

## ПРИМЕНЕНИЕ ЦИФРОВЫХ ТЕХНОЛОГИЙ ПРИ ИЗУЧЕНИИ ВОДНОЙ ЭРОЗИИ ПОЧВ ЗАПАДНОЙ СИБИРИ

<sup>1</sup>Савельева Д.А., <sup>2</sup>Каличкин В.К.

<sup>1</sup>Сибирский научно-исследовательский институт сельского хозяйства и торфа – филиал Сибирского федерального научного центра агробиотехнологий Российской академии наук  
Томск, Россия

<sup>2</sup>Сибирский федеральный научный центр агробиотехнологий Российской академии наук  
Новосибирская область, р.п. Краснообск, Россия

Для цитирования: Савельева Д.А., Каличкин В.К. Применение цифровых технологий при изучении водной эрозии почв Западной Сибири // Сибирский вестник сельскохозяйственной науки. 2019. Т. 49 № 4. С. 86–100. DOI: 10.26898/0370-8799-2019-4-10

For citation: Savelieva D.A., Kalichkin V.K. Primenenie tsifrovyykh tekhnologii pri izuchenii vodnoi erozii pochv Zapadnoi Sibiri [Application of digital technologies in the study of water erosion of soils in Western Siberia]. *Sibirskii vestnik sel'skokhozyaistvennoi nauki* [Siberian Herald of Agricultural Science], 2019, vol. 49, no. 4, pp. 86–100. DOI: 10.26898/0370-8799-2019-4-10

### Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

### Conflict of interest

The authors declare no conflict of interest.

Проведен анализ изучения водной эрозии почв на территории Западно-Сибирской равнины с использованием геоинформационных технологий (ГИС) и средств дистанционного зондирования Земли. Показано, что ГИС и средства дистанционного зондирования Земли не имеют широкого применения в эрозиоведении Западной Сибири и используются ограниченным числом современных исследователей. Однако использование цифровых технологий на данной территории характеризуется охватом почти полного спектра их возможностей и функций: цифрового картографирования, формирования пространственно-распределенных тематических баз данных, мониторинга, пространственно-временного анализа, моделирования, автоматизированного картографирования. Основная масса таких исследований сконцентрирована в пределах Новосибирской и Омской областей, в Алтайском крае, в меньшей степени в Томской и Кемеровской областях. Цифровые технологии при изучении водной эрозии на территории Западной Сибири чаще находят применение в исследовании зависимости водной эрозии от определяющих ее

## APPLICATION OF DIGITAL TECHNOLOGIES IN THE STUDY OF WATER EROSION OF SOILS IN WESTERN SIBERIA

<sup>1</sup>Savelieva D.A., <sup>2</sup>Kalichkin V.K.

<sup>1</sup>Siberian Research Institute of Agriculture and Peat – Branch of Siberian Federal Scientific Centre of Agro-BioTechnologies of the Russian Academy of Sciences  
Toms, Russia

<sup>2</sup>Siberian Federal Scientific Centre of Agro-BioTechnologies of the Russian Academy of Sciences  
Krasnoobsk, Novosibirsk region, Russia

The analysis of the study of water erosion of soils on the territory of the West Siberian Plain using geo-information technologies (GIS) and Earth remote sensing was carried out. It is shown that GIS and Earth remote sensing are not widely used in erosion studies in Western Siberia and are used by a limited number of modern researchers. However, the use of digital technologies in this area is characterized by the coverage of almost the full range of their capabilities and functions: digital mapping, the formation of spatially-distributed thematic databases, monitoring, space-time analysis, modeling, automated mapping. The bulk of such research is concentrated mainly within the Novosibirsk and Omsk regions, in the Altai Territory, and to a lesser extent in the Tomsk and Kemerovo regions. Digital technologies for studying water erosion in Western Siberia are more often used to study the dependence of water erosion on its determining factors (mainly topography), the effect of water erosion on soils and

факторов (в основном рельефа), влияния водной эрозии на почвы и почвенный покров, при морфометрическом анализе рельефа, классификации и картографировании земель. Практически не затронута проблема дистанционного мониторинга временной динамики водной эрозии и связанных с ней изменений рельефа, почвенного покрова, свойств почв и другое. Требуют доработки вопросы геоинформационного моделирования водной эрозии в части проработки детализации и масштаба, охвата большего количества территорий. При моделировании водной эрозии не всегда учитывается характер поверхностного стока. Не вполне ясным является подход к выбору критериев оценки эрозионных земель при разных масштабах их картографирования. Открытым остается вопрос разработки методики автоматизированного расчета нормативов допустимых эрозионных потерь почвы. Применение средств дистанционного зондирования Земли и ГИС в изучении водной эрозии почв Западной Сибири не является систематическим и всеобъемлющим. Это подтверждается наличием ряда проблем изучения водной эрозии на данной территории, требующих цифрового подхода к их решению.

**Ключевые слова:** водная эрозия, цифровые технологии, ГИС, мониторинг, моделирование, картографирование

Развитие цифровых технологий, в частности ГИС, в середине XX в. способствовало возникновению нового подхода к изучению водной эрозии почв – геоинформационному моделированию этого процесса и связанных с ним аспектов. Этот подход определил роль цифровых технологий не только в изучении фундаментальных вопросов водной эрозии, но и в ее мониторинге, прогнозе, принятии управленческих решений при планировании и реализации почвозащитных мероприятий. Впервые геоинформационные технологии в моделиро-

soil cover, in morphometric analysis of the relief, land classification and mapping. The problem of remote monitoring of the temporal dynamics of water erosion and related changes in topography, soil cover, soil properties, etc. is practically not dealt with. The issues of geoinformational modeling of water erosion in terms of elaboration of detail and scale, and coverage of a larger number of areas require further development. When modeling water erosion, the nature of surface runoff is not always taken into account. The approach to the selection of criteria for the assessment of erosional land at different scales of their mapping is not entirely clear. It remains an open question to develop a methodology for the automated calculation of standards for permissible erosional losses of soil. In general, the use of Earth remote sensing and GIS facilities in the study of water erosion in the soils of Western Siberia is not systematic and comprehensive. This is confirmed by the presence of a number of problems in the study of water erosion in the given area, which requires a digital approach to their solution.

**Keywords:** water erosion, digital technologies, GIS, monitoring, modeling, mapping

вании эрозионного процесса применены в США М.А. Spanner et al. в 1983 г.<sup>1</sup> [1].

Это была первая попытка использовать ГИС для моделирования водной эрозии и оценки эрозионных потерь, пространственная реализация Универсального уравнения потерь почвы (USLE). В настоящее время данная модель используется для оценки развития эрозии в 109 странах мира. Интересным представляется тот факт, что при наличии множества модификаций USLE ни одна из них не может считаться ведущей, поскольку все они используются в зависи-

<sup>1</sup>Spanner M.A., Strahler A.H. Estes J.E. Soil loss prediction in a Geographic Information System Format. In Papers Selected for Presentation at the Seventeenth International Symposium on Remote Sensing of Environment. 89–102. 2–9 June 1982. Buenos Aires, Argentina. Ann Arbor, Mich., 1983. 14 p.

мости от наличия данных и по необходимости в рамках конкретного исследования или проекта, о чем пишут С. Alewell et al. [2]. Известны примеры реализаций и других математических моделей водной эрозии и их последующих модификаций, выполненных с использованием различных ГИС-пакетов, например динамическая Лимбургская модель водной эрозии почвы, разработка модели склонового эрозионного процесса на основе численного интегрирования системы уравнений диффузионной волны [1] и др.

