

УДК 551.435.16

Е.Е. Халыков¹

ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДИК ЛАЗЕРНОГО СКАНИРОВАНИЯ И ГЕОИНФОРМАЦИОННЫХ СИСТЕМ ПРИ ИЗУЧЕНИИ ОВРАЖНОЙ ЭРОЗИИ (КАЗАХСТАН)

Использование методов лазерного сканирования и ГИС-технологии при изучении овражной эрозии дает точные морфометрические и количественные характеристики темпа развития оврагов. В горах Жетысу Алатау впервые использовались методы наземного лазерного сканирования и данные дистанционного зондирования для изучения развития овражной эрозии. Исследования проводились на ключевом участке южнее с. Сарыозек Кербулакского района (Алматинская область, Республика Казахстан), в западной части гор Жетысу Алатау. В осенние периоды с 2012 по 2017 гг. были проведены полустационарные наблюдения, изучена овражная эрозия на восточных склонах хребта Малайсары. Результаты работ показывают, что территория характеризуется благоприятными условиями для развития овражной эрозии. На исследуемом участке овраги преимущественно донные, местами склоновые, имеющие приrost вершинной и глубинной частей за счет флювиальных процессов. Приведены результаты полевых и камеральных исследований. Получены трехмерные изображения оврагов в виде облака точек, где каждая точка имеет точные координаты x , y , z для достоверных наблюдений за динамикой развития оврагов. Изучены факторы, влияющие на развитие овражной эрозии, приведена морфометрическая характеристика оврагов, полученная на основе данных дистанционного зондирования.

Ключевые слова: овражная эрозия, овраги, склоны, ГИС, наземное лазерное сканирование, горы Жетысу Алатау.

Введение. Одним из активных и деструктивных современных рельефообразующих процессов в Жетысуском регионе является овражная эрозия. Преимущественно она распространена в предгорьях гор Жетысу Алатау (рис. 1). Эти территории на протяжении тысячелетий являются местом хозяйственной деятельности человека, что обусловлено благоприятными природными условиями [Michael, 2010].

Экономические показатели региона в последние годы динамично развиваются, особенно в таких отраслях, как сельское хозяйство, земледелие, строительство и добыча полезных ископаемых. Проблема защиты почвенного покрова и земельных ресурсов от водной эрозии является одним из важных проблем для Жетысуского региона, где смыв и размыв наиболее активно проявляются в хорошо осво-

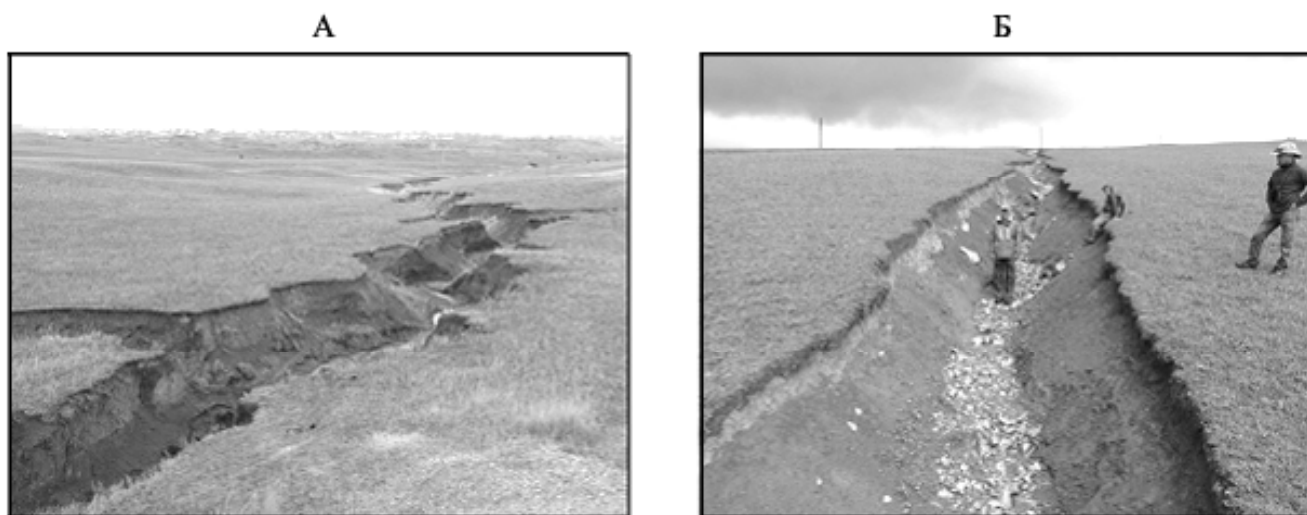


Рис. 1. Овражная эрозия в западной части гор Жетысу Алатау: А – овраг, Б – промоина
Fig. 1. Gully erosion in the western part of the Zhetysay Alatau Mountains: А – a gully, Б – a rill

¹ Казахский национальный исследовательский технический университет имени К.И. Сатпаева, PhD докторант 3 года обучения, Институт географии, лаборатория геоморфологии и геоинформационного картографирования, науч. с.; *e-mail*: e.halykov@mail.ru

енных территориях и наносят значительный ущерб. Следовательно, изучение особенностей развития овражной эрозии в современных условиях весьма актуально и требует прогнозирования развития и разработки приемлемых методов борьбы с оврагами. Интенсивное оврагообразование увеличивает экологическую напряженность природно-антропогенной среды региона, отчуждает сельскохозяйственные земли и ухудшает их качество, создает угрозу объектам дорожной и селитебной инфраструктуры, причиняет ущерб населенным пунктам.

