



УДК 631.459.21 : 631.485

О КОЛИЧЕСТВЕННЫХ ПАРАМЕТРАХ ЗАГРЯЗНЕНИЯ УРБАНИЗИРОВАННЫХ ТЕРРИТОРИЙ В КОНТЕКСТЕ ПРОЦЕССОВ ОПУСТЫНИВАНИЯ (НА ПРИМЕРЕ г. ЗАКАМЕНСКА, РЕСПУБЛИКИ БУРЯТИЯ)© А.И. Куликов¹, Б.З. Цыдыпов², Г.Г. Хамнаева³, Б.В. Содномов⁴¹Институт общей и экспериментальной биологии СО РАН,
670047, Россия, г. Улан-Удэ, ул. Сахьяновой, 6.^{2,4}Байкальский институт природопользования СО РАН,
670047, Россия, г. Улан-Удэ, ул. Сахьяновой, 8.³Бурятская государственная сельскохозяйственная академия им. В.Р. Филиппова,
670034, Россия, г. Улан-Удэ, ул. Пушкина, 8.

Проведен анализ существующих моделей эрозии и дефляции. Получены количественные параметры временной изменчивости эрозионного потенциала осадков для конкретного региона – г. Закаменска Республики Бурятия. Определены количественные показатели нагрузок на территорию города загрязнителей за счет водно-эрозионных и дефляционных потоков на основе эрозионно-дефляционных моделей.

Ил. 4. Табл. 4. Библиогр. 20 назв.

Ключевые слова: урбоземы; эрозия; дефляция; песчаные отложения; опустынивание; водные потоки; осадки; модель.

ON QUANTITATIVE PARAMETERS OF URBANIZED TERRITORY POLLUTION IN THE CONTEXT OF DESERTIFICATION PROCESSES (CASE STUDY OF THE TOWN OF ZAKAMENSK, BURYATIA)

A.I. Kulikov, B.Z. Tsydypov, G.G. Khamnaeva, B.V. Sodnomov

Institute of General and Experimental Biology SB RAS,

6 Sakhyanova St., Ulan-Ude, 670047, Russia.

Baikal Institute for Nature Management SB RAS,

8 Sakhyanova St., Ulan-Ude, 670047, Russia.

Philippov Buryat State Agricultural Academy,

8 Pushkin St., Ulan-Ude, 670034, Russia.

The analysis of existing erosion and deflation models allowed to obtain quantitative parameters of temporal variability of the erosive potential of precipitation for a specific region (the town of Zakamensk in the republic of Buryatia). Quantitative indices of pollutant loads on the town territory due to water erosion and deflation flows are determined on the basis of erosion and deflation models.

4 figures. 4 tables. 20 sources.

Key words: urban soil; erosion; deflation; sand deposits; desertification; water flows; precipitation; model.

Введение. Для индустриального и постиндустриального общества характерной является урбанизация. В городах создается особая среда, формируются своеобразные урбоэкосистемы и почвы – урбоземы [2, 15]. Высокая концентрация населения и техники, пониженная экологическая устойчивость урбоземов вызвали широкое развитие процессов опустынивания.

Объекты и методы. Экологические проблемы г. Закаменска Республики Бурятии связаны с песчаными отложениями (техноэлювием) – последствиями горнодобывающей деятельности. Здесь расположены обо-

гатительные фабрики, а вплотную к селитебной зоне примыкает хвостохранилище обогатительных фабрик бывшего Джидинского вольфрамово-молибденового комбината. Пески накоплены в большом количестве и содержат опасные концентрации тяжелых металлов. Опустынивание на урбанизированной территории (урбоопустынивание) проявляется локально, но отличается от сельскохозяйственного глубоким и всесторонним деструктивным изменением компонентов среды. В Закаменске урбоопустынивание связано с химическим загрязнением песчаного техноэлювия, распро-

¹Куликов Анатолий Иннокентьевич, доктор биологических наук, профессор, главный научный сотрудник лаборатории географии и экологии почв, тел.: 89025648226, e-mail: kul-an52@mail.ru

Kulikov Anatoly, Doctor of Biology, Professor, Chief Researcher of the Laboratory of Soils Geography and Ecology, tel.: 89025648226, e-mail: kul-an52@mail.ru

²Цыдыпов Баир Зугдырович, кандидат технических наук, старший научный сотрудник лаборатории геоэкологии, тел.: 89024585468, e-mail: bz61@mail.ru

Tsydypov Bair, Candidate of technical sciences, Senior Researcher of the Geoecology Laboratory, tel.: 89024585468, e-mail: bz61@mail.ru

³Хамнаева Галина Геннадьевна, старший преподаватель кафедры кадастра и права, тел.: 89025641907, e-mail: hammaeva@mail.ru

Khamnaeva Galina, Senior Lecturer of the Department of Cadasters and Law, tel.: 89025641907, e-mail: hammaeva@mail.ru

⁴Содномов Батор Валерьевич, инженер 2 кат. лаборатории геоэкологии, тел.: 89644022063, e-mail: batorsodnomov@gmail.com
Sodnomov Bator, 2d Category Engineer of the Geoecology Laboratory, tel.: 89644022063, e-mail: batorsodnomov@gmail.com



странением поллютантов водными и ветровыми потоками [10, 18]. Эрозия происходит как в виде плоскостного смыва (рис. 1), так и линейного размыва (рис. 2). Наиболее впечатляющей является овражная эрозия.