В СССР эти методы стали применять 12 годами позже. Исключительно быстрое развитие ГИС наблюдалось в 90-х годах XX в., что создало предпосылки для их внедрения в эрозиоведение на территории постсоветского пространства. Одним из первых на территории стран бывшего СССР новые возможности, открываемые ГИС перед математическим моделированием водной эрозии, увидел Г.И. Швец [3]. Еще в начале 90-х годов XX в. им с соавт. опубликованы материалы, посвященные теоретическим и методологическим аспектам применения ГИС при обосновании рационального использования эрозионно-опасных земель<sup>2,3</sup> [4]. В 1995 г. А.А. Светличным<sup>4</sup> в рамках выполнения квалификационной работы впервые выполнено теоретическое обоснование и пространственная ГИС-реализация модифицированного варианта логико-математической модели смыва почвы Г.И. Швецса.

Основная масса современных исследований данной проблематики в России сконцентрирована на Европейской территории страны (ЕТР). В настоящее время эти исследования охватывают весь спектр возможностей и функций ГИС и средств дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ), включая использование технологий искусственного

интеллекта. Приведем наиболее часто используемые области цифровых технологий в эрозиоведении: изучение пространственно-временной динамики и интенсивности водной эрозии, ее влияния на почвенный покров территории; геоинформационное моделирование процессов; оценка состояния агроландшафтов, морфометрический анализ рельефа; оценка эрозионного потенциала рельефа; оценка эродированности почвы; поиск взаимосвязей между характеристиками эрозионного процесса и определяющими его факторами; агроэкологическая оценка земель, их типизация; картографирование; определение допустимых норм эрозионных потерь; разработка проектов рационального землепользования и проектирование почвозащитных мероприятий. При этом пространственное ГИС-моделирование водной эрозии является одним из приоритетных направлений в эрозионной тематике.

Цель исследования – осуществить анализ проведенных исследований по применению цифровых технологий относительно водной эрозии почв на территории Западной Сибири и сформулировать наиболее актуальные проблемы для будущего изучения.

В Западной Сибири при изучении водной эрозии ГИС используют не так широко, как на Европейской территории страны, и в целом гораздо меньше, чем материалы космической съемки. При этом в мире изучение эрозии почв с помощью ГИС и ДЗЗ проводят довольно активно. Большое внимание уделяется моделированию и выведению отдельных факторов Универсального уравнения потерь почвы и его модификаций, таких как RUSLE [5] в среде ГИС. Однако в этом направлении отмечается необходимость уделить особое внимание оценке ошибок параметров модели, полученных дистанционными

<sup>2</sup>Shvebs H.I., Svetlitchnyi A.A., Plotnitsky S.V. Elaboration of decision support system for optimization of land resources, using GIS // J.J. Harts, H.F.L. Ottens, H.J. Scholten (eds), EGIS / MARI'94 Conference Proceedings, Utrecht-Amsterdam: EGIS Foundation, 1994. P. 1876–1883.

<sup>3</sup>Svetlichnyi A., Yegorkin I., Shvebs H., Lisetsky F. Object-oriented approach in designing optimal agrolandscape based upon GIS // J.J. Harts, H.F.L. Ottens, H.J. Scholten (eds), EGIS'92 Conference Proceedings, vol. 1. EGIS Foundation, Utrecht / Amsterdam, The Netherlands, 1992. P. 423–430.

<sup>4</sup>Світличний О.О. Кількісна оцінка характеристик схилового ерозійного процесу і питання оптимізації використання ерозійно небезпечних земель: автореф. дис. д-ра геогр. наук. Одеса: Одеськ. держ. ун-т, 1995. 47 с.

ми методами. Ряд зарубежных исследований [6–9] направлен на изучение водной эрозии почв, ее мониторинга с использованием цифровых технологий в среднем и крупном масштабах. Совершены попытки прогнозирования развития эрозии в краткосрочной перспективе (до 2030 г.) [6]. Однако таких исследований относительно немного. Как отмечают Т.К. Sepuru, Т. Dube [10], несмотря на все усилия, направленные на количественную оценку развития водной эрозии почв и широкий спектр цифровых возможностей, основное внимание уделяется мелкомасштабным исследованиям. Это определяет необходимость расширения и детализации работ по изучению пространственной изменчивости и интенсивности эрозии в более крупном масштабе.

Первые эрозиоведческие работы в Западной Сибири, связанные с использованием ГИС, появились в конце 90-х – начале 2000-х годов. Они принадлежат таким исследователям, как В.В. Хромых, О.В. Хромых, А.Ф. Путилин, А.М. Шкаруба, Л.Ю. Дитц, В.К. Каличкин, А.И. Павлова, З.В. Квасникова, М.А. Каширо и др. На первых этапах освоения методологии ГИС и ДЗЗ исследователи Западной Сибири отдавали предпочтение общим вопросам экологического мониторинга и управления, разработке методических основ работы с ГИС. Однако их использование было слабым и в целом заключалось в основном в создании электронных карт (оцифровке бумажных карт) без какого-либо анализа. Специалистов прикладного природоведческого профиля (ландшафтоведы, почвоведы, геологи), которые использовали бы в своих исследованиях ГИС и материалы дистанционной съемки, в то время практически не было. Одной из первых серьезных (больших) работ в данной

тематике может послужить диссертация на соискание ученой степени кандидата географических наук В.В. Хромых<sup>5</sup>. В ней он описывает разработанные концептуальные основы создания и использования экологических ГИС как систем поддержки принятия решений при управлении окружающей средой. Кроме того, в диссертации исследованы две экологические ГИС, обеспечивающие экологический мониторинг и включающие блок данных об эрозионной опасности территории. Автор одним из первых в Западной Сибири получил синтезированную карту эрозионной опасности методами пространственного анализа ГИС. Карта вошла в алгоритм разработки проекта хозяйственного использования территории в системе поддержки принятия решений.

Практически в то же время А.О. Крутовским<sup>6</sup> предложена методика дистанционного измерения размыва берегов крупных рек посредством интеграции цифровых аэрофотоснимков с локальными ГИС в рамках решения проблемы повышения эффективности геоэкологического мониторинга при исследовании деформаций берегов рек у населенных пунктов. Определенный интерес представляет работа по оценке эрозионной устойчивости геосистем средствами ГИС для обустройства нефтяных месторождений Томской области [11], в которой эрозия рассматривается как элемент техногенного воздействия. В 2004 г. А.В. Тябаевым<sup>7</sup> разработаны методические процедуры построения инженерно-ландшафтной ГИС и на ее основе создана геомодель участков в пределах средней тайги Томской области, включающая сведения об оползневой ситуации и овражной эрозии.

Очевидно, что на начальном этапе освоения цифровых технологий для ведения

<sup>5</sup>Хромых В.В. Географические информационные системы при планировании хозяйственного использования территории: автореф. дис. ... канд. геогр. наук. Томск, 2000. 29 с.

<sup>6</sup>Крутовский А.О. Способы повышения эффективности геоэкологического мониторинга при исследовании деформаций берегов рек у населенных пунктов: На примере крупных рек Томской области: автореф. дис. ... канд. геогр. наук. Томск, 2002. 23 с.

<sup>7</sup>Тябаев А.В. Ландшафтный анализ территории средствами ГИС-технологий при планировании хозяйственной деятельности (на примере юго-востока Томской области): автореф. дис. ... канд. геогр. наук. Томск, 2004. 28 с.



научных исследований приоритет отдавался общим вопросам природопользования и охраны окружающей среды и лишь затрагивал некоторые эрозионные процессы. Дальнейшие исследования в данной области носят более детальный и узкоспециализированный характер.