Объект и методы исследования. Расположение исследуемой территории в западной части гор Жетысу Алатау, на восточных склонах хребта Малайсары предопределяет природные и антропогенные условия эрозионных процессов. В орографическом отношении исследуемая территория составляет западные отроги Жетысу Алатау, протягивающиеся к Илийской долине, и представляет собой ряд горных гряд почти широтного простирания, разделенных широкими межгорными долинами. Хребет Малайсары растянут с востока на запад на расстоянии до 80 км, при ширине 8–10 км, и к западу погружается под наносы Илийской долины. Абсолютные высоты 1100–1400 м на востоке и 700–850 м на западе. Относительные превышения – порядка 100–200 м.

Почвенный покров предгорных равнин характеризуется почвами типа малокарбонатных сероземов и выше горно-каштановых.

Климат района континентальный. Зима сравнительно мягкая и сухая, весна быстрая, лето длительное и жаркое. Среднегодовая температура +6,8°C. Среднее суммарное количество годовых осадков 200–250 мм.

Геоморфология района относится к низкогорному денудационному слабонаклоненному рельефу. Поверхность низкогорья обычно сглаженная, прорезанная сетью оврагов и промоин [Майрин с соавт., 1961].

Район изучения приурочен к аллювиальным и аллювиально-пролювиальным равнинам, сложенным четвертичными отложениями различного генезиса, от раннечетвертичного до современного возраста. Коренные отложения представлены континентальными, морскими и интрузивными породами. В формировании современного рельефа принимают участие процессы денудации и аккумуляции. На территории развиваются процессы экзогенного, эндолитогенного, эндокриолитогенного характера [Митрофанова с соавт., 2016].

Выбор ключевого участка для изучения роста вершин оврагов определялся с помощью космических снимков открытого доступа и топографических карт местности. С 2012 по 2017 гг. проводились полевые инструментальные наблюдения методом фиксирования вершин оврагов жесткими реперами, один раз в год (осенний период). В 2017 г. на ключевом участке впервые было проведено наземное лазерное скани-

рование оврагов с применением высокоточного лазерного 3D сканера RIEGL VZ-4000 для получения детальной цифровой модели местности в виде массива облаков точек, с использованием программы RiscanPro для обработки полученных данных (рис. 2). В дальнейшем, при повторных съемках, будут получены количественные показатели смытого объема из оврага. На момент съемки внутренний объем исследуемого отрезка оврага составлял 19 977 м³. Эффективность использования наземного лазерного сканирования при мониторинге эрозионных процессов приводилась в исследованиях А. Baruch, S. Filin, Nicholas R Goodwin, Dirk Kuhn, А.М. Гафурова, Е.А. Веденеевой, О.П. Ермолаева, Б.М. Усманова [Baruch, 2011; Nicholas R. Goodwin, 2017; Dirk Kuhn, 2014; Гафуров, 2016; Гафуров с соавт., 2017].

Для получения морфометрических показателей рельефа применялись картографические методы, ГИС, дешифрирование космических снимков среднего и высокого разрешения с использованием программы ArcGIS, сравнительный, системный анализ и описание результатов. Карты горизонтального и вертикального расчленения рельефа выполнялись в программном обеспечении ArcGIS 10.1, модулем Spatial Analyst, с инструментом «Гидрология». Использование материалов дистанционного зондирования и ГИС-технологий для уточнения морфометрических параметров рельефной среды обеспечивает более объективную и комплексную оценку рельефа района исследования.

Результаты и их обсуждение. В зависимости от сочетаний естественных и антропогенных факторов овражная эрозия в западной части гор Жетысу Алатау распространена неравномерно. При обработке данных дистанционного зондирования в западной части Жетысу Алатау по территории семи административных районов Алматинской области (табл. 1) были выявлены 345 оврагов с разной стадией развития, общей протяженностью 317,16 км, при средней длине 733 м. В западной части гор Же-

