сменами скорости седиментации в голоцене.

### 2.1. Объекты исследования

**2.1.1. Участок Скит Никона.** Разрез расположен в пойме р. Истры (левый приток Москвы-реки) у скита Никона, который был заложен в 1656 г., и находится в 200 м к СЗ от Новоиерусалимского монастыря. Изучен молодой участок поймы, рядом расположен древний участок, с погребенными почвами возрастом до 9000 л. н. (Ершов и др., 2014).

**2.1.2. Участок Никитино.** Разрез находится в Спасском расширении долины Средней Оки (Фоломеев и др., 1988). Преобладает пойма сегментно-гривистая, высотой 5–9 м. С поверхности она сложена суглинистым аллювием поймен-



**Рис. 1.** Расположение объектов исследования в пределах центра Европейской части России: Льгов – на р. Сейм, Никитино – на р. Оке, Скит Никона – на р. Истре.

**Fig. 1.** Location of studied sites within the center of the European part of Russia: Lgov – the Seim River, Nikitino – the Oka River, Nikon Skete – the Istra River.

ной фации, мощностью 2–5 м, в котором выделены погребенные почвы. Ниже залегают пески русловой фации или песчаные отложения надпойменной террасы (Кривцов и др., 2020).

**2.1.3. Участок Льгов** располагается в среднем течении р. Сейм на его правом берегу выше по течению от г. Льгова. Обширный пойменный массив сформировался в процессе свободного меандрирования р. Сейм, что характерно для данной реки на ее большем протяжении. Пойма сегментно-гривистая, гривы разделяют старичные понижения, местами занятые озерами или заболоченными участками. Сегмент поймы, в пределах которого проводились исследования, в основном безлесный, и только около реки на прирусловом валу присутствуют молодые древесно-кустарниковые насаждения. Вместе с тем на некоторых соседних сегментах поймы сохранились большие массивы хорошо развитых зрелых лесов, очевидно ранее произраставших и на данном участке поймы (рис. 2).

В пределах исследуемого сегмента поймы выделяются три ее уровня: регулярно затопливаемая низкая пойма, шириной не более 5–7 м и высотой над урезом не более 0.8 м, протягивающаяся узкой, часто прерывающейся полосой вдоль русла реки; средняя пойма, шириной не более 50 м, состоящая из прируслового вала высотой до 4.5 м, и межвального старичного понижения высотой до 2 м, и наиболее обширная шириной 500–600 м, чрезвычайно редко (1–2 раза за столетие) затопливаемая высокая пойма (в пределах профиля

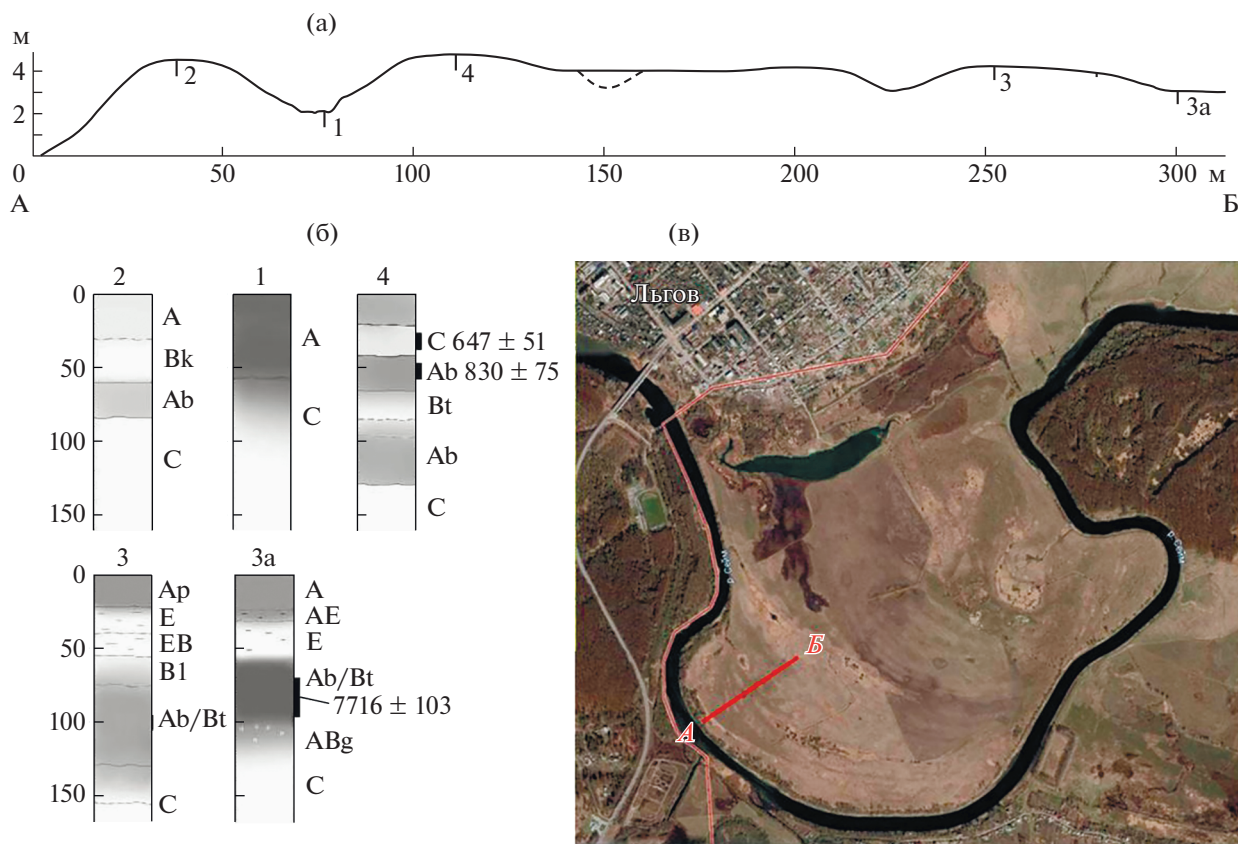
высотой 3–4.5 м в понижениях и на повышениях соответственно), занимающая большую часть пойменного массива. В почвенном покрове поймы исследуемого сегмента преобладают серые лесные почвы, развитые на высокой пойме. Вдоль реки на молодых поверхностях низкой и средней поймы обнаруживаются слабо развитые почвы – слоисто-аллювиальные гумусовые и более развитые – аллювиальные гумусовые, а также серогумусовые. Различия почв обусловлены темпами накопления наилок поймы и длительностью почвообразования.

## 2.2. Методы

Исследование почв и отложений поймы проводилось с целью оценки процессов седиментации за различные временные интервалы, охватывающие период, предшествующий земледельческому освоению водосбора и вплоть до настоящего времени.

Разрезы на поверхности береговых валов (грив) и в межгривовых понижениях от молодых к древним были заложены на пойме р. Сейм вдоль топографического профиля (трансекта), расположенного близко к оси пояса меандрирования (рис. 2). В разрезах были вскрыты и подробно описаны дневные и погребенные почвы, а также отложения, разделяющие и подстилающие эти почвы. Из двух разрезов, расположенных на высокой пойме, были отобраны образцы для проведения радиоуглеродного датирования. Для определения скорости седиментации на молодых поверхностях (средний уровень поймы) из разрезов 1 и 2 были отобраны послойно через 2–3 см по глубине с площади 15×15 см колонки отложений для определения содержания  $^{137}\text{Cs}$ . На пойме р. Оки в смежных разрезах Никитино и Клименты были взяты образцы из палеопочв для  $^{14}\text{C}$ -датирования.

Пробы почв для анализа  $^{137}\text{Cs}$  взвешивали, сушили при температуре 105°C в течение 8 ч и взвешивали повторно для определения содержания влаги и расчета плотности сухого осадка. После этого их перетирали и просеивали через сито с размером ячейки 2 мм. Измерения концентраций  $^{137}\text{Cs}$  в подготовленных пробах почв выполнены на коаксиальном германиевом гамма-спектрометре фирмы ООО НИИП “Грин Стар Инструментс” (СКС-07(09) П-Г-Р, Россия) с относительной погрешностью определения удельной активности 5–10%. Подготовка (просушка, гомогенизация) и гамма-спектрометрический анализ проб почвы выполнены в Научно-исследовательской лаборатории эрозии и русловых процессов им. Н.И. Маккаева Географического факультета МГУ им. М.В. Ломоносова. Полученные по результатам проведения аналитических исследований эпюры вертикального распределе-



**Рис. 2.** Топографический профиль (А–В) на пойме р. Сейм с расположением разрезов (а); строение разрезов (б) и вид на участок долины р. Сейм (в). 1 – номера разрезов;  $647 \pm 51$  – возраст отложений.

**Fig. 2.** Topographic profile (A–B) on the floodplain of the Seim River and location of soil pits (a); stratigraphy of soil profiles (б) and a view of the segment of the Seim River valley (в). 1 – numbers of pits;  $647 \pm 51$  – age of deposits.

ния  $^{137}\text{Cs}$  использовались для определения темпов аккумуляции за последние 60 лет для двух временных интервалов (1963–1986 и 1986–2020 гг.).

$^{14}\text{C}$ -датировки почв выполнялись по гуминовым кислотам (ГК) конвенционным LSC методом в Лаборатории радиоуглеродного датирования и электронной микроскопии Института географии РАН. Калибровку проводили по программе OxCal v.4.1.7 (Bronk Ramsey, 2009) с использованием калибровочной кривой IntCal20 (Reimer et al. 2020) и интервалами вероятности 68.2 и 95.4% (1 и 2 sigma).

На пойме р. Истры (разрез Скит Никона) для датирования отложений использовались археологические находки. На пойме рр. Сейм и Ока с целью датирования палеопочв и отложений использовались также радиоуглеродный и радиоцезиевый методы. Подобные исследования с целью палеореконструкций на поймах центральной части Восточно-Европейской равнины ранее проводились на примере ряда рек региона (Александровский и др., 1987; Sycheva et al., 2003; Alexandrovskiy et al., 2018).

В дополнение к методам  $^{14}\text{C}$  и археологического датирования, показывающим *возраст-давность* образования палеопочв, нами использовался метод анализа степени развития профиля погребенных почв поймы. Он позволяет определять *возраст-продолжительность* формирования палеопочв и соответствующих им перерывов в осадконакоплении, а также оценивать скорость седиментации по степени выраженности признаков педогенеза в аллювии (Александровский, 2004; Александровский, Александровская, 2005; Александровский, 2016). Подобные сведения о темпах развития почв имеются в литературе (Stevens, Walker, 1970; Геннадиев, 1990; Hartmann et al., 2020). Также для подсчета скорости седиментации нами учитывались подходы, предлагаемые в ряде работ (Miao et al., 2007; Muhs et al., 2008; Dreibrodt et al., 2013, 2014). Предлагаемый способ определения степени развития почв относится к методам почвенных хронорядов. Выделяются дневные (горизонтальные) и погребенные (вертикальные) хроноряды почв (Иванов, Александровский, 1987). Так, горизонтальный ряд нами исследован в Льгове на р. Сейм. Вертикальные



**Рис. 3.** Разрез Скит Никона, пойма р. Истры. Внизу, на глубине 270–300 см залегают почва времени строительства Скита Никона, на глубине 170 см – кирпич и другие артефакты середины XVIII в. В средней части изученной толщи, 135–235 см, залегают грубослоистый аллювий, накопившийся с высокой скоростью.

**Fig. 3.** Soil pit at floodplain of the Istra River, the Nikon Skete site. Below at a depth of 270–300 cm lies the paleosol which was formed during the time of the Skete construction is identified at the depth of 270–300 cm bricks and other artifacts of the middle of the XVIII century were found at a depth of 170 cm; coarse-layered alluvium, characterized the stage with high rate of floodplain sedimentation occupied the middle part of soil section, 135–235 cm.