Одними из первых, имеющих непосредственное отношение к изучению процесса водной эрозии на территории Западной Сибири, с использованием цифровых технологий, можно назвать работы Р.В. Кнауба, Н.С. Евсеевой с соавт.<sup>8</sup> и Т.Н. Елизарьевой, Л.Ю. Дитц и О.Г. Лопатовской [12]. Первая работа описывает зависимость развития водной эрозии от крутизны и экспозиции склона, а также от микрорельефа поверхности на территории Томь-Яйского междуречья Томской области. Вторая освещает методологические аспекты экологического мониторинга антропогенных и природных почвенных процессов. Авторы обосновали целесообразность совмещения материалов наземного обследования с дистанционным в процессе мониторинга почв для увеличения достоверности диагностики пространственных и временных изменений засоленных и орошаемых почв, подверженных эрозии на территории северной лесостепи (Привасюганская низменная равнина) и южной лесостепи (увалистый Баган-Карасукский водораздел) Новосибирской области.

Дальнейшее использование цифровых технологий в изучении водной эрозии связано с применением более широкого спектра возможностей как средств ДЗЗ, так и ГИС, что в целом обусловлено повышением уровня технических возможностей компьютеров и функционала используемого программного обеспечения. В особенности это касается пространственного анализа, что отчетливо прослеживается в работах А.Ф. Путилина,

В.К. Каличкина, А.И. Павловой, В.В. Скрипко, Г.Г. Морковкина и соавт. Непосредственное изучение самого процесса водной эрозии и связанных с ним последствий на территории Западной Сибири с использованием цифровых технологий начато, вероятно, в 2006–2008 гг. В этот период и далее исследователи уделяли большее внимание вопросам моделирования водной эрозии и изучения ее факторов, морфометрическому анализу рельефа, дистанционной диагностике эрозионного состояния почвенного покрова. С 2008 г. в Западной Сибири активизируется интерес к разработке автоматизированных методов картографирования, оценки земель и свойств почв, связанных с развитием водной эрозии.

Результаты морфометрического анализа рельефа и изучения его эрозионного потенциала на основе цифровой модели и геоинформационного моделирования водной эрозии представлены в работах практически всех ведущих исследователей в этой области на территории Западной Сибири. Так, в квалификационной работе Р.В. Кнауба в 2006 г.<sup>9</sup> представлен детальный анализ территориального развития эрозионных процессов на пахотных землях Томь-Яйского междуречья в пределах подтаежной зоны Томской области, выполненный на базе настольного ГИС-пакета ArcView GIS 3.2a. Автор выполнил комплексную оценку факторов поверхностной эрозии почв – рельефа, геологического строения, климата, почв, растительного покрова, создал среднемасштабные (1 : 100 000) оценочные карты эрозионного потенциала рельефа, смываемости пахотных почв, эрозионного индекса растительности при стоке талых вод.

М.А. Каширо с соавт. описан результат геоморфометрического анализа рельефа по ряду параметров средствами ГИС также на территории Томь-Яйского междуречья

<sup>8</sup>Кнауб Р.В., Евсеева Н.С., Петров А.И., Краснощеков С.Ю. Рельеф как фактор развития водной эрозии почв // Проблемы геологии и географии Сибири: материалы науч. конф., посвященной 125-летию основания Томского государственного университета и 70-летию образования геолого-географического факультета. Томск: Изд-во ТГУ, 2003. С. 58–60.

<sup>9</sup>Кнауб Р.В. Географический анализ факторов поверхностного смыва и оценка современной эрозии на пахотных землях Томь-Яйского междуречья (в пределах Томской области): автореф. дис. ... канд. геогр. наук. Томск, 2006. 19 с.

в бассейне р. Басандайки [13]. Авторами выполнен анализ карт горизонтального и вертикального расчленения, экспозиции и крутизны склонов, сделаны выводы относительно подверженности территории геоморфологическим рискам в зависимости от значений морфометрических параметров рельефа.

Дальнейшие исследования в области оценки ландшафтно-экологических рисков включали картографирование элементарных природных, природно-антропогенных и антропогенных комплексов Томской области, оценку эколого-геохимического и интегрального ландшафтно-экологического рисков с использованием возможностей ГИС. Результатом этой работы стала карта эколого-геохимического риска, а также карта интегральной оценки экологического риска территории ключевого участка<sup>10</sup>. Проведенные исследования позволили выявить закономерности распределения земель разной степени ландшафтно-экологического риска и сделать выводы о повышении степени риска в связи с активизацией хозяйственной деятельности человека.

Работа А.А. Ерофеева<sup>11</sup> включает блок моделирования LS-фактора территории малых рек Томской области и морфометрический анализ рельефа для проведения оценки уязвимости геосистем, связанной со склоновой эрозией (работа выполнена в ГИС SAGA). Интересными представляются и другие публикации этого автора, связанные с изучением структуры бассейновых геосистем на основе цифровой модели рельефа, однако не связанные напрямую с изучением самого процесса водной эрозии, а лишь касающиеся их в отдельных блоках исследований.

А.И. Павлова и В.К. Каличкин [14] используют результаты морфометрического

анализа рельефа для геоморфологического районирования территории Омской области, используя такие морфометрические показатели, как максимальные и минимальные высоты, вертикальное расчленение, густота расчленения рельефа, крутизна склонов.

А.Ф. Путиным и А.М. Шкарубой также выполнен ряд работ по морфометрическому анализу рельефа и связанной с ним эрозионной обстановкой на территории Новосибирской области. В работе [15] показана целесообразность использования ГИС и цифровой модели рельефа (ЦМР) при морфометрическом анализе территории водосбора; рассмотрены методические вопросы проведения ландшафтных исследований, описан ряд положений бассейнового подхода. Продолжена работа над методологическими аспектами геоинформационного моделирования эрозии и оценки миграционно-вещественных процессов. В [16] описан результат отработки методических вопросов использования ГИС-технологий для выделения смытых почв водосборного бассейна и создания почвенно-эрозионных карт на основе ЦМР (в пределах юго-востока Новосибирской области) с использованием элементов геоморфометрического анализа рельефа. Работа подтверждает приуроченность степени смытости почв к склонам определенной крутизны. Авторы отмечают, что выделение точного местоположения эродированных в разной степени земель оказалось возможным только при совместном использовании водосборно-бассейнового подхода, ГИС-технологий и ЦМР.

Подходы, позволяющие автоматизировать процесс вычисления морфометрических параметров рельефа, связанных с крутизной склонов, экспозицией и формами поверхности при использовании ЦМР, получения карт морфометрических параметров

<sup>10</sup>Квасникова З.Н., Каширо М.А. Оценка ландшафтно-экологического риска юго-востока Томской области // Ландшафтоведение: теория, методы, ландшафтно-экологическое обеспечение природопользования и устойчивого развития: материалы XII Междунар. ландшафтной конф. Тюмень: Изд-во Тюменского государственного университета, 2017. С. 145–149.

<sup>11</sup>Ерофеев А.А. Ландшафтно-экологический анализ бассейнов малых рек на основе геоинформационного моделирования (на примере малых рек Томска и его окрестностей): автореф. дис. ... геогр. наук. Томск, 2012. 15 с.

рельефа, служащих основой классификации форм земной поверхности и вычисления индекса мощности линейной эрозии описаны А.И. Павловой по результатам работы на территории хозяйства «Салаир» Маслянинского района Новосибирской области [17]. Работа выполнена в крупном масштабе и может быть использована в качестве основы для более детального анализа условий рельефа и уточнения границ различных групп эрозионных земель.