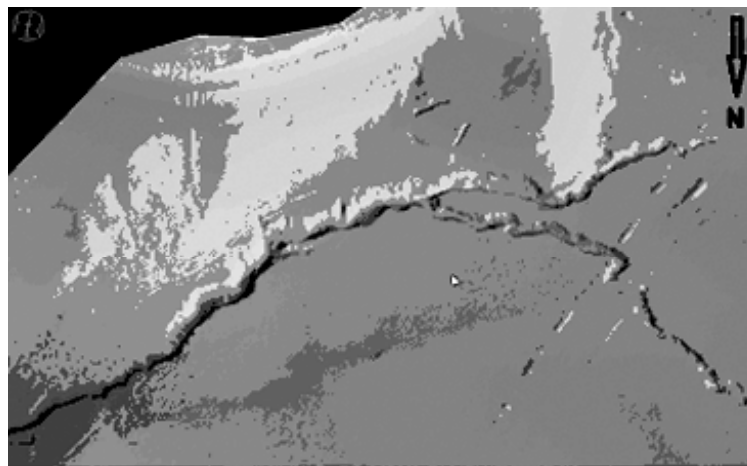


Рис. 2. Цифровая модель оврага у с. Сарыозек

Fig. 2. Digital model of a gully near the Sary Ozek village

Таблица 1

Морфометрические данные оврагов в западной части Жетысу Алатау

Административный район	Количество оврагов	Максимальная длина	Средняя длина	Минимальная длина	Глубина	Ширина
		м				
Аксуский	75	2002	483	48	18	33
Алакольский	31	1729	376	49	12	30
Кербулакский	44	8132	1261	90	33	65
Коксуский	69	16 896	1829	43	45	123
Панфиловский	25	793	246	43	16	40
Саркандский	47	5998	598	52	10	24
Ескельдинский	54	1366	344	54	13	23

тысу Алатау наибольшее количество оврагов наблюдается в Аксуском районе – 75 оврагов (средняя длина – 483 м, глубина – 18 м, ширина – 33 м), наименьшее количество – в Алакольском районе – 31 овраг (средняя длина – 376 м, глубина – 12 м, ширина – 30 м). В западной части гор Жетысу Алатау преобладающим типом оврагов по местоположению являются донные овраги, а также встречаются склоновые. По росту овраги имеют прирост вершинной части и увеличение глубинной части. Причиной развития перечисленных типов оврагов является широкое распространение пролювиальных конусов выноса, саев (балок), имеющих огромные водосборные площади, речных террас, горных склонов и других отрицательных форм рельефа, сложенных рыхлыми четвертичными отложениями. Морфометрические характеристики перечисленных форм рельефа (уклоны, длина склонов и значительные площади водосбора) создают благоприятные условия для создания эрозионных отрицательных форм рельефа – ручейковой сети, рытвин, промоин, оврагов и русел временных водотоков.

Изучение овражных форм проводилось на территории Кербулакского района Алматинской области. Для получения количественных данных развития овражной эрозии был выбран ключевой участок, расположенный южнее 1,5 км от с. Сарыозек (районный центр). Во время полевых работ проводилась фиксация линейного и площадного прироста оврагов, их углубления, изменения сопутствующих процессов, протекающих на склонах и днищах. Рост вершины наблюдаемых оврагов у с. Сарыозек составляет 0,11–0,18 м/год (использовались наблюдения над вершинами оврагов за 5 лет, табл. 2). Преобладающий прирост оврага приходится на весенний период. К основным факторам, определяющим рост оврагов, относятся интенсивность весеннего стока и ливни, гранулометрический состав горных пород и крутизна склонов. Особенно активное развитие оврагов протекает на участках, сложенных лессовидными, тяжелыми и легкими суглинками.

Разновременные фотографии дорожного полотна около овражно-балочной сети, снятые во время полевых работ, наглядно показывают деформацию

Таблица 2

Линейный прирост вершин (над чертой, м) и смытый объем грунта оврагов по годам (под чертой, м³) южнее с. Сарыозек (1,9 км автодороги Сарыозек–Хоргос)

№ оврага	2013	2014	2015	2016	2017
1	0,11	0,07	0,08	0,12	0,18
	0,0025	0,015	0,015	0,03	0,04
2	0,18	0,26	0,24	0,14	0,1
	0,17	0,2	0,21	0,3	0,24

и размыв грунта водной эрозией участка (рис. 3). В районе многие автодороги перегородили естественные ложбины, пути стока атмосферных осадков. Данный фактор способствовал образованию глубоких оврагов южнее с. Сарыозек вдоль автодороги Сарыозек–Хоргос. Во время обильных осадков накопившаяся вдоль дорог вода не успевает проходить через дорожные водопропускные трубы, где эрозионная энергия воды увеличивается до десяти раз. Эти действия приводят к размыву дорожного полотна, разрушению водопропускных труб и в итоге к образованию более глубоких антропогенных оврагов. Кроме того, на данном участке слагающими породами являются неогеновые отложения, которые более подвержены размыву. Все эти факторы только ускоряют формирование рельефа овражного типа вблизи населенных пунктов.