ряды – там же, в разрезе 4, и на р. Оке – смежные разрезы Никитино-Клименты, по которым получены серии  $^{14}\text{C}$ -дат по ГК из палеопочв. Для разреза Клименты имеются археологические даты, сходные с радиоуглеродными: верхняя почва содержит керамику 15–17 вв. н. э.; в почве 2 встречается керамика времени 1800–800 л. н., в ее основании – керамика 3–4 вв. н. э., в верхней части – 11–12 вв. (Фоломеев и др., 1988). Почва 3 содержит находки бронзового века, а почва 4 – неолита.

### 3. РЕЗУЛЬТАТЫ

#### 3.1. Уточнение темпоральной группировки почв и педоседиментов на основе изучения разрезов Скит Никона и Никитино

В разрезе Скит Никона (пойма р. Истры) мощность аллювия, накопившегося после времени основания монастыря, достигает 2.7 м (рис. 3). В основании разреза на глубине 270–300 см залегают кумулятивная почва с находками времени строительства Скита, расположенного рядом. Выше залегают тонкослоистый супесчаный аллювий серовато буроватого цвета (235–270 см) и слой грубослоистого аллювия (135–235 см), с находками середины XVIII в., состоящий из про-

слоев белесого песка и бурого опесчаненного суглинка. Он перекрыт слоем тонкослоистого супесчаного серовато-буроватого аллювия (80–135 см) со следами педогенеза и – кумулятивная почва, представленная горизонтом АС 0–80 см.

Исследования разреза Скит Никона на р. Истра позволили откорректировать представления о соотношении скорости процессов седиментации и педогенеза в пойме, полученные ранее по другим материалам (Александровский, 2004). Особенно эти изменения касаются условий высокой и средней скорости седиментации (табл. 1). В данном разрезе, по находкам времени строительства Скита – в нижней почве, находкам середины XVIII в. – в слое 135–235 см, и другим, можно достаточно точно представить скорость седиментации по всей толще. Так, слой грубослоистого аллювия (135–235 см, рис. 3) не имеет следов педогенеза – скорость седиментации тогда была максимальной: 100 см за 40 лет = 25 мм/год (табл. 2). В слое 270–300 см формируется кумулятивная почва. Здесь в результате процессов педогенеза, идущих вглубь, мощность горизонта АС увеличена за счет вовлечения в его состав нижележащих отложений, поэтому скорость седиментации для него не 4.3 мм/год, а несколько ниже. Верхние

**Таблица 1.** Влияние скорости накопления аллювия на формирование признаков педогенеза в аллювии, на развитие почв разного типа и на наличие культурных слоев в пойме рек центра Восточно-Европейской равнины\*  
**Table 1.** Influence of the floodplain sedimentation rates on a) the formation of pedogenesis signs in alluvium; b) the development of different type soils; c) the presence of cultural layers in the river floodplains of the center of the Eastern European Plain

Скорость седиментации аллювий		Время, необходимое для развития почвы (характерное время)	Седименты и почвы	Археология
Высокая	>15 мм/год	—	Аллювий без признаков педогенеза	Случайные находки
	5–15 мм/год	—	Слоистый аллювий со слабыми признаками почвообразования	«
	2–5 мм/год	—	Слоистый аллювий с хорошо развитыми признаками почвообразования	«
Средняя	0.5–2 мм/год	50–300 лет	Кумулятивные “быстрые” почвы с хорошо сохранившимися признаками слоистости	Культурные слои кратковременных поселений
Низкая	0.1–0.5 мм/год	300–1000 лет	Кумулятивные (медленные) хорошо развитые серо- и темногумусовые почвы (дерновые и луговые)	Культурные слои долговременных поселений
	<0.1 мм/год	>1000 лет	Нормальные (зональные) почвы: дерново-подзолистые, серые, лугово-черноземные	

*Примечание.* \* – материалы и методы расчета первоначально были приведены в (Александровский, Александровская, 2015, с. 39 и 126–141). В данной работе характерные скорости седиментации исправлены на основе исследования объекта Скит Никона на р. Истра. Характерное время – см. (Таргульян, 2019).

**Таблица 2.** Скорость процессов седиментации по данным изучения признаков педогенеза в аллювии поймы р. Истры. Скит Никона  
**Table 2.** The rate of sedimentation processes according to the study of pedogenesis signs in the alluvium of the Istra River floodplain. Nikon’s Skete

Седимент, почва, слой аллювия	Глубина, см	Мощность, мм		Возраст (интервал), лет н. э.	Продолжительность, лет	Скорость, мм/год
		почвенного горизонта	слоя			
Аллювий с явными следами педогенеза	0–80	800	800	2010–1830	180	4.4
Тонкослоистый аллювий со слабыми следами педогенеза	80–135	550	550	1830–1770	90	6.1
Аллювий грубослоистый	135–235	1000	1000	1770–1730	40	25.0
Тонкослоистый аллювий со слабыми следами педогенеза	235–300	350	350	1730–1700	30	11.7
Аллювий с явными признаками педогенеза, или гор АС кумулятивной почвы	270–300	300*	<300*	1700–1630	70	<4.3
Весь разрез	0–300	3000	3000	2010–1630	380	7.9

*Примечание.* \* – мощность почвы в данном случае больше, чем мощность (толщина) седимента, накопившегося за время почвообразования, что связано с педогенной переработкой нижележащего аллювия, и включения его в состав гумусового горизонта почвы.

80 см отложений накопились за 180 лет, что соответствует скорости аккумуляции 4.4 мм/год. В целом скорость накопления аллювия на данном участке поймы очень высокая: 330 см за

380 лет = 7.9 мм/год. Поэтому признаки педогенеза здесь выражены слабо или отсутствуют.

Разрез Никитино наиболее информативный из исследованных нами на р. Оке (Александров-

**Таблица 3.** Радиоуглеродный возраст почв разрезов Льгов на р. Сейм и Никитино на р. Оке. Откалибровано в OxCal (л. н.)**Table 3.** Radiocarbon age of the soils, established for sections located on the Seim River floodplain (Lgov site) and on the Oka River floodplain (Nikitino site). Calibrated in OxCal (years ago)

Разрез, слой	Горизонт	Глубина, см	Индекс	<sup>14</sup> C-возраст	Калиброванный возраст		
					интервал	средний	медиана
<i>Льгов</i>							
4	AB	25–37	IGAN 8489	710 ± 60	1σ 562–690 2σ 554–731	647 ± 51	657
4	AУЬ	46–57	IGAN 8497	920 ± 80	1σ 745–914 2σ 686–957	830 ± 75	829
3а	AU/Bt	63–100	IGAN 8426	6860 ± 110	1σ 7590–7825 2σ 7514–7933	7716 ± 103	7709
<i>Никитино</i>							
1	C	50	IGAN-850a	320 ± 90	1σ 480–299	352 ± 115	372
2а	AE	140	IGAN-1219	1890 ± 75	1σ 1887–1714 2σ 1993–1618	1808 ± 92	1805
2а	AE	140	IGAN-1212	1500 ± 90	1σ 1514–1303 2σ 1586–1193	1407 ± 85	1396
2а/2b	C	160	IGAN-529	2300 ± 130	1σ 2667–2124 2σ 2717–2003	2340 ± 192	2328
2b	AE	175	IGAN-1211	2280 ± 120	1σ 2465–2117 2σ 2705–1997	2307 ± 181	2292
3	A	270	IGAN-1210	3780 ± 90	1σ 4292–3988 2σ 4416–3910	4165 ± 135	4164
4–5 верх	A	425	IGAN-1209	4880 ± 120	1σ 5837–5473 2σ 5900–5325	5622 ± 147	5623
4–5 низ	A	445	IGAN-2323	5910 ± 260	1σ 7153–6411 2σ 7418–6215	6769 ± 291	6761

ский и др., 1987). Здесь основные почвы 1–4 расщепляются и появляются дополнительные (табл. 3). В разрезе 6 почв и, соответственно, этапов замедления или почти полной остановки накопления аллювия. Хронология основана на датах <sup>14</sup>C (табл. 3), археологических и также педолитогенетических данных.

Дата, полученная по почве 3 (табл. 1), представляется удивительной (3780 ± 90 л. н.). Основанием для такого вывода служит ее расхождение с археологическими датами по рассматриваемому единому разрезу Никитино-Клименты (Фоломеев и др., 1988). Поэтому дополнительно для анализа хронологии привлечена дата по этой почве из имеющего сходное строение разреза Подборное (3000 ± 350 л. н. (кал. 3203 л. н.) (Александровский и др., 1987). Данный разрез расположен в днище долины р. Оки в 225 км ниже по течению. Возможность использования этой даты основывается на предложенных нами представлениях о погребенных пойменных почвах как геохронологических уровнях Средней Оки (Александров-

ский и др., 1987). В итоге интервал времени формирования почвы 3, основывающийся на этих двух датах, хорошо соответствует и археологической датировке разреза и значительно лучше соотносится с радиоуглеродными интервалами формирования выше- и нижележащих почв. В связи с этим развитие процессов педогенеза и седиментации во времени для поймы реки можно представить следующим образом (табл. 4).

Новые данные по разрезам Скит Никона и Никитино дали возможность уточнить предложенную ранее (Александровский, 2004) темпоральную группировку почв и педоседиментов. По новой схеме, в первой группе (три верхние строки табл. 1), объединены почвенно-седиментационные тела, сформированные в условиях быстрой аградации. Так как темпы седиментации здесь выше, чем таковые педогенеза, аллювий слабо или вообще не проработан почвенными процессами, в итоге сохраняется исходная литологическая слоистость. В другой группе объединены тела – почвы, сформированные в условиях медлен-

**Таблица 4.** Скорость процессов седиментации по данным изучения серий почв, погребенных в аллювии поймы р. Оки (разрез Никитино)**Table 4.** The rate of sedimentation processes according to the study of soil series buried in the alluvium of Oka River floodplain (Nikitino section)

Горизонт	Глубина, см	Глубина слоя*, см	Мощность, мм		Возраст (интервал), лет	Продолжительность, лет	Скорость, мм/год
			почвенного горизонта	слоя*			
1А	0–15	0–15	150	150	0–160	160	0.94
С/аллювий	15–85	15–85	700	700	160–300	140	5
1А	85–110	85–110	250	250	300–690	390	0.64
С/аллювий	110–138	110–138	280	280	690–890	200	1.4
2АЕ	138–152	138–144	140	60	890–1700	810	0.07
Вt/аллювий	152–173	144–173	210	290	1700–1900	200	1.45
2Е(АЕ)	173–190	173–179	170	60	1900–2750	850	0.07
Вt/аллювий	190–257	179–257	670	780	2750–3150	400	1.95
3А	257–283	257–266	260	90	3150–3920	770	0.12
С/аллювий	283–368	266–368	850	1020	3920–4520	600	1.7
АС	368–410	368–410	420	420	4520–5000	480	0.87
4А	410–473	410–473	630	300	5000–7100	2100	0.14
Весь профиль				4400		7100	0.62

*Примечание.* \* – глубина и мощность (толщина) слоя аллювия, отложившегося в период образования соответствующего горизонта.

ной седиментации (две нижние строки табл. 1). Среди них имеются менее развитые почвы пойм – луговые и дерновые, а также зрелые почвы – черноземы, дерново-подзолистые и другие, сходные с таковыми внепойменных позиций (табл. 1). На переходе между этими двумя группами располагается строка с кумулятивными почвами с сохранившейся слоистостью.

В табл. 1 кумулятивные почвы присутствуют в двух строках. В средней строке – это кумулятивные почвы, условно “быстрые”, формирующиеся при достаточно высоких темпах седиментации 0.5–2 мм/год; слоистость сохранилась хорошо, почвенные процессы нижележащий слой не перерабатывают. Ниже, в строке с темпами накопления 0.1–0.5 мм/год – кумулятивные “медленные” почвы, без слоистости, с медленным ростом поверхности вверх и переработкой нижележащего слоя почвенными процессами. Между данными “медленными” и “быстрыми” кумулятивными почвами, на уровне скорости аградации 0.5 мм/год, находится рубеж, важный для вычисления скорости накопления осадка. В случае первых – “медленных”, педогенез изменяет (искажает) исходную мощность слоев осадков, что затрудняет вычисление скорости. При формировании вторых – “быстрых”, мощности слоев со-

храняются, вычисление скорости аккумуляции не затруднено.