Дальнейшие работы в этом направлении связаны с более детальным анализом данных [18] и с проработкой самих баз данных [19]. Это касается и вопросов картографирования и оценки земель. Если сначала перед исследователями стояла задача разработки методических аспектов анализа данных, картографирования и оценки земель, то с определенного момента работы направлены на детализацию описательной составляющей ГИС, более точного описания объектов и явлений, извлечения как можно большего количества полезной информации о территории посредством всестороннего анализа исходных данных. Так, в [18] описан пример использования ГИС для геоморфометрического анализа рельефа местности (в пределах Седельниковского административного, части Тарского и Муромцевского районов Омской области). Цель использования – формирование базы данных сельскохозяйственных земель, которые в данном исследовании представляют собой совокупность информации о территории в векторной и растровой моделях данных ГИС. Геоморфологический анализ территории при создании баз данных позволил вычислить такие морфометрические параметры рельефа, как крутизна и экспозиция склонов, кривизна поверхности, а также ряд расчетных параметров – индекс влажности TWI и индекс мощности эрозии SPI.

Анализ пространственно-временной динамики водной эрозии на территории Западной Сибири выполнен такими исследователями, как А.Ф. Путилин, Л.Ю. Дитц, В.В. Скрипко, С.Я. Кудряшова, Г.Г. Морковкин и соавт.

А.Ф. Путилин и Л.Ю. Дитц с соавт. в 2007 г.<sup>12</sup> [20] использовали ГИС для современного географического и временного описания почвенно-эрозионных процессов с применением бассейновой концепции. В 2008 г. С.Я. Кудряшовой, Л.Ю. Дитц и др. [21] с помощью инструментов пространственного анализа ГИС и материалов ДЗЗ высокого разрешения определены площади деградированных в результате развития водной эрозии участков на территории лесостепной подзоны Новосибирского Приобья, а также установлена корреляционная зависимость концентрации углерода в отложениях новых осадочных масс от скорости и интенсивности развития эрозионных процессов. Полученные результаты исследования обусловили возможность описания количественных соотношений компонентов баланса почвенного углерода в условиях естественных границ в пределах бассейновой геосистемы. Чуть позже А.Ф. Путилин, Л.Ю. Дитц с соавт. [22] разработали пространственную картографическую модель почвенного покрова территории Приобского плато в левобережье Оби, подверженных водной эрозии, на основе анализа строения поверхности средствами ГИС. В работе освещены возможности построения и визуализации аналитической трехмерной поверхности, дающей возможность построения моделей географических объектов, моделирования процессов их взаимодействия и взаимозависимостей.

На территории Томской области данным вопросом занимались В.В. Хромых и О.В. Хромых [23], которые выполнили мо-

<sup>12</sup>Дитц Л.Ю., Чичулин А.В., Кудряшова С.Я., Путилин А.Ф., Миллер Г.Ф. Использование данных дистанционного зондирования и ГИС технологий при изучении почвенно-эрозионных процессов водосборных бассейнов // Организация почвенных систем. Методология и история почвоведения: труды II национ. конф. с междунар. участием. Пушкино, 2007. С. 277–280.

делирование и описали влияние эрозионно-аккумулятивной деятельности рек Томской области (нижняя Томь) на некоторые параметры геосистемы, в частности на динамику рельефа поверхности поймы, смену растительного покрова и почв.

Подробно результаты оценки пространственно-временной динамики структуры агроландшафтов и свойств почв изложены в работах Г.Г. Морковкина и др. на примере степной зоны Алтайского края [25, 26]. Изучена динамика состояния почвенного покрова и показателей плодородия почв основных природно-почвенных зон Алтайского края с использованием ГИС-технологий и спутниковых снимков. В публикациях описаны состояние почвенного покрова Алтайского края по проявлению эрозии, динамика изменения площадей эродированных почв, динамика степени проявления водной и ветровой эрозии, а также ряда связанных с ней свойств почв. В данных работах не стояла задача изучения именно эрозионных процессов; водная эрозия и дефляция являются их составляющей.

Вопросы изучения овражной эрозии средствами ГИС представлены в работах В.В. Скрипко с соавт. Авторами<sup>13</sup> на территории Алтайского края выполнена работа по картографированию в ГИС, исследованию закономерностей пространственного распределения и параметров оврагов (Косихинский район). В работе<sup>14</sup> представлены предварительные результаты оценки потенциального роста длины оврага для территории Бие-Чумышской возвышенности на основе морфометрических параметров эрозионного водосбора и ряда расчетных величин средствами ГИС. Использование ГИС для картографирования и анализа позволило рассчитать длину, площадь оврагов и количество отвершков оврагов, изучить

пространственно-временную динамику данных параметров. С.Г. Платоновой с соавт. [27] описаны типы овражно-балочной сети, экзодинамические процессы в зависимости от рельефа Каменского выступа (граница Новосибирской области и Алтайского края). Использование ГИС и ДЗЗ позволило выявить зависимость рисунка эрозионной сети от положения по отношению к морфоструктурным элементам местности, а также от влияния активной тектоники на строение овражно-балочной сети.

Отдельная группа исследований посвящена автоматизированному картографированию и оценке земель. Основная часть этих работ, так или иначе касающихся водной эрозии, включает изучение факторов эрозии и самого процесса в виде блоков. Лишь незначительная часть полностью посвящена вопросам эрозиоведения.

Одной из первых была работа В.К. Каличкина и А.И. Павловой [28] в 2008 г., описывающая подход к автоматизированному картографированию земель сельскохозяйственного назначения для кадастровых целей (на примере сельскохозяйственного предприятия в Маслянинском районе Новосибирской области). В ЦМР авторами введена подсистема кадастрового зонирования земель, позволяющая рассчитать кадастровую стоимость земли на основе сведений о плодородии почв, технологических свойствах и местоположении земельного участка, свойств рельефа. В работе [14] описан алгоритм геоморфологического районирования территории Омской области с использованием материалов ДЗЗ и ГИС, охватывающий такой аспект, как оценка морфометрических параметров рельефа, позволяющая идентифицировать эрозионные формы и тип эрозионного расчленения рельефа. По-видимому, именно в этой работе впервые на территории

<sup>13</sup>Скрипко В.В., Платонова С.Г., Собко В.В. Современные процессы оврагообразования на территории Косихинского района (Алтайский край) // Аграрная наука – сельскому хозяйству: сб. статей в 3 кн. Барнаул: Алтайский ГАУ, 2017. С. 545–546.

<sup>14</sup>Скрипко В.В., Платонова С.Г., Адам А.А., Скрипко М.С. Определение потенциальной длины оврагов склоновых водосборов на Бие-Чумышской возвышенности (Алтайский край) // Эколого-географические исследования в речных бассейнах: материалы V всерос. науч.-практ. конф. Воронеж, 2018. С. 90–94.



Западной Сибири для исследований подобного рода проблем применен нейросетевой анализ. Также на примере Омской области описан разработанный авторами метод автоматизированного картографирования сельскохозяйственных земель [29], основанный на создании серии электронных карт, формировании базы данных, базы знаний для обучения нейронной экспертной системы (НЭС), оценки точности нейронной экспертной системы, построения синтезированной электронной карты, отражающей результат нейросетевого анализа. Это первая работа в Западной Сибири, выполненная с использованием НЭС в связи с вопросами автоматизированного картографирования и агроэкологической группировки земель. Использование возможностей нейросетевого анализа позволило обрабатывать большие массивы тематически ориентированной информации, которая в ряде случаев оказывалась неясной и неопределенной.