Развитие оврагов на урбанизированных территориях в подавляющем большинстве случаев является вторичным процессом. Из-за нарушений природных или природно-антропогенных комплексов, сложившихся в течение многих десятилетий, крупные овражные формы, возникшие у древних поселений, начинают расти в длину, углубляться и расширяться [Веретенникова с соавт., 2007].

Полученные данные позволяют утверждать, что овражная эрозия является наиболее активным фактором преобразования рельефа на восточных



2014 г.



2017 г.

Рис. 3. Образование антропогенных оврагов у с. Сарыозек
 Fig. 3. Formation of anthropogenic gullies near the Sary Ozek village

склонах хребта Малайсары. Наибольшую тревогу вызывают овраги, вершины которых врезаются в поля и пастбища, а устьевая часть, расширяясь и удлиняясь, приблизилась к жилым массивам с. Сарыозек. Другая проблема – это вынос компонентов минеральных удобрений и пестицидов по тальвегам данных оврагов на низкие гипсометрические уровни (поймы и террасы рек) и водоемы, вызывающий загрязнение водной среды региона.

При изучении овражной эрозии современные ГИС-технологии (космические снимки высокого разрешения, трехмерное лазерное сканирование) позволяют получать морфометрические показатели рельефной среды, наблюдать динамику изменения во времени, обеспечивая более объективную и комплексную оценку. Процесс обработки космических снимков состоял из последовательного выполнения следующих основных этапов: выбора и получения космических снимков; их привязки (трансформирования), разработки принципов; дешифрирования и оцифровки объектов рельефа; разработки структуры цифровой карты; оформления картографического материала. При определении и нанесении овражно-балочных систем на карты дешифровочными признаками послужили бровки склонов, тальвеги оврагов, ровный тон окраски склонов и дна. По материалам исследования создана карта овражно-балочной сети на восточных склонах хребта Малайсары (рис. 4). Овраги района имеют крутые симметричные склоны (до 70°), ширину дна 15–20 м, глубину 5–8 м. Как видно на карте овражно-балочной сети, базисом данных оврагов чаще всего являются выровненные участки предсклоновых равнин, русла, поймы, террасы речных долин и тальвеги балок. Поперечный профиль в основном имеет V-образную форму, реже встречаются каньонобразные и ящикообразные формы с прямыми и крутыми склонами. Поперечный профиль оврагов мо-

жет сменяться от V-образной формы в верхней части к U-образной форме в нижней части. Продольные профили ступенчатые, крутые дугообразные, пологие дугообразные, имеют довольно большую крутизну. Вид овражной сети в плане древовидный и гребенчатый. Крутизна склонов варьирует от 1° до 10°; очень редко встречаются склоны крутизной до 30°.

Построение карт важных морфометрических показателей рельефа позволяет охарактеризовать изучаемую территорию по количественным показателям, более точно и наглядно охарактеризовать рельефную среду с определением густоты и глубины расчленения рельефа. Карты горизонтального и вертикального расчленения рельефа были получены посредством ГИС обработки цифровой модели рельефа с горизонтальным разрешением 30 м. В основу методики построения карт входит расчет морфометрических данных рельефа исследуемой территории посредством обработки цифровой модели рельефа STRM 30m Digital Elevation.

Наглядное представление о пораженности района эрозионными процессами дает созданная карта горизонтального расчленения (рис. 5). Густота эрозионной сети распределяется по территории района неравномерно от 0 до 4 км².

Анализ карты горизонтального расчленения района исследования позволил выделить 4 категории участков, подверженных овражной эрозии, и с определенными показателями густоты эрозионного расчленения:

- слабо подверженные овражной эрозии земли, густота горизонтального расчленения менее 1 км²;
- средне подверженные овражной эрозии земли, густота горизонтального расчленения 1–2 км²;
- сильно подверженные овражной эрозии земли, густота горизонтального расчленения 2–3 км²;
- очень сильно подверженные овражной эрозии земли, густота горизонтального расчленения 3–4 км².