### 3.2. Изучение скоростей аккумуляции наносов на участках поймы р. Сейм различного возраста

*3.2.1. Морфология и данные анализов почв.* Изучена серия разрезов глубиной до 155 см, в том числе с погребенными почвами, разделенные слоями аллювия, заложенных на разных уровнях поймы р. Сейм в районе г. Льгова (рис. 2).

*Разрез 2.* Заложен на вершине первого от реки – молодого прируслового вала. Склоны вала на данном участке довольно крутые, вершина выложенная, шириной до 20 м. Строение разреза следующее: А 0–30 см, сероватая супесь – ВСА 30–60 см, буроватая супесь, вскипает – А 60–85 см, серо-бурый легкий суглинок (палеопочва) – С 85–120 см, буроватая супесь. Палеопочва – аллювиальная гумусовая, современная почва – слоисто-аллювиальная гумусовая.

*Разрез 1.* Находится в первом от реки старичном межгрядовом понижении, глубоком, с крутыми склонами. Почва аллювиальная темногумусовая гидрометаморфическая, имеет темный гумусовый горизонт, представленный подгоризонтами: АU<sub>1</sub> 0–4 см, дернина – АU<sub>2</sub> 4–10 см,



темно-серый суглинок – AU2 10–30 см, темно-серый суглинок – AU3Q1 30–45 см, серый суглинок – Q1 45–75 см, буровато-охристый суглинок. Сменяется слоистым карбонатным оглеенным аллювием.

*Разрез 4.* Располагается на вершине второго прируслового вала (гривы). Выделяются современная почва и две погребенные: AY 0–25 см, серо-бурый легкий суглинок – AB 25–40 см, серовато-буроватый супесчаный (палеопочва, возраст  $710 \pm 60$  л. н., IGAN-8489) – AYel 40–65 см, серовато-бурый с белесой присыпкой, суглинок (возраст  $920 \pm 60$  л. н., IGAN-8497) – Bt 65–85 см, светло-бурый суглинок – AY 85–150 см, серо-бурый суглинок (палеопочва). Верхняя почва – аллювиальная гумусовая, первая погребенная – аллювиальная гумусовая элювиальная. Нижняя почва – синлитогенная по старичному аллювию.

*Разрез 3.* Заложен на расстоянии около 250 м от русла реки, на древнем береговом валу. Почва серая лесная, хорошо развитая на мощной погребенной почве: AY/P 0–25 см, буровато-серый суглинок с признаками плужной подошвы – EL 25–40 см, белесый легкий суглинок – ELB 40–55 см, буровато-белесый суглинок – B1t 55–70 см, серо-бурый суглинок – [AU]Bt 70–130 см, серо-бурый суглинок – [AB] 130–155 см, бурый суглинок. Современная почва – темно-серая (лесная), погребенная – лугово-черноземная.

*Разрез 3а.* Расположен в 300 м от реки в нижней части пологого склона от гривы к плоскому дну широкой межгривной ложбины. Профиль сходный с разрезом 3.

Молодые прирусловые валы высокие, почвы на их поверхности слаборазвитые, супесчаные и супесчано-легкосуглинистые. Их можно отнести к серогумусовым. Почва на современном прирусловом валу (рис. 2, разрез 2) молодая, карбонаты из ее профиля еще не выщелочены. Почвы второго вала, расположенного сразу за старичным понижением (рис. 2, разрез 4), также молодые, но более развитые, отложения более тяжелые – легкосуглинистые, местами супесчаные. В верхней погребенной почве появляются признаки лесного педогенеза – горизонты Bt. Древние гривы, расположенные на удалении в 200 м и более от русла реки (рис. 2, разрезы 3 и 3а), имеют сглаженные формы. Почвы на них – серые лесные, зрелые.

Данные анализов почв. Аллювиальная темно-гумусовая гидрометаморфическая типичная почва (разрез 1) имеет дифференцированный по гранулометрическому составу профиль: более тяжелый в верхней части (легкая глина с высоким содержанием крупной пыли и ила) по сравнению с нижней (от тяжелого суглинка до среднего). Это характерно для старичных понижений, в которых откладываются взвешенные наносы. Их круп-

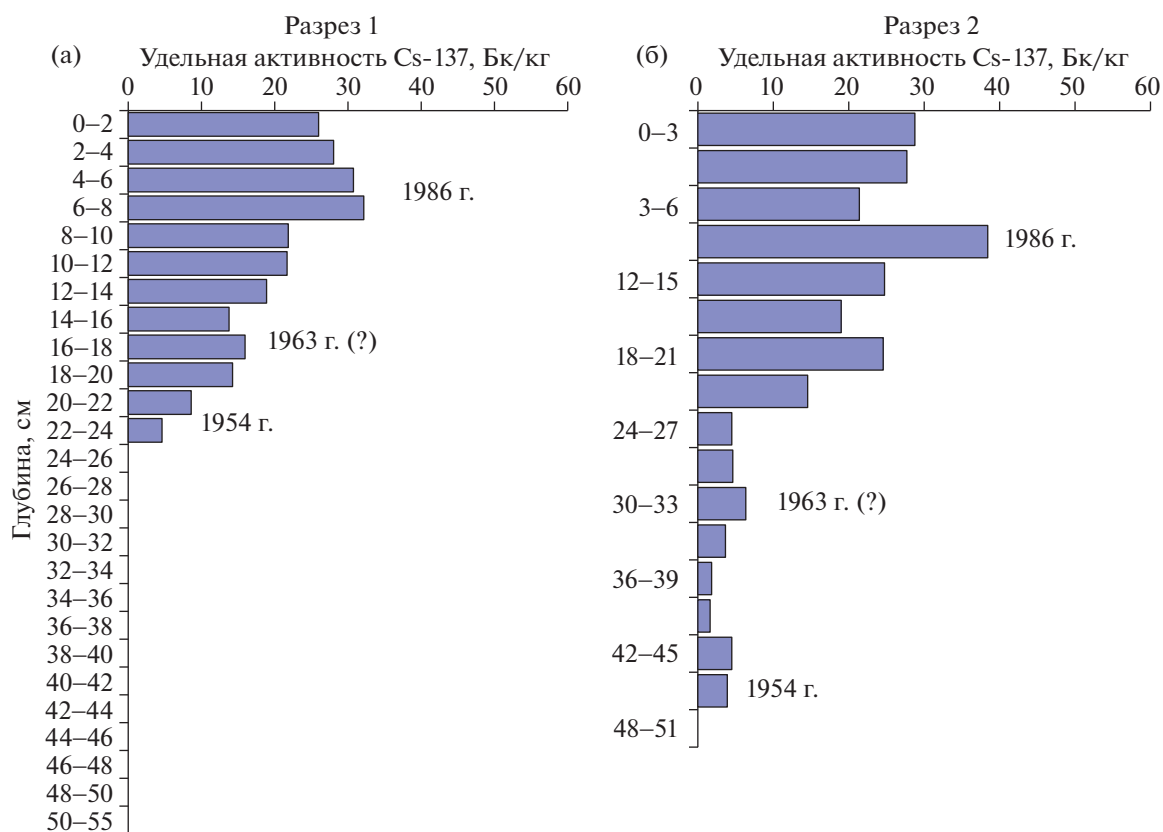
ность убывает вверх по разрезу в связи с постепенным ростом уровня поверхности поймы над межженным уровнем воды в реке. Типичная аллювиальная темногумусная почва, развитая на прирусловом валу (разрез 2), отличается гораздо более грубым механическим составом с большой долей частиц песчаной фракции. Кислотно-щелочные условия изменяются от нейтральных в верхних горизонтах ( $pH_{\text{вод}} = 7.0$ ) профиля, до щелочных в средних и нижних ( $pH_{\text{вод}} = 8.0–8.2$ ). Содержание карбонатов возрастает с глубиной: бескарбонатны лишь гумусовые горизонты аллювиальной почвы, все нижележащие горизонты, включая нижнюю часть гумусового горизонта, вскипают от HCl. Содержание  $C_{\text{орг}}$  максимально в верхних горизонтах (3.48–4.07%), и постепенно убывает с глубиной (0.71%).

*3.2.2. Возраст почв и отложений поймы р. Сейм.* Эпюры вертикального распределения  $^{137}\text{Cs}$  в почвах участков молодой поймы представлены на рис. 4. На каждом из профилей отчетливо выделяется пик 1986 г., соответствующий поверхности поймы в год аварии на Чернобыльской АЭС. Пик 1963 г., соответствующий максимуму глобальных выпадений, выражен в каждом из разрезов менее ярко. Также с учетом того, что прошло уже более чем два периода полураспада  $^{137}\text{Cs}$  с 1954 г., когда были зафиксированы первые его глобальные выпадения, обусловленные началом проведения ядерных взрывов в открытой атмосфере, время отложения наиболее ранних слоев аллювия, в которых его наличие фиксируется, можно смело отнести к 1954 г.

В дополнение к датировкам по  $^{14}\text{C}$  привлекались почвенно-хронологические данные (табл. 5). Они позволяют оценить длительность формирования почв. Так, слабая степень развития профиля А-С почвы, расположенной на поверхности первой гривы (рис. 2, разрез 2), позволяет сделать вывод о том, что она формировалась не более 100 лет. Почва на поверхность второй гривы (разрез 4, табл. 5) – около 300 лет, а палеопочва с калиброванной датой 829 лет (медианное значение) формировалась несколько дольше (около 500 лет), что согласуется с появлением признаков текстурной дифференциации в ее профиле. Формирование почв со зрелым профилем на древних поверхностях поймы (разрезы 3 и 3а) продолжалось значительно дольше – по несколько тысяч лет. В периоды образования этих почв накопление аллювия почти полностью останавливалось.

#### 4. ОБСУЖДЕНИЕ

Проведенные исследования показывают, что радиоуглеродное (абсолютное), и почвенно-хронологическое (относительное) датирование почвенно-аллювиальных серий, при взаимокоррекции ре-



**Рис. 4.** Эпюра вертикального распределения  $^{137}\text{Cs}$  по глубине в разрезах 1 (а) и 2 (б), расположенных в старичном понижении и на прирусловом валу соответственно (см. рис. 2). 1986 г., 1963 г. и 1954 г. — поверхность аллювиальной почвы на момент выпадения из атмосферы  $^{137}\text{Cs}$  Чернобыльского происхождения, максимума глобальных выпадения и начала глобальных выпадений соответственно.

**Fig. 4.** A plot of the  $^{137}\text{Cs}$  vertical distribution in sections 1 (a) and 2 (б) located in the oxbow depression and on the river bank diagonal bar, respectively (see fig. 2). 1986, 1963 and 1954 — the surface of the alluvial soil at the time of initial fallout from the atmosphere of Chernobyl-derived  $^{137}\text{Cs}$ , the maximum of bomb-derived  $^{137}\text{Cs}$  and the beginning of bomb-derived  $^{137}\text{Cs}$  fallout, respectively.

зультатов этих двух методов, и дополнительным использованием археологических, исторических и стратиграфических материалов, позволяют получать достаточно определенные данные о скорости процессов седиментации. Наибольшую сложность для вычисления скорости процессов представляет определение возраста-продолжительности формирования слоев. Причем интервал калиброванного возраста не показывает длительности формирования почвы. Вместе с тем и определение мощности слоев, при наличии в разрезе горизонтов почв, часто требует коррекции.

На р. Сейм исследованы разрезы (почвенно-аллювиальные серии) с существенно различающейся скоростью седиментации. На молодых участках здесь обнаруживаются седименты со слабой скоростью накопления и кумулятивные почвы (медленные). На древних — нормальные почвы, близкие к зональным, скорости седиментации очень низкие.