Дальнейшие работы авторов включают более детальный анализ путем интеграции ГИС и НЭС. Так, А.И. Павловой и В.К. Каличкиным описан подход совместного использования ГИС и НЭС для автоматизированного картографирования эрозионных земель (на примере Омской области) на основе оценки территории по морфометрическим показателям рельефа и величине среднегодового показателя смыва почвы [30]. Результатом работы стали тематические карты ГИС, на основе которых с использованием НЭС выделены ареалы агроэкологической группы эрозионных земель и созданы карты эрозионных земель, которые могут быть использованы для их агроэкологической оценки. В исследовании [31] авторами продолжена работа над оценкой эрозионных земель на территории Омской области. Разработан методический подход к классификации эрозионных земель с помощью НЭС, интегрированной с ГИС. Этот подход существенно

упростил процесс группировки эрозионных земель, позволил его автоматизировать, а также систематизировать сведения о морфометрических показателях и топологии земель. Совместное использование ГИС и НЭС показало себя успешным. В результате получены цифровые среднемасштабные карты эрозионных земель и обобщенные нормативные показатели морфометрических свойств рельефа. Данная информация может быть использована в качестве базовой основы для расчета потенциального смыва почв и ряда практических мероприятий. В работе<sup>15</sup> описан порядок классификации плакорных земель с использованием ГИС и нейросетевого анализа. Как и в случае с классификацией эрозионных земель, описан вариант выделения операционных территориальных единиц нерегулярной сети геотопов, что, по мнению авторов, позволяет более объективно установить границы между элементарными участками земной поверхности, обладающими сходными показателями по углам наклона, экспозиции, подстилающим породам. Описанный порядок позволяет автоматизировать процесс классификации земель.

Проблема отсутствия для условий Западной Сибири физически созданных баз данных для агроэкологической оценки земель была решена в работе [19]. Созданные базы данных представляют собой набор разновывровневых сущностей и соответствующих наборов атрибутов. Так, в концептуальной модели базы данных «Рельеф» выделен ряд атрибутов, характеризующих степень развития водной эрозии почв, которые в логической модели этой базы данных определяли содержимое таблицы степени развития водной эрозии, а также углы наклона рельефа, длины склонов, количество западин на единицу площади и др. В совокупности все разработанные авторами базы данных представляют собой комплексную систему описания сельскохозяйственных земель в виде

<sup>15</sup>Павлова А.И., Каличкин В.К. Классификация плакорных земель с использованием нейронной экспертной системы и ГИС // Аграрная наука – сельскохозяйственному производству Сибири, Казахстана, Монголии, Беларуси и Болгарии: материалы XIX Междунар. науч.-техн. конф. (Беларусь, Минск, 19–21 октября 2016 г.). Минск, 2016. С. 294–297.

взаимосвязанных таблиц. В дальнейшем авторами запланировано применение разработанных баз данных для формирования моделей представления знаний, создания баз геоданных, интеграции с ГИС и геоинформационного моделирования. Обобщение результатов исследований В.К. Каличкина и А.И. Павловой, касающихся вопросов геоинформационного моделирования эрозии, оценки и картографирования эрозионных земель Западной Сибири изложено в [32]. Других обобщающих трудов в области изучения водной эрозии на территории Западной Сибири посредством ГИС и ДЗЗ не установлено.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В целом использование ГИС и материалов ДЗЗ относительно невелико, что находит отражение в количестве публикаций по данной тематике, в особенности на фоне общего количества публикаций, освещающих вопросы изучения водной эрозии в Западной Сибири. Результаты поиска по ключевым словам «водная эрозия» и «Западная Сибирь» в базе данных e-library показывают 5340 публикаций, добавление ключевого слова «ГИС» снижает это количество до нескольких десятков. Если говорить об исследователях в этой области, то их число составляет единицы.

Основная масса исследований не имеет целью изучение самого процесса водной эрозии. Изыскания носят характер, скорее, прикладной, чем фундаментальный, поскольку направлены в большей степени не на познание природы самого явления, а на решение ряда прикладных задач, связанных так или иначе с его развитием на исследуемых территориях. Большинство исследований включает водную эрозию в качестве отдельного блока, представляющего часть одной работы. Можно выделить несколько работ, посвященных изучению последствий проявления водной эрозии, таких как изменение ряда физико-химических параметров почв, изменение почвенного покрова, а так-

же взаимосвязи некоторых природных и антропогенных факторов с развитием водной эрозии.

Все работы по изучению водной эрозии почв с использованием ГИС и ДЗЗ на территории Западной Сибири можно разделить на пять групп:

- связанные с изучением влияния факторов эрозии на ее развитие;
- связанные с изучением влияния водной эрозии на почвы и почвенный покров;
- связанные с использованием цифровых технологий в вопросах мониторинга водной эрозией;
- связанные с использованием цифровых технологий оценки и типизации земель
- освещающие вопросы методологии как изучения самого процесса, так и при решении прикладных задач.

Исследования в основном сконцентрированы в пределах Новосибирской и Омской областей, Алтайского края, в меньшей степени на территории Томской и Кемеровской областей. Наиболее часто используются программные продукты ArcGIS и некоторые другие программные продукты ESRI, MapInfo, в последние годы – ГИС SAGA. Использование российских программных продуктов ограничено. Для автоматизированного дешифрирования спутниковых снимков наиболее часто применяют программный комплекс ENVI, который признан одной из наиболее удачных разработок, созданных для этих целей. Из материалов дистанционной съемки наиболее часто используются космические снимки Landsat и материалы высотной съемки SRTM.

В большей степени проработанными являются следующие вопросы:

- разработка тематически различных геоинформационных систем (экологических, инженерных, сельскохозяйственных) как пространственно распределенных баз данных и связанных с ними тематических проблем;
- геоинформационные модели эрозии различной степени проработки;

- геоморфометрический анализ рельефа по ограниченному количеству параметров;
- автоматизированная оценка земель, их классификация и картографирование, создание синтезированных тематических карт на основе анализа территории; подходы к оценке, классификации и картографированию;
- базы данных, базы знаний, частные шкалы оценок;
- вопросы методологии изучения водной эрозии почв с использованием цифровых технологий.

На основании проведенного анализа представляется ряд недостаточно изученных вопросов на территории Западной Сибири. Практически не затронута проблема дистанционного мониторинга временной динамики водной эрозии и связанных с ней изменений рельефа, почвенного покрова, свойств почв и др. Проведенные исследования носят в основном одномоментный характер, когда сведения для анализа получены «здесь и сейчас», а результаты характеризуют лишь сиюминутную обстановку. Научно-методические основы и разработка информационной базы исследований, моделирования и прогноза водной эрозии средствами ГИС также требуют доработки. В частности, вопросы детализации и масштаба геоинформационного моделирования водной эрозии, охвата большего количества территорий. Недостаточно изучена зависимость водной эрозии от морфометрических параметров рельефа. Представленные результаты исследований охватывают ограниченную территорию и довольно кратки. При моделировании водной эрозии не всегда учитывается характер поверхностного стока (не всегда разделяется талый и ливневый сток, нет публикаций о моделировании эрозии от единичного ливня). Не вполне ясным является подход к выбору критериев оценки эрозионных земель при разных масштабах картографирования. Также открытым остается вопрос разработки методики автоматизированного расчета нормативов допустимых эрозионных потерь почв.