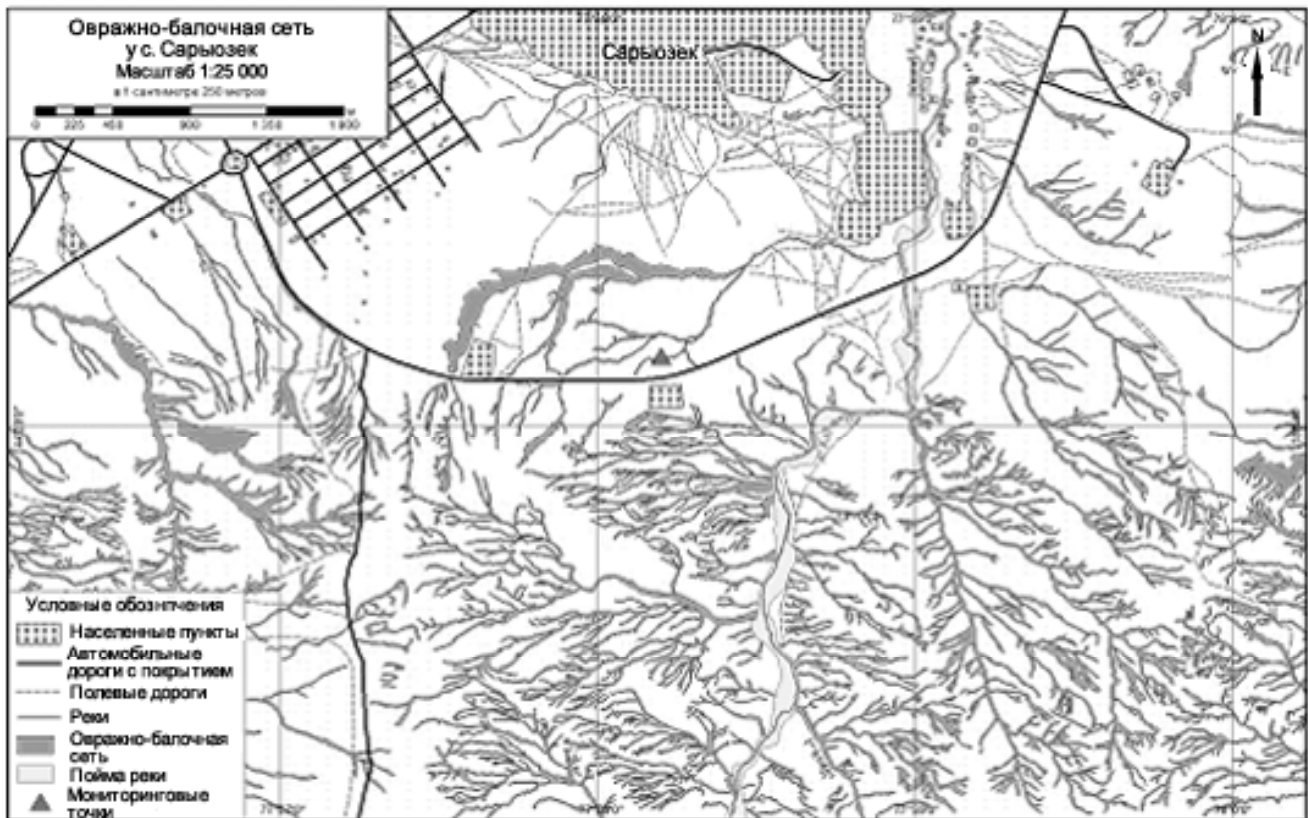


Рис. 4. Овражно-балочная сеть у с. Сарыозек

Fig. 4. Gully and balka network near the Sary Ozek village

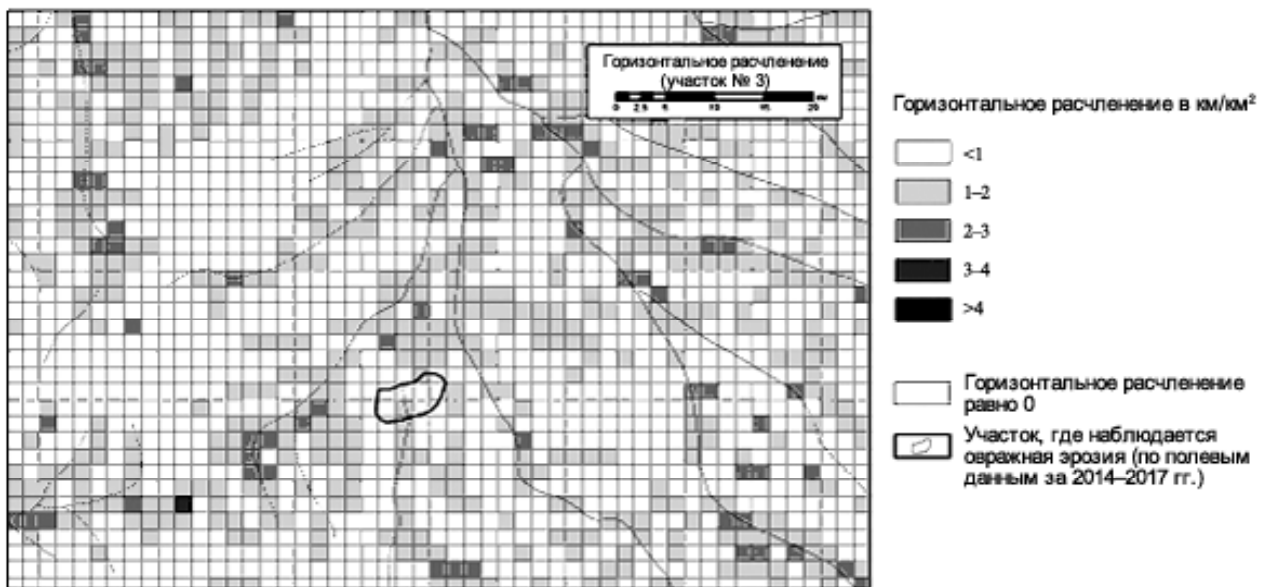


Рис. 5. Горизонтальное расчленение исследуемого района

Fig. 5. Lateral dissection of the area under study

Данные показатели характеризуют пространственную изменчивость эрозионных процессов. Анализ карт горизонтального и вертикального расчленения показывает повсеместную подверженность района исследования эрозионным процессам. По данным подобных карт можно создать карту соотношения занятых оврагами площадей и «фак-

торную» карту оврагообразования [Веретенникова с соавт., 1998].