Отметим, что различия в литологии между изученными почвами горизонтального хроноряда на р. Сейм имеются, но они не столь велики. Так, отложения первого, самого молодого вала имеют супесчано-легкосуглинистый состав, второго вала — легкосуглинистый, в старичном понижении — почвы суглинистые, тогда как более древние почвы, расположенные на удалении от реки на расстоянии около 300 м, имеют суглинистый и тяжелосуглинистый состав. Вместе с тем литология на втором прирусловом валу и древнем участке поймы сходная, что позволяет получить достаточно обоснованные выводы о развитии профиля почв во времени.

Здесь следует учитывать, что во время формирования почв педогенез перерабатывает верхнюю часть слоя аллювия (L2 на рис. 5), которая включается в состав почвы (S2). В связи с этим мощность исходного слоя аллювия сокращается и от него остается только нижняя часть — L2г. По этой заниженной мощности слоя обычно и произво-

**Таблица 5.** Скорость процессов седиментации по данным изучения серий почв, погребенных в аллювии поймы р. Сейм, Льгов**Table 5.** The rate of sedimentation processes according to the study of soil series buried in the alluvium of the Seim River floodplain, Lgov

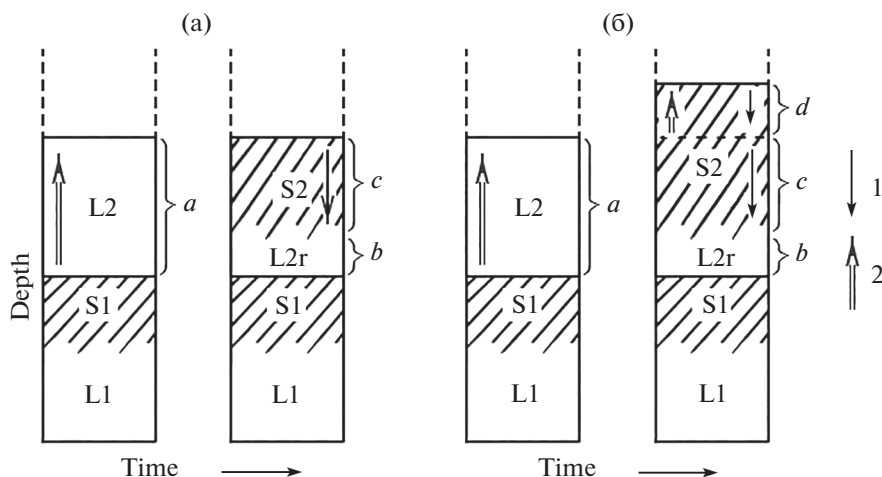
Горизонт	Глубина, см	Мощность, мм		Возраст (интервал), лет	Продолжительность, лет	Скорость, мм/год	Средняя скорость
		почвенного горизонта	слоя				
<i>Разрез 2</i>							
(A)	0–30	300	150 <sup>1</sup>	0–100	100	1.5	4 (60) <sup>4</sup>
(BCA) <sub>al</sub> <sup>3</sup>	30–60	300	450 <sup>2</sup>	100–150	50	9.0	
AУ	60–85	250	100 <sup>1</sup>	150–350	200	0.5	
<i>Разрез 4</i>							
AУ	0–25	250	100 <sup>1</sup>	0–350	350	0.29 [0.7]	0.57 (40) <sup>4</sup>
AB <sub>al</sub>	25–40	150	300 <sup>2</sup>	350–700	350	0.86 [0.4]	
AУ	40–65	250	50–100 <sup>1</sup> /75	700–1200	500	0.15	
Bt <sub>al</sub>	65–85	200	–	–	–	–	
<i>Разрез 3а</i>							
AУ	0–23	230	50 <sup>1</sup>	0–5000	5000	0.01	0.1 (55)
ABEL <sub>al</sub>	23–55	320	500 <sup>2</sup>	5000–5500 (6000)	500–1000 (750)	0.7	
AU	55–100	450	100 <sup>1</sup>	5500–10000	4500	0.02	

*Примечания.* <sup>1</sup> – величина прироста почвы за счет наилок, поступивших только за время формирования почвы – фактический слой седиментации; <sup>2</sup> – мощность слоя аллювия – “исходного”, накопившегося на этапе седиментации, до начала формирования почвы (также дано в скобках и, как и величина прироста почвы за счет наилок, – служит для расчета реальной скорости седиментации); <sup>3</sup> – значком al обозначены слои аллювия, слабо проработанные педогенезом; <sup>4</sup> – в скобках – общая мощность слоя (см), для которого определена средняя скорость седиментации.

дятся расчеты скорости седиментации, что искажает ее величину. В связи с этим вычисление данной скорости, имевшей место на стадии накопления аллювия, надо проводить не для мощности остаточного слоя аллювия (“b”), наблюдаемого в профиле, а для реконструированного исходного слоя (“a”). Особенно сильными искажения вычисленной скорости седиментации становятся, если слой аллювия прорабатывается педогенезом полностью или почти полностью. Отметим, что в рамках простого сценария развития поймы (А на рис. 5), во время формирования почвы (“с”) накопления аллювия не было, поэтому скорость седиментации за это время равна нулю. Для сложного сценария развития поймы, с учетом педогенного изменения мощности слоев (В) – скорость седиментации для первой стадии (L2) здесь также рассчитывается для исходного слоя аллювия (а); расчет скорости седиментации на стадии педогенного изменения мощности (почва S2, правая колонка на рис. 5) определялся только исходя из мощности слоя наилок, накопившихся за время этой стадии (слой “d”); слой “с” – хотя и относится к почве S2, но его минеральная масса накопилась раньше – на стадии седиментации (“a”) и поэтому для расчета скорости седиментации в период педогенеза не используется.

В связи с подобным влиянием педогенеза мощность слоев аллювия в большинстве случаев коренным образом уменьшена по сравнению с исходной. Мощность почв, соответственно, увеличена и существенно превышает толщину слоя наилок, поступивших на поверхность почвы за время ее формирования. Поэтому, для более точного определения скорости седиментации, при анализе изученных разрезов поймы р. Сейм, производились пересчеты а) для периодов седиментации – на мощность исходных слоев аллювия, и б) для периодов педогенеза – на величину слоя наилок, поступивших на поверхность именно в период формирования почвы. На основе подобных подходов была рассчитана скорость седиментации в разрезах 2, 4 и 3а (табл. 5).

Почвы на современном приустьевом валу (разрез 2) характеризуются примитивным профилем, представленным слабо развитым гумусовым горизонтом. Проведенные расчеты показали, что скорость седиментации здесь очень высока – средняя скорость в 5 раз выше, чем в разрезе 4, а для слоя аллювия она составляет 90 (!) см/100 лет (9 мм/год), что в 10 раз выше, чем в аналогичном слое аллювия в разрезе 4 (табл. 5). Анализ эпюр вертикального распределения <sup>137</sup>Cs позволяет де-



**Рис. 5.** Схема фаз развития аллювия поймы и погребенных почв.

(а) – сценарий 1 (простой). Стадия накопления слоя аллювия (L2) сменяется стадией формирования почвы (S2), в течение которой седиментация отсутствует. Скорость седиментации вычисляется для исходной мощности слоя аллювия (“а”).

(б) – сценарий 2 (сложный). Почва S2 – кумулятивная, она частично развивается вглубь, частично прирастает вверх, что обозначено стрелками 1 (педогенез) и 2 (седиментация). Скорость седиментации для периода развития почвы S2 рассчитывается только для слоя, накопившегося за это время (“d”). Для исходного слоя аллювия (L2), на котором сформировалась эта почва, она та же, что и в сценарии 1. Остальные обозначения объясняются в тексте.

**Fig. 5.** Diagram of the phases of floodplain alluvium and buried soils development.

(a) – scenario 1 (simple). The stage of accumulation of the alluvium layer (L2) is replaced by the stage of soil formation (S2), during which there is no sedimentation. The sedimentation rate is calculated for the initial thickness of the alluvium layer (“a”).

(b) – scenario 2 (complex). The soil 2 is cumulative, it partially develops in depth, partially grows upwards, which is indicated by arrows 1 (pedogenesis) and 2 (sedimentation). The sedimentation rate for the period of soil development S2 is calculated only for the layer accumulated during this time (“d”). For the original alluvium layer (L2) on which this soil formed, it is the same as in Scenario 1. Other designations are explained in the text.

тализировать скорости аккумуляции наносов на участке молодой поймы. Максимальные скорости пойменной аккумуляции на современном прирусловом валу (23 мм/год) пришлось на период 1954–1963 гг. В дальнейшем в период 1963–1986 гг. скорости аккумуляции сохранялись на уровне 9.1 мм/год. При этом в старичном понижении скорости пойменной аккумуляции в этот период были примерно вдвое ниже и составляли 5.2 мм/год (рис. 4).

Скорости накопления пойменного аллювия существенно сократились в последние три с половиной десятилетия, что обусловлено резким сокращением поверхностного стока в период весеннего снеготаяния и, как следствие, падением максимальных расходов воды в период весеннего половодья (Tsybgarovich et al., 2020). Это привело к резкому сокращению случаев затопления поймы среднего уровня. Среднегодовые темпы аккумуляции за период 1986–2019 гг. составили 1.8 мм/год в старичном понижении (рис. 4, (а)), 2,7 мм/год на прирусловом валу (рис. 4, (б)).

В целом можно утверждать, что высокие темпы аккумуляции наносов на наиболее молодом участке поймы р. Сейм связаны с кардинальными изменениями условий формирования стока воды и наносов на водосборе р. Сейм, обусловленные резким усилением антропогенного воздействия

на водосбор. Так, с конца XVII в. и до конца XIX в. площади пашни возросли почти в четыре раза и достигли 75–78% (Пространственно-временные..., 2019). Это привело к резкому росту поверхностного стока, особенно в период весеннего снеготаяния, подъему максимальных уровней половодья и росту поступления смытых с пашни частиц почвы в постоянные водотоки. При этом большая часть наносов, сформировавшихся в процессе смыва почв с пашни, переоткладывалась в суходольной сети и в днищах долин малых рек, включая русла. Это привело к резкому сокращению протяженности сети постоянных водотоков в лесостепной зоне ЕТР в период, начиная со второй половины XIX в., которое составило 35–45% от ее протяженности на начало XIX в. (Golosov, Panin, 2006).

На более древнем участке поймы во всех изученных разрезах встречены почвы лесного генезиса – серые (по классификации 1977 г. – серые лесные и темно-серые лесные), с ярко выраженными элювиальным и иллювиальным горизонтами. В понижениях они имеют признаки оглеения. Для развития почв с подобным профилем необходимо их длительное, более 2 тыс. лет, формирование под пологом леса при скорости седиментации не более 1 см за 100 лет (Александровский, Александровская, 2005). Позднеголоценовые леса со-

хранились на соседних участках поймы до сих пор. Ниже данной почвы в разрезах 3, 3а и других были обнаружены погребенные под слоем аллювия, хорошо развитые почвы среднего голоцена с мощным темным гумусовым горизонтом, имеющие лугово-степной генезис (рис. 2). Подобные хорошо развитые серые лесные позднеголоценовые почвы и более ранние почвы черноземного облика в пойме рек бассейна Сейма были обнаружены ранее (Сычева, Узянов, 1987).

Возраст средней части гумусового горизонта погребенной почвы высокой поймы из разреза 3а (глубина 63–100 см; рис. 2), интервал возраста, по данным калибровки, оказался равным 7591–7822 л. н., а его медианное значение – 7709 л. н. (табл. 3). Этот период соответствует климатическому оптимуму голоцена, когда и на поймах рек Западной Европы практически не наблюдалась аккумуляция наносов в связи резким сокращением стока взвешенных наносов благодаря высокому проективному покрытию склонов водосборных бассейнов и снижению максимальных расходов воды (Lespez et al., 2008).