Очевидно, что применение цифровых технологий (ГИС и ДЗЗ) в изучении водной эрозии Западной Сибири не является систематическим и всеобъемлющим. Это подтверждается наличием ряда проблем изучения водной эрозии на данной территории, требующего цифрового подхода к их разрешению. Решение данного вопроса может способствовать повышению качества фундаментальных исследований в тематике водной эрозии почв. Применение цифровых технологий для моделирования эрозионного процесса (использование USLE, логико-математической модели смыва почвы Г.И. Швевса и их модификаций) может способствовать решению ряда прикладных задач, связанных с рациональным землепользованием и защитой окружающей среды.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Лисецкий Ф.Н., Светличный А.А., Черный С.Г. Современные проблемы эрозиоведения / под ред. А.А. Светличного. Белгород: Константа, 2012. 456 с.
2. Alewell C., Borrelli C.P., Meusburger K., Panagos P. Using the USLE: Chances, challenges and limitations of soil erosion modelling // International Soil and Water Conservation Research. 2019. Vol. 7. № 3. P. 203–225. DOI: 10.1016/j.iswcr.2019.05.004.
3. Светличный А.А., Черный С.Г., Лисецкий Ф.Н. Проблемы эрозии почв в научном наследии Г.И. Швевса и основные направления его развития // Вісник Одеського національного університету. Географічні та геологічні науки. 2009. Т. 14. № 16. С. 142–152.
4. Shvebs H.I. Rational lands utilization, conservation and monitoring // Collection of articles by Ukrainian members of European Society for Soil Conservation, 1993. P. 29–34.
5. Phinzi K., Ngetar N.S. The assessment of water-borne erosion at catchment level using GIS-based RUSLE and remote sensing: A review // International Soil and Water Conservation Research. 2019. Vol. 7. N 1. P. 27–46. DOI: 10.1016/j.iswcr.2018.12.002.
6. Jazouli A.E., Barakat A., Khellouk R., Rais J., Baghdadi M.E. Remote sensing and GIS techniques for prediction of land use land cover change effects on soil erosion in the high basin of the Oum Er Rbia River (Morocco) // Remote Sensing Applications: Society and

- Environment. 2019. Vol. 13. P. 361–374. DOI: 10.1016/j.rsase.2018.12.004.
7. Zerihun M., Mohammedyasin M.S., Sewnet D., Adem A.A., Lakew M. Assessment of soil erosion using RUSLE, GIS and remote sensing in NW Ethiopia // *Geoderma Regional*. 2018. Vol. 12. P. 83–90. DOI: 10.1016/j.geodrs.2018.01.002.
  8. Ganasri B.P., Ramesh H. Assessment of soil erosion by RUSLE model using remote sensing and GIS - A case study of Nethravathi Basin // *Geoscience Frontiers*. 2016. Vol. 7. N 6. P. 953–961. DOI: 10.1016/j.gsf.2015.10.007.
  9. Aiello A., Adamo M., Canora F. Remote sensing and GIS to assess soil erosion with RUSLE3D and USPED at river basin scale in southern Italy // *CATENA*, Vol. 131, August 2015, P. 174–185. DOI: 10.1016/j.catena.2015.04.003.
  10. Sepuru T.K., Dube T. An appraisal on the progress of remote sensing applications in soil erosion mapping and monitoring // *Remote Sensing Applications: Society and Environment* 2018. Vol. 9. P. 1–9. DOI: 10.1016/j.rsase.2017.10.005.
  11. Хромых В.В. Оценка эрозионной устойчивости геосистем Крапивинского нефтяного месторождения средствами ГИС-технологий // *Вопросы географии Сибири*. Томск: Издательство Томского государственного университета, 2003. С. 417–419.
  12. Елизарова Т.Н., Дитц Л.Ю., Лопатовская О.Г. Особенности мониторинга природных и антропогенных почвенных процессов на юге Сибири // *Интерэкспо Гео-Сибирь*. 2005. Т. 5. С. 101–105.
  13. Каширо М.А., Жилина Т.Н., Васильева М.С., Евсеева Н.С. Эколого-геоморфологические исследования бассейна р. Басандайки (Томская область) // *Вестник Томского государственного университета*. 2012. № 362. С. 184–188.
  14. Павлова А.И., Каличкин В.К. Использование материалов космической съемки и ГИС для геоморфологического районирования территории // *Сибирский вестник сельскохозяйственной науки*. 2009. № 11. С. 5–14.
  15. Путилин А.Ф., Шкаруба А.М. Водосборный бассейн как геосистемная основа изучения миграционно-вещественных потоков // *Сибирский экологический журнал*. 2011. Т. 18. № 5. С. 673–676.
  16. Путилин А.Ф., Шкаруба А.М. Выделение смытых почв водосборного бассейна на основе ГИС-технологий // *Интерэкспо Гео-Сибирь*. 2012. Т. 2. № 3. С. 114–118.
  17. Павлова А.И. Применение методов цифрового моделирования рельефа для картографирования эрозионных земель // *В мире научных открытий*. 2016. № 2 (74). С. 159–169.
  18. Павлова А.И., Каличкин В.К. Использование геоморфометрического анализа рельефа при создании базы данных сельскохозяйственных земель // *Сибирский вестник сельскохозяйственной науки*. 2016. № 5. С. 5–13.
  19. Павлова А.И., Каличкин В.К. Базы данных для агроэкологической оценки сельскохозяйственных земель // *Сибирский вестник сельскохозяйственной науки*. 2018. Т. 48. № 1. С. 80–88. doi.org/10.26898/0370-8799-2018-1-11.
  20. Путилин А.Ф., Дитц Л.Ю., Кудряшова С.Я., Чичулин А.В., Шкаруба А.А. Принципы бассейновой концепции в исследовании почвенно-эрозионных процессов, запасов органического углерода в почвенном покрове лесостепи Приобья с использованием ГИС технологий // *Сибирский экологический журнал*. 2007. № 5. С. 741–751.
  21. Кудряшова С.Я., Дитц Л.Ю., Путилин А.Ф., Чичулин А.В., Шкаруба А.М., Чумбаев А.С., Миллер Г.Ф. Оценка запасов и эрозионных потерь органического углерода в почвах водосборных бассейнов лесостепи Приобья на основе // *Интерэкспо Гео-Сибирь*. 2008. Т. 3. № 2. С. 125–127.
  22. Путилин А.Ф., Дитц Л.Ю., Кудряшова С.Я., Шкаруба А.М., Чичулин А.В. Пространственная дифференциация почвенного покрова Приобья на основе цифровой модели рельефа // *Интерэкспо Гео-Сибирь*. 2009. Т. 4. № 2. С. 54–56.
  23. Хромых О.В., Хромых В.В. Ландшафтный анализ нижнего притома на основе ГИС: естественная динамика долинных геосистем и их изменения в результате антропогенного воздействия. Томск: Изд-во научно-технической литературы, 2011. 160 с.
  24. Морковкин Г.Г., Литвиненко Е.А., Байкалова Т.В., Максимова Н.Б. Использование ГИС-технологий для оценки временной динамики структуры агроландшафтов и свойств почв на примере умеренно-засушливой и колючей степи Алтайского края // *Вестник Алтайского государственного аграрного университета*. 2013. № 5 (103). С. 39–45.
  25. Морковкин Г.Г., Байкалова Т.В., Максимова Н.Б., Овцинов В.И., Литвиненко Е.А., Дёмина И.В., Дёмин В.А. Оценка временной динамики структуры агроландшафтов и по-