Одним из важнейших морфометрических показателей рельефа является вертикальное расчленение, которое определяет природные условия развития рельефообразующих процессов. Вертикальное расчленение рельефа в районе исследования колеб-

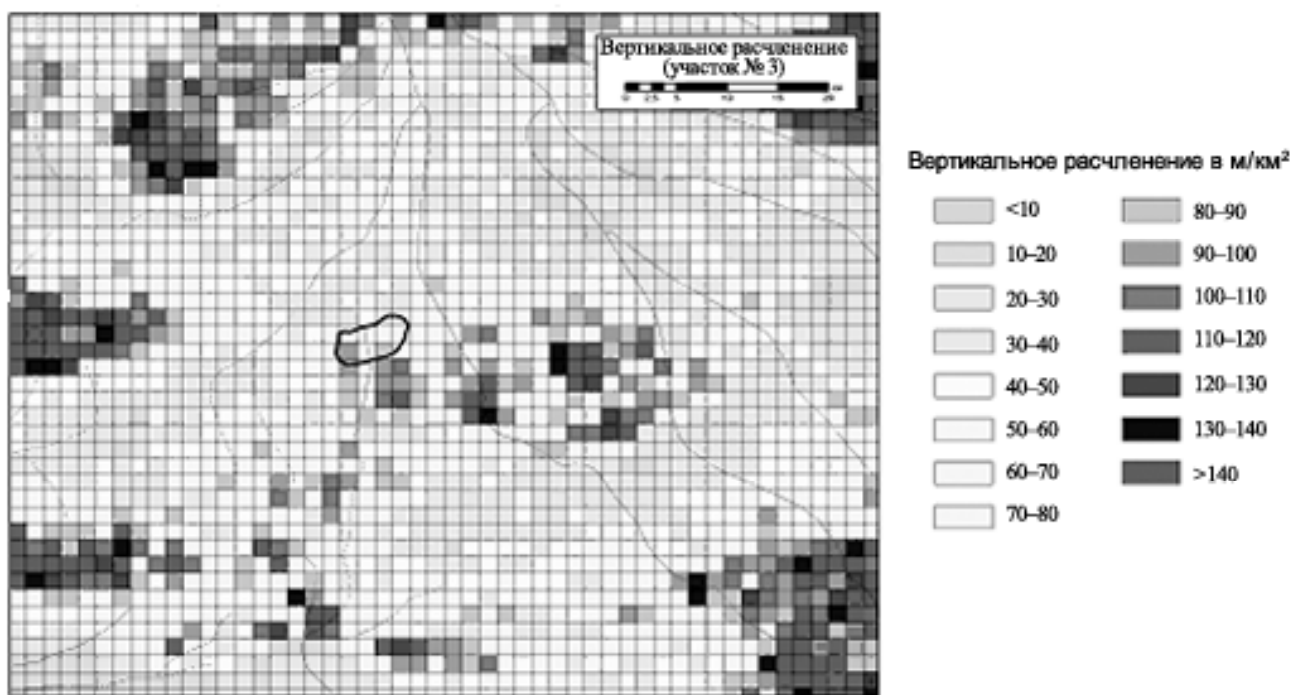


Рис. 6. Вертикальное расчленение исследуемого района

Fig. 6. Vertical dissection of the area under study

лется в диапазоне 10–140 м/км² (рис. 6). Участки с величинами вертикального расчленения от 50 до 110 м/км² практически совпадают с картой горизонтального расчленения, где наиболее распространена овражно-балочная сеть. Имеются небольшие участки с величинами расчленения от 110 м/км² и больше, где в наибольшей степени проявляются эрозионные процессы.

Составленные карты морфометрических показателей дают возможность оценить развитие и распространение эрозионных процессов в регионе.

Выводы

При использовании данных дистанционного зондирования, ГИС-технологий и полевых сведений в исследовании овражной эрозии на западной части Жетысу Алатау получены достоверные морфометрические данные, составлены тематические карты овражно-балочной сети, горизонтального и вертикального расчленения. Установлено, что:

- высокая плотность оврагов наблюдается в предгорьях западной части гор Жетысу Алатау, что обусловлено литологией, количеством атмосферных осадков и глубиной местных базисов эрозии;

- в среднегорном поясе наблюдается слабое развитие оврагов, так как плотные коренные породы затрудняют развитие овражной эрозии, хотя крутизна склонов увеличивается;

- в районах, где повсеместно распространены лессовые породы, наблюдается максимальная плотность густоты оврагов;

- основные причины образования антропогенных оврагов в регионе связаны с нарушением естественного растительного покрова, нерациональной мелиорацией земель, глубокими колеями грунтовых дорог, перераспределением стока при прокладке автомобильных дорог.