Известно, что  $^{14}\text{C}$ -даты верхнего горизонта почв имеют возраст около 1000 лет, и ниже по профилю он увеличивается (Чичагова, 1985). В разрезе 3а продатирован не верхний, а более глубокий горизонт почвы, который должен быть старше возраста поверхности почвы примерно на 2000 лет. Поэтому погребение почвы можно отнести ко времени 5000–5500 л. н. В разрезе 3 погребенная почва залегает под слоем аллювия примерно той же мощности, что и в разрезе 3а (рис. 2). Средняя скорость седиментации на древнем участке поймы равнялась 0.7 мм/год, что существенно ниже, чем на втором прирусловом валу (разрез 4). Но при этом скорость седиментации в рассматриваемый относительно короткий период (500–1000 лет) не могла быть ниже, иначе этот слой превратился бы в кумулятивную почву.

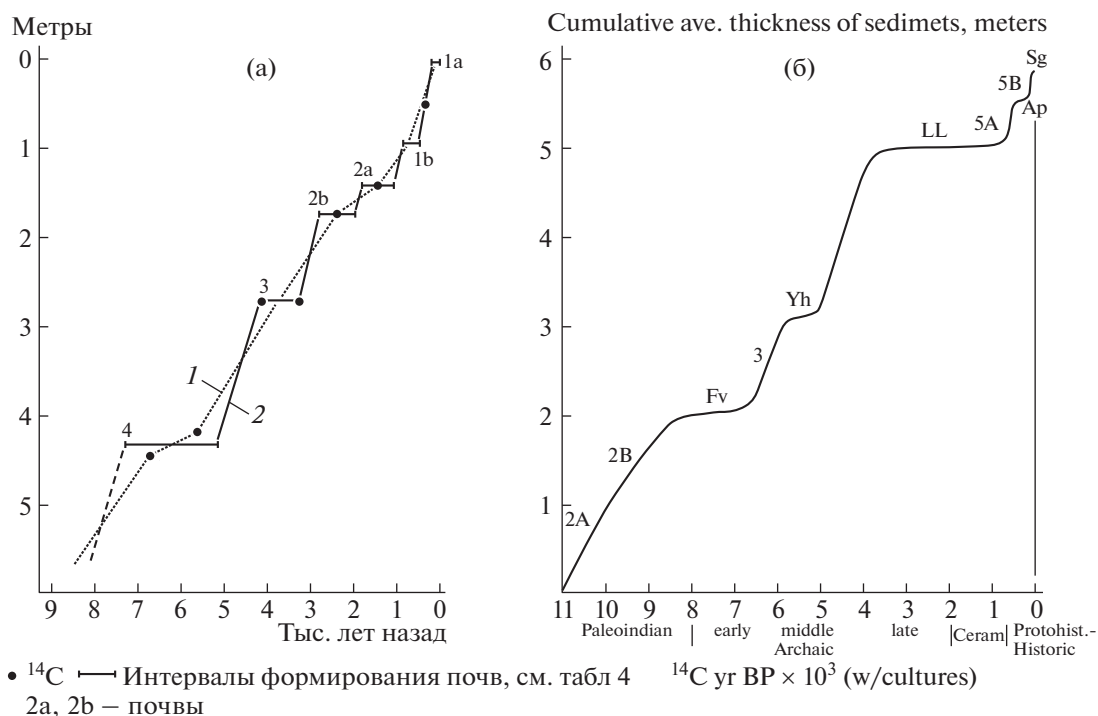
Средняя скорость накопления аллювия, рассчитанная для пойменных отложений (слой аллювия вместе со сформированной на нем почвой) прирусловых валов различного возраста, характеризует особенности изменения водности р. Сейм за каждый из периодов, так как супесчано-песчаные отложения, накапливающиеся на валах, представлены наносами, перемещаемыми в придонном слое потока, и имеют в основном русловое происхождение. На современном прирусловом валу она равна 48 см/66 лет (7.2 мм/год), на втором валу – 5.7 см/100 лет (0.57 мм/год; табл. 4). На участке поймы среднеголоценового возраста она составила только 1 см/100 лет (0.1 мм/год). Таким образом, полученные результаты подтверждают ранее высказанное предположение о нарастании расходов воды р. Сейм в голоцене (Панин и др., 2001).

В целом современный период продолжительностью 500 лет выделяется максимальной интенсивностью эрозионно-аккумулятивных процессов в бассейне р. Сейм. Аналогичная ситуация характерна для Москвы-реки и других рек центра Восточно-Европейской равнины (Alexandrovskiy et al., 2004, 2018). Подобное увеличение интенсивности аккумуляции коллювия и аллювия в Западной Европе началось как минимум на 1000 лет раньше и оно, как и в бассейне р. Сейм, связано с антропогенным, преимущественно сельскохозяйственным воздействием на водосборы (Brown et al., 2013). Периоды увеличения и уменьшения темпов седиментации установлены для всего голоцена (Mandel, 1997; Sycheva et al., 2003).

Земледельческое освоение бассейна р. Сейм способствовало усилению процессов накопления аллювия, которые возросли в этот период в 7–50 раз по сравнению со средним голоценом в связи с ростом уровней половодий и ростом смыва почв с водосбора в годы с глубоким промерзанием пахотных почв. Внутри голоцена также имелись климатически обусловленные этапы усиления водности, но по своему влиянию на транспорт и переотложение наносов на пойме они были значительно слабее таковых времени высокой антропогенной нагрузки (массовая распашка) на водосбор. Значимость именно климатического фактора подчеркивается и различиями в скоростях осадконакопления на современном прирусловом валу и в старичном понижении, которые составили в последние 34 года (период резкого снижения максимальных расходов весеннего половодья) 2.7 мм/год и 1.8 мм/год, соответственно, тогда как в предшествующий ему 24-летний период они были в среднем в 3 раза выше.

Датирование по  $^{14}\text{C}$  дает представление о возрасте-давности событий, что отражают графики зависимости возраста от глубины (age-depth model), которые обычно имеют простую форму. Для разреза Никитино такая кривая показывает среднюю скорость седиментации (рис. 6, (а), кривая 1). Эта кривая может быть уточнена на основе почвенно-хронологических данных (табл. 1), а также путем взаимокоррекции между  $^{14}\text{C}$  и почвенными датами. Интервалы формирования почв даны на графике в виде горизонтальных отрезков – при этом становятся видны реальные резкие изменения скорости седиментации (рис. 6, кривая 2). Для интервалов накопления аллювия скорость намного выше, что отражено в увеличении крутизны кривой. На этапах педогенеза седиментация замедлена, кривая здесь выполаживается, становится субгоризонтальной или горизонтальной, на ней появляются ступени, ширина которых отвечает длительности этапов педогенеза.

Сходные кривые приводит (Holliday, 1992), например, кривую по разрезу поймы с серией по-



**Рис. 6.** Скорость накопления аллювия на пойме р. Оки (разрез Никитино) (а): 1 — кривая, построенная на основе <sup>14</sup>C-дат; 2 — кривая, построенная на основе <sup>14</sup>C-дат и данных по длительности периодов педогенеза (табл. 3). (б) — разрез Lubbock Like — кривая построена с учетом длительности периодов педогенеза (Holliday, 1992).

**Fig. 6.** The rate of alluvium accumulation on the Oka River floodplain (Nikitino site) (a): 1 — Curve based on <sup>14</sup>C dating; curve 2 — based on <sup>14</sup>C dating and data, which were received based on the duration of periods of pedogenesis (see tabl. 3). (б) — Lubbock Like section — curve is constructed with taking into account the duration of periods of pedogenesis (Holliday, 1992).

гребенных почв в Кентукки (рис. 6, (б)). Почва LL — Lubbock Like формировалась 3–3.3 тыс. лет, профиль ее зрелый. Ступень ровная, следовательно, седиментация в это время практически отсутствовала. Поверхность других ступеней на кривой (почвы Yh, Fv) слабо наклонена — почвы кумулятивные, но темпы седиментации низкие.

В разрезе Никитино нижняя почва формировалась 2100 лет. Причем за это время возможно накопление аллювия 30 см, но скорость седиментации оставалась низкой — 0.14 мм/год, поэтому профиль почвы — зрелый. Еще ниже она была во время формирования серых лесных почв — не более 0.07 мм/год (горизонты E и AE, табл. 4).

Скорость накопления, полученная путем обычного подсчета на основании только <sup>14</sup>C-дат (age-depth model), ненамного отличается от средней по разрезу Никитино — 0.62 мм/год. По разрезу она меняется так: в верхней части (0–140 см) — около 1 мм/год, в нижней (140–430 см) — 0.59 мм/год. Однако при учете данных о длительности формирования почв выявляются резкие циклические колебания скорости седиментации (рис. 6, кривая 2). В периоды формирования зрелых почв она составляла 0.07–0.15 мм/год, кумулятивных почв (две верхние) — 0.6–0.9 мм/год, а в

периоды накопления аллювия — 1.4–2 мм/год. Причем в верхнем слое аллювия она возрастает до 5 мм/год. Большой интерес представляет прогумусированный горизонт около 40 см, со слабыми признаками слоистости, лежащий на поверхности почвы 4 — это кумулятивная почва с хорошо сохранившейся слоистостью. Скорость накопления аллювия здесь — 0.87 мм/год. В целом суммарная длительность периодов формирования почв разреза — 5080 лет, была в 2–5 раза больше, чем периодов накопления слоев аллювия — 2020 лет.

Сходные тренды в развитии почвенно-аллювиальных серий и в изменениях темпов аккумуляции наносов выявлены в пойме Москвы-реки (Alexandrovskiy et al., 2018).

Предложенные характерные скорости и интервалы времени для разных почв дний речных долин (табл. 1) имеют региональное значение и могут быть использованы при исследованиях в пределах центра Восточно-Европейской равнины, в лесостепи и на южной периферии лесной зоны, а также в регионах со сходной климатической обстановкой; но с меньшей точностью — в пределах всего умеренного пояса в сходных условиях гумидных и субгумидных ландшафтов.

Накопление аллювия в пойме – процесс неравномерный, для него характерны ритмичные колебания. Об этом свидетельствуют серии погребенных почв, которые распространены широко и встречаются в больших и в малых реках (Александровский и др., 1987; Mandel, 1992; Sycheva et al., 2003). Они ярко представлены в виде хорошо развитых почв, имеющих в пределах древних участков поймы, и слаборазвитых почв молодых участков. Например, в разрезах на рр. Ока и Сейм. Многие авторы считают, что появление погребенных почв в пойме связано с ритмичными колебаниями условий природной среды (Гласко, 1983; Сычева, Гласко, 2003), вместе с тем, имеются противоположные представления (Mandel, 1992). По нашему мнению, признаки подобной периодичности имеются, однако, возможны существенные отклонения от жестких хронологических схем (Alexandrovskiy et al., 2004, 2018).

## 5. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Предлагается почвенно-хронологический метод, сочетающий методы хронорядов почв и анализа педолитогенных тел, позволяющий достаточно надежно оценивать изменения темпов аккумуляции и давать их количественные характеристики. Это подтверждается при сопоставлении скоростей седиментации, полученных при использовании данного метода, со скоростями аккумуляции наносов в пойме, выявленными на основе радиоцезиевого и радиоуглеродного методов.

При совместном использовании почвенно-хронологических данных и результатов радиоуглеродного датирования возможна их взаимокоррекция и, на основе этого, построение более детальных схем развития седиментационных процессов в голоцене.

По данным изучения почвенно-аллювиальных серий на рр. Оке, Москве, Сейме, рассмотренных в данной статье, и других сходных объектов (Sycheva et al., 2003; Александровский, Александровская, 2005) выявляется: 1. Цикличность процессов накопления аллювия на пойме в голоцене – периоды активизации аккумуляции сменяются более продолжительными периодами низкой водной активности, отсутствия или низких темпов аккумуляции аллювия и формирования почв. 2. Влияние активизации земледелия на резкий рост темпов аккумуляции аллювия в последние века. 3. В целом климатическая предопределенность цикличности процессов аккумуляции в пойме даже в условиях высокой распаханности водосборов.