- казателей плодородия почв степной зоны Алтайского края // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. 2013. № 9 (107). С. 33–42.
26. Морковкин Г.Г., Байкалова Т.В., Максимова Н.Б., Овцинов В.И., Литвиненко Е.А., Дёмина И.В., Дёмин В.А. Динамика состояния почвенного покрова и показателей плодородия почв основных природно-почвенных зон Алтайского края // Вестник алтайской науки. 2015. № 1 (23). С. 212–222.
27. Платонова С.Г., Скрипко В.В., Адам А.А. Влияние морфоструктуры на рисунок эрозионной сети на Каменском выступе // Известия Алтайского отделения Русского географического общества. 2017. № 1 (44). С. 42–52.
28. Каличкин В.К., Павлова А.И. Технология автоматизированной оценки земель сельскохозяйственного назначения для кадастровых целей // Сибирский вестник сельскохозяйственной науки. 2008. № 4. С. 5–11.
29. Павлова А.И., Каличкин В.К. Автоматизированное картографирование сельскохозяйственных земель с помощью нейронной экспертной системы, интегрированной с ГИС // Достижения науки и техники АПК. 2011. № 1. С. 5–8.
30. Павлова А.И., Каличкин В.К. Картографирование эрозионных земель с помощью ГИС и нейронной экспертной системы // Интерэкспо Гео-Сибирь. 2013. Т. 3. № 4. С. 170–173.
31. Каличкин В.К., Павлова А.И. Применение нейронной экспертной системы для классификации эрозионных земель // Сибирский вестник сельскохозяйственной науки. 2014. № 6. С. 5–11.
32. Каличкин В.К., Павлова А.И. Агрономические геоинформационные системы: монография. Новосибирск: СФНЦА РАН, 2018. 347 с.
- REFERENCES**
1. Lisetskii F.N., Svetlichnyi A.A., Chernyi S.G. *Sovremennye problemy eroziovedeniya* [Recent developments in erosion science] / pod red. A.A. Svetlichnogo. Belgorod: Konstanta Publ., 2012, 456 p.
  2. Alewell C., Borrelli C.P., Meusburger K., Panagos P. Using the USLE: Chances, challenges and limitations of soil erosion modelling. *International Soil and Water Conservation Research*, 2019, vol. 7, no. 3, pp. 203–225. DOI: 10.1016/j.iswcr.2019.05.004.
  3. Svetlichnyi A.A., Chernyi S.G., Lisetskii F.N. *Problemy erozii pochv v nauchnom nasledii G.I. Shvebsa i osnovnye napravleniya ego razvitiya* [Problem of soil erosion in the scientific legacy of H.I. Shvebs and basic directions of its development]. *Visnik Odes'kogo natsional'nogo universitetu. Geografichni ta geologichni nauki* [Odessa National University. Geography and Geology], 2009, vol. 14, no. 16, pp. 142–152. (In Russian).
  4. Shvebs H.I. Rational lands utilization, conservation and monitoring. *Collection of articles by Ukrainian members of European Society for Soil Conservation*, 1993, pp. 29–34.
  5. Phinzi K., Ngetar N.S. The assessment of water-borne erosion at catchment level using GIS-based RUSLE and remote sensing: A review. *International Soil and Water Conservation Research*, 2019, vol. 7, no. 1, pp. 27–46. DOI: 10.1016/j.iswcr.2018.12.002.
  6. Jazouli A.E., Barakat A., Khellouk R., Rais J., Baghdadi M.E. Remote sensing and GIS techniques for prediction of land use land cover change effects on soil erosion in the high basin of the Oum Er Rbia River (Morocco). *Remote Sensing Applications: Society and Environment*, 2019, vol. 13, pp. 361–374. DOI: 10.1016/j.rsase.2018.12.004.
  7. Zerihun M., Mohammedyasin M.S., Sewnet D., Adem A.A., Lakew M. Assessment of soil erosion using RUSLE, GIS and remote sensing in NW Ethiopia. *Geoderma Regional*, 2018, vol. 12, pp. 83–90. DOI: 10.1016/j.geodrs.2018.01.002.
  8. Ganasri B.P., Ramesh H. Assessment of soil erosion by RUSLE model using remote sensing and GIS - A case study of Nethravathi Basin. *Geoscience Frontiers*, 2016, vol. 7, no. 6, pp. 953–961. DOI: 10.1016/j.gsf.2015.10.007.
  9. Aiello A., Adamo M., Canora F. Remote sensing and GIS to assess soil erosion with RUSLE3D and USPED at river basin scale in southern Italy. *CATENA*, Vol. 131, August 2015, pp. 174–185. DOI: 10.1016/j.catena.2015.04.003.
  10. Sepuru T.K., Dube T. An appraisal on the progress of remote sensing applications in soil erosion mapping and monitoring. *Remote Sensing Applications: Society and Environment*, 2018, vol. 9, pp. 1–9. DOI: 10.1016/j.rsase.2017.10.005.
  11. Khromykh V.V. Otsenka erozionnoi ustoi-chivosti geosistem Krapivinskogo neftyanogo mestorozhdeniya sredstvami GIS-tehnologii. *Voprosy geografii Sibiri* [Evaluation of the erosion stability of the Krapivinsky oil field geosystems using GIS technology. Questions of geography of Siberia]. Tomsk: Tomskii gos-

- darstvennyi universitet Publ., 2003, pp. 417–419. (In Russian).
12. Elizarova T.N., Ditts L.Yu., Lopatovskaya O.G. Osobennosti monitoringa prirodnykh i antropogennykh pochvennykh protsessov na Yuge Sibiri [Features of monitoring of natural and anthropogenic soil processes in the South of Siberia]. *In-terekspo Geo-Sibir'* [Interexpo GEO-Siberia], 2005, vol. 5, pp. 101–105. (In Russian).
  13. Kashiro M.A., Zhilina T.N., Vasil'eva M.S., Evseeva N.S. Ekologo-geomorfologicheskie issledovaniya basseina r. Basandaiki (Tomskaya oblast') [Ecological and geomorphological research of Basandaika river basin (Tomsk region)]. *Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo universiteta* [Tomsk State University Journal], 2012, no. 362, pp. 184–188. (In Russian).
  14. Pavlova A.I., Kalichkin V.K. Ispol'zovanie materialov kosmicheskoi s'emki i GIS dlya geomorfologicheskogo raionirovaniya territorii [The use of satellite imagery and GIS for geomorphological zoning of the territory]. *Sibirskii vestnik sel'skokhozyaistvennoi nauki* [Siberian Herald of Agricultural Science], 2009, no. 11, pp. 5–14. (In Russian).
  15. Putilin A.F., Shkaruba A.M. Vodosbornyi bassein kak geosistemnaya osnova izucheniya migratsionno-veshchestvennykh potokov [Catchment basis as geosystemic basis for investigation of substance migration flows]. *Sibirskii ekologicheskii zhurnal* [Contemporary Problems of Ecology], 2011, vol. 18, № 5, pp. 673–676. (In Russian).
  16. Putilin A.F., Shkaruba A.M. Vydelenie smytykh pochv vodosbornogo basseina na osnove GIS-tehnologii [Allocation of washed soils of catchment basin on the basis of GIS-technologies]. *Interexpo Geo-Sibir'* [Interexpo GEO-Siberia], 2012, vol. 2, no. 3, pp. 114–118. (In Russian).
  17. Pavlova A.I. Primenenie metodov tsifrovogo modelirovaniya rel'efa dlya kartografirovaniya erozionnykh zemel' [The application of digital modelling of relief for an assessment of erosive danger of lands], *V mire nauchnykh otkrytii* [In the World of Scientific Discoveries], 2016, no. 2 (74), pp. 159–169. (In Russian).
  18. Pavlova A.I., Kalichkin V.K. Ispol'zovanie geomorfometricheskogo analiza rel'efa pri sozdanii bazy dannykh sel'skokhozyaistvennykh zemel' [Using the geomorphometric analysis of a relief when creating a database of farmlands]. *Sibirskii vestnik sel'skokhozyaistvennoi nauki* [Siberian Herald of Agricultural Science], 2016, no. 5, pp. 5–13. (In Russian).
  19. Pavlova A.I., Kalichkin V.K. Bazy dannykh dlya agroekologicheskoi otsenki sel'skokhozyaistvennykh zemel' [Database for agroecological assessment of agricultural land]. *Sibirskii vestnik sel'skokhozyai-stvennoi nauki* [Siberian Herald of Agricultural Science], 2018, vol. 48, no. 1, pp. 80–88. doi.org/10.26898/0370-8799-2018-1-11. (In Russian).
  20. Putilin A.F., Ditts L.Yu., Kudryashova S.Ya., Chichulin A.V., Shkaruba A.A. Printsipy basseinovoi kontseptsii v issledovanii pochvenno-erozionnykh protsessov, zapasov organicheskogo ugleroda v pochvennom pokrove lesostepi Priob'ya s ispol'zovaniem GIS tekhnologii [Principles of the basin concept in the investigation of soil erosion processes, resources of organic carbon in the top soil of forest-steppe near the Ob river involving GIS technologies]. *Sibirskii ekologicheskii zhurnal* [Siberian Journal of Ecology], 2007, no. 5, pp. 741–751. (In Russian).
  21. Kudryashova S.Ya., Ditts L.Yu., Putilin A.F., Chichulin A.V., Shkaruba A.M., Chumbaev A.S., Miller G.F. Otsenka zapasov i erozionnykh poter' organicheskogo ugleroda v pochvakh vodosbornykh basseinov lesostepi Priob'ya na osnove GIS [GIS-based estimation of organic carbon reserves and erosion damage in forest-steppe drainage basins soils of the Ob vicinity]. *Interexpo Geo-Sibir'* [Interexpo GEO-Siberia], 2008, vol. 3, no. 2, pp. 125–127. (In Russian).
  22. Putilin A.F., Ditts L.Yu., Kudryashova S.Ya., Shkaruba A.M., Chichulin A.V. Prostranstvennaya differentsiatsiya pochvennogo pokrova Priob'ya na osnove tsifrovoy modeli rel'efa [Spatial differentiation of Priob'ya soil cover on the basis of a relief digital model]. *Interexpo Geo-Sibir'* [Interexpo GEO-Siberia], 2009, vol. 4, no. 2, pp. 54–56. (In Russian).
  23. Khromykh O.V., Khromykh V.V. *Landshaftnyi analiz nizhnego pritoma na osnove GIS: estestvennaya dinamika dolinnykh geosistem i ikh izmeneniya v rezul'tate antropogennogo vozdeistviya* [GIS-based landscape analysis of the lower part of the Tom' river: the natural dynamics of valley geosystems and their changes as a result of anthropogenic impact]. Tomsk: Izd-vo nauchno-tehnicheskoi literatury, 2011. 160 p. (In Russian).
  24. Morkovkin G.G., Litvinenko E.A., Baikalo-va T.V., Maksimova N.B. Ispol'zovanie GIS-tehnologii dlya otsenki vremennoi dinamiki