Активное развитие овражной эрозии усиливает экологическую напряженность природно-антропогенной среды. Разрастание овражной сети ухудшает качество сельскохозяйственных земель и создает угрозу объектам дорожной и селитебной инфраструктуры. В последнее время борьба с овражной эрозией в регионе практически не организована, хотя понятно, что экологические и экономические последствия этого негативного процесса могут быть значительными не только в западной части гор Жетысу Алатау, но и во всем регионе.

Благодарности. Исследование выполнено при поддержке проекта «Географические основы обеспечения безопасности природопользования горных и равнинных территорий Казахстана, проект № 0112РК00625».

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Веретенникова М.В., Завадский А.С., Зорина Е.Ф., Каргаполова И.Н., Ковалев С.Н., Дубовицкий А.Ю. Овражная эрозия на территории ландшафтного заповедника «Крылатские холмы» в г. Москве // Геоморфология. 2007. № 3. С. 63–70.
- Веретенникова М.В., Зорина Е.Ф., Ковалев С.Н., Любимов Б.П., Никольская И.И., Прохорова С.Д. Современная пораженность овражной эрозией земель сельскохозяйственного фонда и прогноз возможного ее развития // Эрозионные, русловые и устьевые процессы. М., 1998. Т. 11. С. 103–111.
- Гафуров А.М. Оценка интенсивности и динамики почвенной эрозии методом наземного лазерного сканирования // Эрозионные, русловые и устьевые процессы. Сборник статей по материалам XI семинара молодых ученых вузов, объединяемых Межвузовским научно-координационным советом по проблеме эрозионных, русловых и устьевых процессов. Новгород: Мининский университет, 2016. С. 81–90.
- Гафуров А.М., Веденеева Е.А., Ермолаев О.П., Усманов Б.М. Использование метода наземного лазерного сканирования для оценки интенсивности современных экзогенных процессов // Трешниковские чтения. Мат-лы VII Всерос. научно-практической конф. Ульяновск, 2017. С. 14–17.
- Майрин С.Е., Стеркин В.Д. Геологическая карта СССР. 1:200 000. Серия джунгарская. М., 1961. Лист L-43-XXXVI.
- Митрофанова А.Н., Калита Р.Ш., Беккулиева А.А., Халыков Е.Е., Досболов У.К. Мониторинг геоморфологических процессов на ключевых участках Алматинской области при полевых исследованиях 2012–2014 гг. // Антропогенная трансформация геопространства: история и современность. 2016. 188 с.
- Baruch A., Filin S., Detection of gullies in roughly textured terrain using airborne laser scanning data, ISPRS // J. Photogrammetry and Remote Sensing. 2011. V. 66. P. 564–578. URL: <http://www.elsevier.com/locate/isprsjprs>, (reference date: 27.04.2018).
- Dirk Kuhn, Steffen Prüfer. Coastal cliff monitoring and analysis of mass wasting processes with the application of terrestrial laser scanning: A case study of Rügen, Germany // Geomorphology. 2014. V. 213. P. 153–156.
- Michael D. Frachetti, Norbert Benecke, Alexei N. Mar'yashev, Paula N. Doumani Eurasian pastoralists and their shifting regional interactions at the steppe margin: settlement history at Mukri, Kazakhstan // World Archaeology. Debates in World Archaeology. 2010. V. 42. Iss. 4.
- Nicholas R. Goodwin, John D. Armston, Jasmine Muir, Issac Stiller. Monitoring gully change: A comparison of airborne and terrestrial laser scanning using a case study from Aratula, Queensland // Geomorphology. 2017. V. 282. P. 195–208.

Поступила в редакцию 03.05.2018
Принята к публикации 21.05.2018

Khalykov E.E¹

**APPLICATION OF LASER SCANNING METHODS
AND GEOFORMATION SYSTEMS FOR STUDYING
THE GULLY EROSION**

The use of laser scanning methods and GIS technology while studying the gully erosion provides the accurate morphometric characteristics and quantitative data on the rate of ravine propagation. For the first time laser scanning methods and remote sensing data were used to study the development of gully erosion in the mountains of Zhetysu Alatau. The research was carried out within a key area to the south of the Sary Ozek village in the Kerbulak district (the Almaty Region, Republic of Kazakhstan), in the western part of the Zhetysu Alatau Mountains. The semi-stationary observations and the study of gully erosion on the eastern slopes of the Malaysar Range were performed in autumn periods from 2012 to 2017. The results show that the territory's environment is particularly supportive for the development of gully erosion. The ravines of the area under study are predominantly bottom and sometimes sloping, with upper and deep parts growing due to fluvial processes. The results of field and in-office studies are presented. Three-dimensional pictures of ravines are produced in the form of point clouds, where each point has exact x , y and z coordinates for reliable observation of the dynamics of ravine development. The factors influencing the development of gully erosion are studied; the morphometric characteristics of ravines obtained from the remote sensing data are presented.