На основании изучения молодой, быстро нарастающей поймы р. Истры, отложения которой датированы на основе историко-археологических

материалов, получены новые уточненные данные о характерных скоростях седиментации в поймах центра Восточно-Европейской равнины: аллювий без признаков педогенеза формируется при скорости накопления более 15 мм/год, с признаками такого – 2–15 мм/год, кумулятивные почвы – при скорости 0.5–2 мм/год.

В результате исследований в днище долины среднего течения р. Сейм, на основе совместного использования результатов детального изучения серий почв, погребенных в аллювии поймы, их радиоуглеродного и радиоцезиевого датирования выявлена цикличность этапов усиления и снижения темпов аккумуляции наносов на пойме во второй половине голоцена с общим трендом роста процессов накопления аллювия за исследованный интервал времени. В доагрикультурный период средние скорости аккумуляции на пойме составляли 0.1 мм/год, что связано с доминированием лет с низкой водностью, когда пойма не затопивалась. Однако мы полагаем, что на конец атлантического периода голоцена пришелся этап повышенной водности продолжительностью 500–1000 лет, когда темпы аккумуляции достигали 0.7 мм/год. В агрикультурный период темпы возросли с максимумом в 1954–1963 гг., когда они достигли 23 мм/год.

По разрезу Никитино на р. Оке, который выделяется большой серией хорошо развитых палеочув, на основании  $^{14}\text{C}$  и археологических дат, установлены циклические колебания скорости седиментации в голоцене: во время усиления накопления пойменного аллювия она составляла около 2 мм/год, что в 14–28 раз выше, чем во время формирования почв – 0.07–0.14 мм/год.

## БЛАГОДАРНОСТИ

Исследование выполнено при финансовой поддержке проекта РФФИ № 19-29-05025мк. При обработке полевых материалов использовалась инфраструктура Института географии РАН в рамках темы госзадания № АААА-А19-119022190169-5 (FMGE-2019-0006) и НИ Лаборатории эрозии почв и русловых процессов, географического факультета МГУ в рамках темы госзадания № 1210511001664.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Александровский А.Л.* Этапы и скорость развития почв в поймах рек центра Русской равнины // Почвоведение. 2004. № 11. С. 1285–1295.
- Александровский А.Л.* Запись среды в почвах и отложениях поймы: модели педогенеза, скорость процессов, полнота летописи // Мат-лы Всерос. науч. конф. “Динамика современных экосистем в голоцене”. Пушкино: Ин-т физ.-хим. и биол. проблем почвоведения РАН, 2016. С. 7–10.

- Александровский А.Л., Александровская Е.И.* Эволюция почв и географическая среда. М.: Наука, 2005. 223 с.
- Александровский А.Л., Гласко М.П., Фоломеев Б.А.* Археолого-географические исследования погребенных пойменных почв как геохронологических уровней второй половины голоцена (на примере Средней Оки) // Бюлл. Комисс. по изуч. четвертич. периода. 1987. № 56. С. 123–128.
- Геннадиев А.Н.* Почвы и время: модели развития. М.: Изд-во МГУ, 1990. 230 с.
- Гласко М.П., Фоломеев Б.А.* Методика определения скоростей накопления пойменного аллювия равнинных рек по археолого-геоморфологическим данным (на примере долины Средней Оки) // Геоморфология. 1981. № 3. С. 26–36.
- Ершов И.Н., Александровский А.Л., Ершова Е.Г., Кренке Н.А., Панин А.В.* Пойма реки Истры у Ново-Иерусалимского монастыря: природно-археологический аспект исследования // Археология Подмосковья. Мат-лы науч. семинара. Вып. 10. М.: Ин-т археологии РАН, 2014. С. 217–235.
- Иванов И.В., Александровский А.Л.* Методы изучения эволюции почв // Почвоведение. 1987. № 1. С. 112–121.
- Кривоц В.А., Воробьев А.Ю., Водорезов А.В., Заовская Э.П.* Особенности формирования поймы реки Оки в ее среднем течении (на примере Спасского расширения) // Геоморфология. 2020. № 3. С. 56–71.
- Маркелов М.В., Голосов В.Н., Беляев В.Р.* Изменение скорости аккумуляции наносов на поймах малых рек в центре Русской равнины // Вестн. Моск. унта. Сер. 5. География. 2012. № 5. С. 70–76.
- Панин А.В., Сидорчук А.Ю., Баслеров С.В., Борисова О.К., Ковалюх Н.Н., Шеремецкая Е.Д.* Основные этапы истории речных долин центра Русской равнины в позднем валдае и голоцене: результаты исследований в среднем течении р. Сейм // Геоморфология. 2001. № 2. С. 19–34.
- Пространственно-временные закономерности развития современных процессов природно-антропогенной эрозии на Русской равнине / В. Н. Голосов, О. П. Ермолаев (ред.). Казань: Изд-во АН Республики Татарстан, 2019. 372 с.
- Сычева С.А., Гласко М.П.* Ритмичность осадконакопления и почвообразования на Среднерусской возвышенности в голоцене // Изв. РГО. 2003. Т. 135. Вып. 1. С. 45–57.
- Сычева С.А., Узянов А.А.* Динамика уровня р. Тускарь. Почвенные и археологические данные // Изучение и оптимизация водных ресурсов Курской области. Курск: Изд-во МФГО, 1987. С. 75–82.
- Таргульян В.О.* Теория педогенеза и эволюции почв. М.: ГЕОС, 2019. 296 с.
- Фоломеев Б.А., Александровский А.Л., Гласко М.П., Гуман М.А.* Климентовская стоянка (к вопросу о хозяйственной деятельности человека и развитии природной обстановки в долине Средней Оки) // Наследие В.А. Городцова и проблемы современной археологии / Тр. гос. Ист. музея. Вып. 68. 1988. С. 168–191.
- Чичагова О.А.* Радиоуглеродное датирование гумуса почв. М.: Наука, 1985. 158 с.
- Alexandrovskiy A., Ershova E., Ponomarenko E., Krenke N., and Skripkin V.* Floodplain paleosols of Moskva River basin: chronology and paleoenvironment // Radiocarbon. 2018. Vol. 60. No. 4. P. 1169–1184. <https://doi.org/10.1017/RDC.2018.73>
- Alexandrovskiy A.L., Glasko M.P., Krenke N.A., and Chichagova O.A.* Buried soils of floodplains and paleoenvironmental changes in the Holocene // Revista Mexicana de Ciencias Geologicas. 2004. Vol. 21. No. 1. P. 9–17.
- Alexandrovskiy A.L., van der Plicht J., Belinskiy A.B., and Khokhlova O.S.* Chronology of soil evolution and climatic changes in the dry steppe zone of the Northern Caucasus, Russia, during the 3rd millennium BC // Radiocarbon. 2001. Vol. 43. No. 2B. P. 629–635. <https://doi.org/10.1017/S003382220004128X>
- Amos K.A., Croke J.K., Timmers H., Owens Ph., and Thompson C.* The application of caesium-137 measurements to investigate floodplain deposition in a large semi-arid catchment in Queensland, Australia: low-fallout environment // Earth Surf. Process. Landforms. 2009. Vol. 34. P. 515–529. <https://doi.org/10.1002/esp.1749>
- Belyaev V.R., Golosov V.N., Markelov M.V., Evrard O., Ivanova N.N., Paramonova T.A., and Shamshurina E.N.* Using Chernobyl-derived <sup>137</sup>Cs to document recent sediment deposition rates on the River Plava floodplain (Central European Russia) // Hydrological Processes. 2013. Vol. 27. P. 781–794. <https://doi.org/10.1002/hyp.9461>
- Bettis III E.A., Benn D.W., and Hajic E.R.* Landscape evolution, alluvial architecture, environmental history, and the archaeological record of the Upper Missouri Valley // Geomorphology. 2008. Vol. 101. P. 362–377. <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2008.05.030>
- Bronk Ramsey C.* Bayesian analysis of radiocarbon dates // Radiocarbon. 2009. Vol. 51. No. 1. P. 337–360. [https://doi.org/10.2458/azu\\_js\\_rc.51.3494](https://doi.org/10.2458/azu_js_rc.51.3494)
- Brown A., Toms P., Carey C., and Rhodes E.* Geomorphology of the Anthropocene: Time-transgressive discontinuities of human-induced alluviation // Anthropocene. 2013. Vol. 1. P. 3–13. <https://doi.org/10.1016/j.ancene.2013.06.002>
- Dreibrodt S., Jarecki H., Lubos C., Khamnueva S.V., Klamm M., and Bork H-R.* Holocene soil formation and soil erosion at a slope beneath the Neolithic earthwork Salzmünde (Saxony-Anhalt, Germany) // Catena. 2013. Vol. 107. P. 1–14. <https://doi.org/10.1016/j.catena.2013.03.002>
- Dreibrodt S., Lubos C., Lomax J., Sipos G., Schroedter T., and Nelle O.* Holocene landscape dynamics at the tell Arslantepe, Malatya, Turkey – Soil erosion, buried soils and settlement layers, slope and river activity in a middle Euphrates catchment // The Holocene. 2014. Vol. 24. No. 10. P. 1351–1368. <https://doi.org/10.1177/0959683614540949>
- Golosov V., Aseeva E., Belyaev V., Markelov M., and Alyabieva A.* Redistribution of sediment and sediment-associated contaminants in the River Chern basin during the last 50 years. Erosion and Sediment Yields in the Changing Environment. Proceedings of a Symposium held in Chengdu, China, October 2012. IAHS Publ. No. 356. Wallingford, UK: IAHS Press, 2012. P. 12–19.