- структуры агроландшафтов и свойств почв на примере умеренно-засушливой и колодной степи Алтайского края [Application of GIS-technologies to evaluate temporal dynamics of agro-landscape structure and soil properties by the example of temperate-arid and forest-outlier steppes of the Altai region]. *Vestnik Altaiskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta* [Bulletin of Altai State Agricultural University], 2013, no. 5 (103), pp. 39–45. (In Russian).
25. Morkovkin G.G., Baikalova T.V., Maksimova N.B., Ovtsinov V.I., Litvinenko E.A., Demina I.V., Demin V.A. Otsenka vremennoi dinamiki struktury agrolandshaftov i pokazatelei plodorodiya pochv stepnoi zony Altaiskogo kraia [Evaluation of temporal dynamics of agro-landscape's structure and soil fertility indices of steppe zone of the Altai region]. *Vestnik Altaiskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta* [Bulletin of Altai State Agricultural University], 2013, no. 9 (107), pp. 033–042. (In Russian).
26. Morkovkin G.G., Baikalova T.V., Maksimova N.B., Ovtsinov V.I., Litvinenko E.A., Demina I.V., Demin V.A. Dinamika sostoyaniya pochvennogo pokrova i pokazatelei plodorodiya pochv osnovnykh prirodno-pochvennykh zon Altaiskogo kraia [The dynamics of the soil cover state and the indicators of soil fertility of the major soil zones of the Altai region]. *Vestnik altaiskoi nauki* [The journal Vestnik altaiskoi nauki], 2015, no. 1(23), pp. 212–222. (In Russian).
27. Platonova S.G., Skripko V.V., Adam A.A. Vliyaniye morfostruktury na risunok erozionnoi seti na Kamenskom vystupe [Morpho structure-dependent plane view of erosion system (Kamennsky uplift as a case study)]. *Izvestiya Altaiskogo otdeleniya Russkogo geograficheskogo obshchestva* [Bulletin of the Altai Branch of the Russian Geographical Society], 2017, no.1 (44), pp. 42–52. (In Russian).
28. Kalichkin V.K., Pavlova A.I. Tekhnologiya avtomatizirovannoi otsenki zemel' sel'skokhozyaistvennogo naznacheniya dlya kadastrykh tselei [Computer-aided assessing technology of agricultural lands for cadastral purposes]. *Sibirskii vestnik sel'skokhozyaistvennoi nauki* [Siberian Herald of Agricultural Science], 2008, no. 4, pp. 5–11. (In Russian).
29. Pavlova A.I., Kalichkin V.K. Avtomatizirovanoe kartografirovaniye sel'skokhozyaistvennykh zemel' s pomoshch'yu neironnoi ekspertnoi sistemy, integrirovannoi s GIS [Automated cartography of the agricultural lands with the neuron expert system, integrated with GIS]. *Dostizheniya nauki i tekhniki APK* [Achievements of Science and Technology of AIC], 2011, no. 1, pp. 5–8. (In Russian).
30. Pavlova A.I., Kalichkin V.K. Kartografirovaniye erozionnykh zemel' s pomoshch'yu GIS i neironnoi ekspertnoi sistemy [The mapping of the erosion lands with GIS and neural expert system]. *Interekspo Geo-Sibir'* [Interexpo GEO-Siberia], 2013, vol. 3, no. 4, pp. 170–173. (In Russian).
31. Kalichkin V.K., Pavlova A.I. Primeneniye neironnoi ekspertnoi sistemy dlya klassifikatsii erozionnykh zemel' [Application of neural expert system to classify erodible land]. *Sibirskii vestnik sel'skokhozyaistvennoi nauki* [Siberian Herald of Agricultural Science], 2014, no. 6, pp. 5–11. (In Russian).
32. Kalichkin V.K., Pavlova A.I. *Agronomicheskie geoinformatsionnye sistemy: monografiya* [Geoinformation systems in agronomy]. Novosibirsk: SFNTsA RAN Publ., 2018. 347 p. (In Russian).

#### ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

**Савельева Д.А.**, младший научный сотрудник; e-mail: erat.vrma.project@gmail.com

✉ **Каличкин В.К.**, доктор сельскохозяйственных наук, главный научный сотрудник; **адрес для переписки:** 630501, Россия, Новосибирская область, р.п. Краснообск, а/я 463; e-mail: kvk@ngs.Ru

#### AUTHOR INFORMATION

**Savelieva D.A.**, Junior researcher; e-mail: erat.vrma.project@gmail.com

✉ **Kalichkin V.K.**, Doctor of science in agriculture, head researcher; **address:** po box 463, sfsca ras, krasnoobsk, novosibirsk region, 630501, russia; e-mail: kvk@ngs.Ru

Дата поступления статьи 20.04.2019  
Received by the editors 20.04.2019