Key words: gully erosion, gullies, slopes, GIS, ground laser scanning, Zhetysu Alatau Mountains.

Acknowledgements. The study was financially supported by the project № 0112PK00625: Geographical bases for ensuring the safety of nature management in the mountainous and lowland areas of Kazakhstan.

¹ Satpaev Kazakh National Research Technical University, PhD doctoral student; Institute of Geography, Laboratory of Geomorphology and GIS Mapping, Scientific Researcher; e-mail: e.halykov@mail.ru

REFERENCES

- Baruch A., Filin S.* Detection of gullies in roughly textured terrain using airborne laser scanning data, *ISPRS // J. Photogrammetry and Remote Sensing*. 2011. V. 66. P. 564–578. URL: <http://www.elsevier.com/locate/isprsjprs> (Accessed on 27.04.2018).
- Dirk Kuhn, Steffen Prüfer.* Coastal cliff monitoring and analysis of mass wasting processes with the application of terrestrial laser scanning: A case study of Rügen, Germany // *Geomorphology*. 2014. V. 213. P. 153–156.
- Gafurov A.M.* Ocenka intensivnosti i dinamiki pochvennoj jerozii metodom nazemnogo lazernogo skanirovanija [Estimation of the intensity and dynamics of soil erosion by the method of ground-based laser scanning] // *Jerozionnye, ruslovyje i ust'evye processy. Sbornik statej po materialam XI seminaru molodyh uchenyh vuzov, ob#edinjaemyh Mezhvuzovskim nauchno-koordinacionnym sovetom po probleme jerozionnyh, ruslovyh i ust'evyh processov.* Novgorod: Mininskij universitet, 2016. P. 81–90 (in Russian).
- Gafurov A.M., Vedeneva E.A., Ermolaev O.P., Usmanov B.M.* Ispol'zovanie metoda nazemnogo lazernogo skanirovanija dlja ocenki intensivnosti sovremennyh jekzogenykh processov [Using the method of ground-based laser scanning to estimate the intensity of modern exogenous processes] // *Treshnikovskie chtenija, materialy VII vserossijskoj nauchno-praktičeskoj konferencii. Ul'janovsk*, 2017. P. 14–17 (in Russian).
- Mairin S.E., Sterkin V.D.* Geologičeskaja karta SSSR. Masshtab 1:200 000, Serija dzhungarskaja [Geological map of the USSR. Scale 1:200 000. A series of Dzungarian]. Moscow, 1961. Sheet L-43-XXXVI (in Russian).
- Michael D. Frachetti, Norbert Benecke, Alexei N. Mar'jashev, Paula N. Doumani* Eurasian pastoralists and their shifting regional interactions at the steppe margin: settlement history at Mukri, Kazakhstan // *World Archaeology. Debates in World Archaeology*. 2010. V. 42. Iss. 4.
- Mitrofanova A.N., Kalita R.Sh., Bekkulieva A.A., Khalykov E.E., Dosbolov U.K.* Monitoring geomorfologičeskikh processov na ključevykh uchastkah Almatinskoi oblasti pri polevykh issledovanijah 2012–2014 gg. [Monitoring of geomorphological processes in key areas of the Almaty region during field studies of 2012–2014] // *Antropogennaja transformacija geoprostranstva: istorija i sovremennost'.* 2016. 188 p. (in Russian).
- Nicholas R. Goodwin, John D. Armston, Jasmine Muir, Issac Stiller* Monitoring gully change: A comparison of airborne and terrestrial laser scanning using a case study from Aratula, Queensland // *Geomorphology*. 2017. V. 282. P. 195–208.
- Veretennikova M.V., Zavadsky A.S., Zorina E.F., Kargapolova I.N., Kovalev S.N., Dubovitsky A.Yu.* Ovražhnaja jerozija na territorii landshaftnogo zapovednika «Krylatskie holmy» v g. Moskve [Gully erosion in the territory of the landscape reserve «Krylatskie Hills» in Moscow] // *Geomorfologija*. 2007. № 3. P. 63–70 (in Russian).
- Veretennikova M.V., Zorina E.F., Kovalev S.N., Lyubimov B.P., Nikolskaya I.I., Prokhorov S.D.* Sovremennaja porazhennost' ovražhnoj jerozijej zemel' sel'skhozjajstvennogo fonda i prognoz vozmožnogo ee razvitija [Modern damage of agricultural land by gully erosion and the forecast of its possible development] // *Jerozionnye, ruslovyje i ust'evye process.* Moscow. 1998. V. 11. P. 103–111 (in Russian).

Received on 03.05.2018
Accepted on 21.05.2018