- Golosov V.N., Belyaev V.R., Markelov M.V., and Kislenko K.S.* Overbank sedimentation rates on the flood plains of small rivers in Central European Russia. Sediment Dynamics for a Changing Future. Proceedings of a Symposium held in Warsaw, Poland, June 2010. IAHS Publ. No. 337. Wallingford, UK: IAHS Press, 2010. P. 129–136.
- Golosov V., Konoplev A., Wakiyama Y., Ivanov M., and Komissarov M.* Erosion and Redeposition of Sediments and Sediment-Associated Radiocesium on River Floodplains (the Niida River Basin and the Abukuma River as an Example). Behavior of Radionuclides in the Environment III. Singapore: Springer, 2022. P. 97–133. <https://doi.org/10.1007/978-981-16-6799-2-7>
- Golosov V. and Panin A.* Century-scale stream network dynamics in the Russian plain in response to climate and land use change // *Catena*. 2006. Vol. 66. P. 74–92. <https://doi.org/10.1016/j.catena.2005.07.011>
- Hobo N., Makaske B., Middelkoop H., and Wallinga J.* Reconstruction of floodplain sedimentation rates: a combination of methods to optimize estimates. *Earth Surface // Processes and Landforms*. 2010. Vol. 35. P. 1499–1515. <https://doi.org/10.1002/esp.1986>
- Hoffmann T., Erkens G., Gerlach R., Klostermann J., and Lang A.* Trends and controls of Holocene floodplain sedimentation in the Rhine catchment // *Catena*. 2009. Vol. 77. No. 2. P. 96–106. <https://doi.org/10.1016/j.catena.2008.09.002>
- Holliday V.T.* Soil Formation, Time, and Archaeology. Soils in Archaeology. Landscape Evolution and Human Occupation. Washington & London: Smithsonian Institution press, 1992. P. 101–117.
- Hupp C.R., Schenk E.R., Kroes D.E., Willard D.A., Townsend P.A., and Peet R.K.* Patterns of floodplain sediment deposition along the regulated lower Roanoke River, North Carolina: annual, decadal, centennial scales // *Geomorphology*. 2015. Vol. 228. P. 666–680. <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2014.10.023>
- Kalicki T., Sauchy S., Calderoni G., and Simakova G.* Climatic versus human impact on the Holocene sedimentation in river valleys of different order: examples from the upper Dnieper basin, Belarus // *Quaternary International*. 2008. Vol. 189. No. 1. P. 91–105. <https://doi.org/10.1016/j.quaint.2007.09.028>
- Knox J.C.* Floodplain sedimentation in the Upper Mississippi Valley: natural versus human accelerated // *Geomorphology*. 2006. Vol. 79. P. 286–310. <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2006.06.031>
- Lespez L., Clet-Pellerin M., Limondin-Lozouet N., Pastre J.-F., Fontugne M., and Marcigny C.* Fluvial system evolution and environmental changes during the Holocene in the Mue valley (Western France) // *Geomorphology*. 2008. Vol. 98. P. 55–70. <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2007.02.029>
- Mandel R.D.* Soils and Holocene Landscapes Evolution in Central and Southwestern Kansas: Implications for Archaeological Research. Soils in archaeology: landscape evolution and human occupation (edited by V.T. Holliday), Washington-London, Smithsonian institution press, 1992. P. 41–100.
- Miao X., Mason J.A., Johnson W.C., and Wang H.* High-resolution proxy record of Holocene climate from a loess section in southwestern Nebraska, USA // *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*. 2007. Vol. 245. No. 3–4. P. 368–381. <https://doi.org/10.1016/j.palaeo.2006.09.004>
- Muhs D.R., Bettis E.A., Aleinikoff J.N., McGeehin J., Beann J., Skipp G., Marshall B.D., Roberts H.M., Johnson W.C., and Benton R.* Origin and paleoclimatic significance of late Quaternary loess in Nebraska: Evidence from stratigraphy, chronology, sedimentology, and geochemistry // *GSA Bulletin*. 2008. Vol. 20. No. 11–12. P. 1378–1407. <https://doi.org/10.1130/B26221.1>
- Notebaert B. and Verstraeten G.* Sensitivity of West and Central European River systems to environmental changes during the Holocene // *Earth-Sci. Rev.* 2010. No. 103. P. 163–182. <https://doi.org/10.1016/j.earscirev.2010.09.009>
- Reimer P., Austin Wen., Bard E., Bayliss A., Blackwell P.G., Bronk Ramsey C., Butzin M., Hai Cheng., Edwards R.L., Friedrich M., Grootes P.M., Guilderson T.P., Hajdas I., Heaton T.J., Hogg A.G., Hughen K.A., Kromer B., Manning S.W., Muscheler R., Palmer J.G., Pearson C., van der Plicht J., Reimer R.W., Richards D.A., Scott E.M., Southon J.R., Turney C.S.M., Wacker L., Adolphi F., Büntgen U., Capano M., Fahrni S., Fogtmann-Schulz A., Friedrich R., Köhler P., Kudsk S., Miyake F., Olsen J., Reinig F., Sakamoto M., Sookdeo A., and Talamo S.* The IntCal20 Northern Hemisphere Radiocarbon Age Calibration Curve (0–55 cal kBP) // *Radiocarbon*. 2020. Vol. 62. No. 4. P. 725–757. <https://doi.org/10.1017/RDC.2020.41>
- Stevens P.R. and Walker T.W.* The chronosequence concept and soil formation // *Quart. Review Biol.* 1970. Vol. 45. No. 4. P. 333–350.
- Sycheva S., Glasko M., and Chichagova O.* Holocene rhythms of soil formation and sedimentation in the central Russian upland // *Quaternary International*. 2003. Vol. 106–107. P. 203–213. [https://doi.org/10.1016/S1040-6182\(02\)00173-8](https://doi.org/10.1016/S1040-6182(02)00173-8)
- Tsybarovich P., Kust G., Kumani M., Golosov V., and Andreeva O.* Soil erosion: An important indicator for the assessment of land degradation neutrality in Russia // *International Soil and Water Conservation Research*. 2020. Vol. 8. No. 4. P. 418–429. <https://doi.org/10.1016/j.iswcr.2020.06.002>
- Walling D.E. and He Q.* The spatial variability of overbank sedimentation on river floodplains // *Geomorphology*. 1998. Vol. 24. P. 209–223. [https://doi.org/10.1016/S0169-555X\(98\)00017-8](https://doi.org/10.1016/S0169-555X(98)00017-8)
- Walling D.E. and He Q.* Use of fallout <sup>137</sup>Cs in investigations of overbank sediment deposition on river floodplains // *Catena*. 1997. Vol. 29. P. 263–282. [https://doi.org/10.1016/S0341-8162\(96\)00072-0](https://doi.org/10.1016/S0341-8162(96)00072-0)
- Walling D.E., Owens P.N., and Leeks G.J.L.* The role of channel and floodplain storage in the suspended sediment budget of the River Ouse, Yorkshire, UK // *Geomorphology*. 1998. Vol. 22. P. 225–242. [https://doi.org/10.1016/S0169-555X\(97\)00086-X](https://doi.org/10.1016/S0169-555X(97)00086-X)

# SEDIMENTATION RATES ON THE FLOODPLAINS OF LOWLAND RIVERS IN THE CENTER OF THE EUROPEAN PART OF RUSSIA ACCORDING TO THE STUDY OF SOIL-ALLUVIAL CHRONOSEQUENCES<sup>1</sup>

A. L. Aleksandrovskii<sup>a, #</sup>, V. N. Golosov<sup>a, b</sup>, and I. V. Zamotaev<sup>a</sup>

<sup>a</sup>*Institute of Geography RAS, Moscow, Russia*

<sup>b</sup>*Lomonosov Moscow State University, Faculty of Geography, Moscow, Russia*

<sup>#</sup>*E-mail: alexandrovski@igras.ru*

The floodplain deposition rates for the Istra, Oka and Seim rivers valleys were estimated based on a combination of dating methods (radiocarbon, radiocesium and historical-archaeological) for various time windows of the Holocene. In addition, a new method to estimated sedimentation rate, based on the assessment of the degree of soil profile development of paleosols buried in alluvium was applied. Spatio-temporal differences in the rates of floodplain sedimentation have been established based on chronological and soil-geomorphological studies. It was found that sedimentation rates on the young floodplain of Seim and Istra rivers is 1.8–23 mm year<sup>-1</sup>, 2–15 mm year<sup>-1</sup>, respectively. While on the ancient floodplains of Oka and Seim rivers during different periods, the floodplain deposition rate varied within the range of 0.01–0.7 mm year<sup>-1</sup>. The periods of increased sedimentation rates were short in time. Based on the study of a young, rapidly growing Istra River floodplain, the deposits of which are dated on the basis of historical and archaeological materials, new sedimentation rates that characterize the floodplains of the center part of the East European Plain were obtained: alluvium without signs of pedogenesis is formed at a sedimentation rate of more than 15 mm year<sup>-1</sup>, with signs of pedogenesis at a rate of 2–15 mm year<sup>-1</sup>, cumulative soils at a rate of 0.5–2 mm year<sup>-1</sup>. Cyclic fluctuations in the sedimentation rate in the Holocene were established on the basis of <sup>14</sup>C and archaeological dates for to the Nikitino section located on the Oka River floodplain, where a large series of well-developed paleosols were distinguished. It was found that during periods with active accumulation of alluvium layers, sedimentation rate was about 2 mm year<sup>-1</sup>, which is 20 times higher than in longer periods soil formation, when sedimentation rates were 0.07–0.14 mm yr<sup>-1</sup>.

**Keywords:** alluvium, sedimentation rate, paleosols, pedogenesis rate, radiocesium and radiocarbon methods, Holocene

## ACKNOWLEDGEMENTS

This study is supported by Russian Fund for Basic Research (project No. 19-29-05025mk). Field data processing was performed under the facilities of the Institute of Geography RAS, State Research Task No. AAAA-A19-119022190169-5 (FMGE-2019-0006), and Scientific Laboratory for Soil Erosion and Fluvial Processes, Faculty of Geography Lomonosov Moscow State University, State Research Task No. 1210511001664.

## REFERENCES

- Aleksandrovskii A.L. Phases and Rates of Soil Evolution within River Floodplains in the center of the Russian Plain. *Eurasian Soil Science*. 2004. Vol. 37. No. 11. P. 1137–1146.
- Aleksandrovskii A.L. Recording of the environment in floodplain soils and sediments: models of pedogenesis, rate of processes, completeness of the chronicle. *Mat-ly nauch. konf. Puschino: Institute of Physicochemical and Biological Problems in Soil Science RAS (Publ.)*, 2016. P. 7–10. (in Russ.)
- Aleksandrovskii A.L. and Alexandrovskaya E.I. *Evolutsiya pochv i geograficheskaya sreda* (Soil evolution and geographic environment). Moscow: Nauka (Publ.), 2008. 608 p. (in Russ.)
- Aleksandrovskiy A., Ershova E., Ponomarenko E., Krenke N., and Skripkin V. Floodplain paleosols of Moskva River basin: chronology and paleoenvironment. *Radiocarbon*. 2018. Vol. 60. No. 4. P. 1169–1184. <https://doi.org/10.1017/RDC.2018.73>
- Aleksandrovskiy A.L., Glasko M.P., and Folomeev B.A. Geoarchaeological studies of buried floodplain soils as geochronological levels of the second half of Holocene (Middle Oka River). *Bulletin of the Commission for Study of the Quaternary*. 1987. No. 56. P. 123–128. (in Russ.)
- Aleksandrovskiy A.L., Glasko M.P., Krenke N.A., and Chichagova O.A. Buried soils of floodplains and paleoenvironmental changes in the Holocene. *Revista Mexicana de Ciencias Geologicas*. 2004. Vol. 21. No. 1. P. 9–17.
- Aleksandrovskiy A.L., van der Plicht J., Belinskiy A.B., and Khokhlova O.S. Chronology of soil evolution and climatic changes in the dry steppe zone of the Northern Caucasus, Russia, during the 3<sup>rd</sup> millennium BC. *Radiocarbon*. 2001. Vol. 43. No. 2B. P. 629–635. <https://doi.org/10.1017/S003382220004128X>

<sup>1</sup> For citation: Aleksandrovskii A.L., Golosov V.N., Zamotaev I.V. 2023. Sedimentation rates on the floodplains of lowland rivers in the center of the European part of Russia according to the study of soil-alluvial chronosequences. *Geomorfologiya i Paleogeografiya*, vol. 54, no. 1, pp. 17–36 (in Russian). <https://doi.org/10.31857/S0435428123010030>; <https://elibrary.ru/GPIMSP>

- Amos K.A., Croke J.K., Timmers H., Owens Ph., and Thompson C. The application of caesium-137 measurements to investigate floodplain deposition in a large semi-arid catchment in Queensland, Australia: low-fallout environment. *Earth Surf. Process. Landforms*. 2009. Vol. 34. P. 515–529.  
<https://doi.org/10.1002/esp.1749>
- Belyaev V.R., Golosov V.N., Markelov M.V., Evrard O., Ivanova N.N., Paramonova T.A., and Shamshurina E.N. Using Chernobyl-derived <sup>137</sup>Cs to document recent sediment deposition rates on the River Plava floodplain (Central European Russia). *Hydrological Processes*. 2013. Vol. 27. P. 781–794.  
<https://doi.org/10.1002/hyp.9461>
- Bettis III E.A., Benn D.W., and Hajic E.R. Landscape evolution, alluvial architecture, environmental history, and the archaeological record of the Upper Missouri Valley. *Geomorphology*. 2008. Vol. 101. P. 362–377.  
<https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2008.05.030>
- Bronk Ramsey C. Bayesian analysis of radiocarbon dates. *Radiocarbon*. 2009. Vol. 51. No. 1. P. 337–360.  
[https://doi.org/10.2458/azu\\_js\\_rc.51.3494](https://doi.org/10.2458/azu_js_rc.51.3494)
- Brown A., Toms P., Carey C., and Rhodes E. Geomorphology of the Anthropocene: Time-transgressive discontinuities of human-induced alluviation. *Anthropocene*. 2013. Vol. 1. P. 3–13.  
<https://doi.org/10.1016/j.ancene.2013.06.002>
- Chichagova O.A. *Radiouglerodnoe datirovanie gumusa pochv* (Radiocarbon dating humus soils). Moscow: Nauka (Publ.), 1985. 158 p. (in Russ.)
- Dreibrodt S., Jarecki H., Lubos C., Khamnueva S.V., Klamn M., and Bork H-R. Holocene soil formation and soil erosion at a slope beneath the Neolithic earthwork Salzmünde (Saxony-Anhalt, Germany). *Catena*. 2013. Vol. 107. P. 1–14.  
<http://dx.doi.org/10.1016/j.catena.2013.03.002>
- Dreibrodt S., Lubos C., Lomax J., Sipos G., Schroedter T., and Nelle O. Holocene landscape dynamics at the tell Arslantepe, Malatya, Turkey – Soil erosion, buried soils and settlement layers, slope and river activity in a middle Euphrates catchment. *The Holocene*. 2014. Vol. 24. No. 10. P. 1351–1368.  
<https://doi.org/10.1177/0959683614540949>
- Ershov I.N., Aleksandrovskii A.L., Ershova E.G., Krenke N.A., and Panin A.V. Istra River floodplain near the New Jerusalem Monastery: the natural-archaeological aspect of the study. *Arkheologiya Podmoskov'ya: Materialy nauchnogo seminara. Issue 10*. Moscow: Institute of Archaeology RAS, 2014. P. 217–235. (in Russ.)
- Folomeev B.A., Aleksandrovskiy A.L., Glasko M.P., and Guman M.A. Klimentovskaya camp (on the question of human economic activity and the development of the natural environment in the Middle Oka valley). *Nasledie V.A. Gorodtsova i problemy sovremennoi arkheologii. Tr. Gos. Ist. muzeya. Issue 68*. 1988. P. 168–191. (in Russ.)
- Gennadiev A.N. *Pochvy i vremena: modeli razvitiya* (Soils and time: models of development). Moscow: Moscow State University (Publ.), 1990. 230 p. (in Russ.)
- Glasko M.P. and Folomeev B.A. Methodology for Determining the Accumulation Rates of Floodplain Alluvium in Plain Rivers Based on Archaeological and Geomorphological Data (Middle Oka Valley). *Geomorfologiya*. 1981. No. 3. P. 26–36. (in Russ.)
- Golosov V., Aseeva E., Belyaev V., Markelov M., and Alyabieva A. Redistribution of sediment and sediment-associated contaminants in the River Chern basin during the last 50 years. Erosion and Sediment Yields in the Changing Environment. Proceedings of a Symposium held in Chengdu, China, October 2012. IAHS Publ. No. 356. Wallingford, UK: IAHS Press, 2012. P. 12–19.
- Golosov V., Konoplev A., Wakiyama Y., Ivanov M., and Komissarov M. Erosion and Redeposition of Sediments and Sediment-Associated Radiocesium on River Floodplains (the Niida River Basin and the Abukuma River as an Example). *Behavior of Radionuclides in the Environment III*. Singapore: Springer, 2022. P. 97–133.  
<https://doi.org/10.1007/978-981-16-6799-2-7>
- Golosov V. and Panin A. Century-scale stream network dynamics in the Russian plain in response to climate and land use change. *Catena*. 2006. Vol. 66. P. 74–92.  
<https://doi.org/10.1016/j.catena.2005.07.011>
- Golosov V.N., Belyaev V.R., Markelov M.V., and Kislenko K.S. Overbank sedimentation rates on the flood plains of small rivers in Central European Russia. Sediment Dynamics for a Changing Future. Proceedings of a Symposium held in Warsaw, Poland, June 2010. IAHS Publ. No. 337. Wallingford, UK: IAHS Press, 2010. P. 129–136.
- Golosov V.N. and Yermolaev O.P. *Prostranstvenno-vremennye zakonomernosti razvitiya sovremennykh protsessov prirodno-antropogennoi erozii na Russkoi ravnine* (The spatio-temporal patterns of the development of modern processes of natural-anthropogenic erosion on the Russian plain). Kazan: Academy of Sciences of the Republic of Tatarstan (Publ.), 2019. 372 p. (In Russ.)
- Hobo N., Makaske B., Middelkoop H., and Wallinga J. Reconstruction of floodplain sedimentation rates: a combination of methods to optimize estimates. *Earth Surface. Processes and Landforms*. 2010. Vol. 35. P. 1499–1515.  
<https://doi.org/10.1002/esp.1986>
- Hoffmann T., Erkens G., Gerlach R., Klostermann J., and Lang A. Trends and controls of Holocene floodplain sedimentation in the Rhine catchment. *Catena*. 2009. Vol. 77. No. 2. P. 96–106.  
<https://doi.org/10.1016/j.catena.2008.09.002>
- Holliday V.T. Soil Formation, Time, and Archaeology. Soils in Archaeology. Landscape Evolution and Human Occupation. Washington & London: Smithsonian Institution press, 1992. P. 101–117.
- Hupp C.R., Schenk E.R., Kroes D.E., Willard D.A., Townsend P.A., and Peet R.K., Patterns of floodplain sediment deposition along the regulated lower Roanoke River, North Carolina: annual, decadal, centennial scales. *Geomorphology*. 2015. Vol. 228. P. 666–680.  
<https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2014.10.023>
- Ivanov I.V. and Aleksandrovskiy A.L. Methods for the study of the evolution of soils. *Soviet Soil Sci*. 1987. Vol. 19. No. 3. P. 90–101.
- Kalicki T., Sauchyk S., Calderoni G., and Simakova G. Climatic versus human impact on the Holocene sedimentation in river valleys of different order: examples from the upper Dnieper basin, Belarus. *Quaternary International*. 2008. Vol. 189. No. 1. P. 91–105.  
<https://doi.org/10.1016/j.quaint.2007.09.028>

- Knox J.C. Floodplain sedimentation in the Upper Mississippi Valley: natural versus human accelerated. *Geomorphology*. 2006. Vol. 79. P. 286–310.  
<https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2006.06.031>
- Krivtsov V.A., Vorobyov A.Yu., Vodorezov A.V., and Zazovskaya E.P. Features of the formation of the floodplain of the Oka River in its middle course (Spassky expansion). *Geomorfologiya*. 2020. No. 3. P. 56–71. (in Russ.)
- Lespez L., Clet-Pellerin M., Limondin-Lozouet N., Pastre J.-F., Fontugne M., and Marcigny C. Fluvial system evolution and environmental changes during the Holocene in the Mue valley (Western France). *Geomorphology*. 2008. Vol. 98. P. 55–70.  
<https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2007.02.029>
- Mandel R.D. Soils and Holocene Landscapes Evolution in Central and Southwestern Kansas: Implications for Archaeological Research. *Soils in archaeology: landscape evolution and human occupation* (edited by V.T. Holliday). Washington-London: Smithsonian institution press, 1992. P. 41–100.
- Markelov M.V., Golosov V.N., and Belyaev V.R. Changes in the rate of sediment accumulation on the floodplains of small rivers in the center of the Russian Plain. *Vestnik Mosk. un-ta. Ser. 5. Geografiya*. 2012. No. 5. P. 70–76. (in Russ.)
- Miao X., Mason J.A., Johnson W.C., and Wang H. High-resolution proxy record of Holocene climate from a loess section in southwestern Nebraska, USA. *Palaogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*. 2007. Vol. 245. No. 3–4. P. 368–381.  
<https://doi.org/10.1016/j.palaeo.2006.09.004>
- Muhs D.R., Bettis E.A., Aleinikoff J.N., McGeehin J., Beann J., Skipp G., Marshall B.D., Roberts H.M., Johnson W.C., and Benton R. Origin and paleoclimatic significance of late Quaternary loess in Nebraska: Evidence from stratigraphy, chronology, sedimentology, and geochemistry. *GSA Bulletin*. 2008. Vol. 20. No. 11–12. P. 1378–1407.  
<https://doi.org/10.1130/B26221.1>
- Notebaert B. and Verstraeten G. Sensitivity of West and Central European River systems to environmental changes during the Holocene. *Earth-Sci. Rev.* 2010. Vol. 103. P. 163–182.  
<https://doi.org/10.1016/j.earscirev.2010.09.009>
- Panin A.V., Sidorchuk A.Yu., Baslerov S.V., Borisova O.K., Kovalyukh N.N., and Sheremetskaya E.D. The main stages of the history of the river valleys of the center of the Russian plain in the late Valdai and Golotsen: the results of research in the middle reaches of the river Sejm. *Geomorfologiya*. 2001. No. 2. P. 19–34. (in Russ.)
- Reimer P., Austin Wen., Bard E., Bayliss A., Blackwell P.G., Bronk Ramsey C., Butzin M., Hai Cheng., Edwards R.L., Friedrich M., Grootes P.M., Guilderson T.P., Hajdas I., Heaton T.J., Hogg A.G., Hughen K.A., Kromer B., Manning S.W., Muscheler R., Palmer J.G., Pearson C., van der Plicht J., Reimer R.W., Richards D.A., Scott E.M., Southon J.R., Turney C.S.M., Wacker L., Adolphi F., Büntgen U., Capano M., Fahrni S., Fogtmann-Schulz A., Friedrich R., Köhler P., Kudsk S., Miyake F., Olsen J., Reinig F., Sakamoto M., Sookdeo A., and Talamo S. The IntCal20 Northern Hemisphere Radiocarbon Age Calibration Curve (0–55 cal kBP). *Radiocarbon*. 2020. Vol. 62. No. 4. P. 725–757.  
<https://doi.org/10.1017/RDC.2020.41>
- Stevens P.R. and Walker T.W. The chronosequence concept and soil formation. *Quart. Review Biol.* 1970. Vol. 45. No. 4. P. 333–350.
- Sycheva S., Glasko M., and Chichagova O. Holocene rhythms of soil formation and sedimentation in the central Russian upland. *Quaternary International*. 2003. Vol. 106–107. P. 203–213.  
[https://doi.org/10.1016/S1040-6182\(02\)00173-8](https://doi.org/10.1016/S1040-6182(02)00173-8)
- Sycheva S.A. and Glasko M.P. The rhythm of sedimentation and soil formation on the Central Russian Upland in the Holocene. *Izv. RGO*. 2003. Vol. 135. Issue 1. P. 45–57 (in Russ.)
- Sycheva S.A. and Uzyanov A.A. Dynamics of the level of the Tuscara River. Soil and archaeological data. *Izucheniye i optimizatsiya vodnykh resursov Kurskoy oblasti*. Kursk: Izd. MFGO (Publ.), 1987. P. 75–82. (in Russ.)
- Targulian V.O. *Teoriya pedogeneza i evolyutsii pochv* (Theory of pedogenesis and soil change in time). Moscow: GEOS (Publ.), 2019. 296 p. (in Russ.)
- Tsymbarovich P., Kust G., Kumani M., Golosov V., and Andreeva O. Soil erosion: An important indicator for the assessment of land degradation neutrality in Russia. *International Soil and Water Conservation Research*. 2020. Vol. 8. No. 4. P. 418–429.  
<https://doi.org/10.1016/j.iswcr.2020.06.002>
- Walling D.E. and He Q. The spatial variability of overbank sedimentation on river floodplains. *Geomorphology*. 1998. Vol. 24. P. 209–223.  
[https://doi.org/10.1016/S0169-555X\(98\)00017-8](https://doi.org/10.1016/S0169-555X(98)00017-8)
- Walling D.E. and He Q. Use of fallout <sup>137</sup>Cs in investigations of overbank sediment deposition on river floodplains. *Catena*. 1997. Vol. 29. P. 263–282.  
[https://doi.org/10.1016/S0341-8162\(96\)00072-0](https://doi.org/10.1016/S0341-8162(96)00072-0)
- Walling D.E., Owens P.N., and Leeks G.J.L. The role of channel and floodplain storage in the suspended sediment budget of the River Ouse, Yorkshire, UK. *Geomorphology*. 1998. Vol. 22. P. 225–242.  
[https://doi.org/10.1016/S0169-555X\(97\)00086-X](https://doi.org/10.1016/S0169-555X(97)00086-X)