В России овражной эрозией поражено до 7 млн га земель, количество оврагов приближается к 15 млн, ежегодный прирост в длину овражной сети составляет более 20 тыс. км. Свыше 700 городов России подвержено овражной эрозии [8, 14]. Причем, оврагообразование на городской территории нельзя считать однозначно опасным. Возникает взаимозависимая система: город – овражно-балочная сеть.

Техноэлювий Закаменска относится к рыхлым или слабосвязным пескам (табл. 1). Плотность песков значительна, поэтому общая порозность невелика, как и коэффициент порозности. Для эрозии важно, что пески характеризуются большой фильтрацией влаги.



Рис. 1. Плоскостная эрозия поверхности техноэлювия

Среди гранулометрических фракций преобладают частицы крупнее 0,2 мм (табл. 2). Тонкие фракции содержатся в количестве около 12%. По происхождению и гранулометрическому составу (ГОСТ 25100-95) отложения техноэлювия относятся к классу техногенных дисперсных грунтов, группе несвязных, подгруппе природных насыпных перемещенных образований, типу отходов производственной и хозяйственной деятельности, виду песков [5]. Так как содержание фрак-

ций крупнее 0,25 мм превышает 50%, то пески техноэлювия имеют среднюю крупность. По данному показателю пески техноэлювия аналогичны природным золовым пескам [7].



Рис. 2. Овражная эрозия поверхности техноэлювия

В общем виде эрозия начинается, если соблюдается условие

$$r_d > q,$$

где r_d – скорость выпадения дождевых осадков; q – скорость впитывания воды поверхностью техноэлювия. Расход стока воды (Q) на различных участках склона (X) определяется зависимостью

$$dQ/dx = r_d - q,$$

т.е. зависит от потерь стока по мере продвижения вниз по склону на впитывание, а эрозионные потери почвы (V) будут зависеть от W – площади поперечного сечения стока (живое сечение) и l – длины стока

$$V = \int_0^l w dl.$$

Таблица 1

Некоторые физические свойства песков техноэлювия г. Закаменска

Название	ρ_s , г/см ³	ρ_d г/см ³	Порозность, % объемный	K_ϕ , см/сут.	e
Песок рыхлый	2,5	1,67	33	140	0,50
Песок связный	2,5	1,60	36	120	0,56

Примечание: ρ_s – плотность твердой фазы; ρ_d – плотность почвы; K_ϕ – коэффициент фильтрации; e – коэффициент пористости, т.е. отношение объема пор к объему твердой фазы, формула для определения: $e = (\rho_s - \rho_d) / \rho_d$.

Таблица 2

Гранулометрический состав техноэлювия

Размер фракций, мм	Содержание, %
1–0,5	36,98
0,5–0,2	39,28
0,2–0,074	12,06
0,074–0,044	5,3
< 0,044	6,38
Итого:	100



Сдвигающая сила водного потока (F_{cd}) зависит от скорости потока (v), слоя воды (h) и отношения массы частицы (m) к площади ее поперечного сечения (S):

$$F_{cd} = f(F_{cu}, v, h, m/S).$$

Величина F_{cd} возрастает с увеличением (v) и (h) и уменьшением (m/S). F_{cu} – сила сцепления почвенных частиц – находится в функции от плотности частицы (ρ) и прочности ее связи с другими частицами F_{ce} , зависит от содержания в почве коллоидов и многих других факторов:

$$F_{cu} = f(\rho, F_{ce}).$$

Эрозия происходит при условии $F_{cd} > F_{cu}$. Скорость водного потока, при которой начинается отрыв твердых частиц от поверхности почвы, называется критической скоростью потока ($v_{кр}$). При одной и той же плотности суммарное поперечное сечение частиц на единицу объема возрастает по мере уменьшения их размеров. Поэтому критическая скорость потока меньше на почвах с более мелкими микроагрегатами и гранулометрическими частицами, чем на почвах с крупными частицами.

Для прогнозного расчета эрозии техногенных песков Закаменска воспользуемся так называемым «универсальным уравнением» эрозионных потерь почвы (модель USLE), разработанным в США [20]. Модель USLE адаптирована в ряде работ [9, 11].

Уравнение имеет вид

$$Q = 0,224 \cdot R_{30} \cdot K \cdot LS \cdot C \cdot P,$$

где Q – потери почвы при эрозии, кг/м²/год; R_{30} – эрозионный потенциал (индекс) дождей; K – комплексная характеристика свойств почвы (эродируемость или смываемость почвы); LS – эрозионный потенциал (индекс) рельефа; C – комплексная характеристика способа использования почвы, P – комплексная характеристика противоэрозионных мероприятий. Для нашего случая последние два члена приравниваются к единице, т.к. техноэлювий в земледелии не используется.

Универсальное уравнение почвенной эрозии позволяет определять смыв почвы со склонов в широком диапазоне временных масштабов от одного эрозионного события до всего периода освоения. Недостаток: невозможность вычисления величины аккумуляции и переотложения наносов в пределах склонов.

Эрозионный потенциал осадков

$$R_{30} = E \cdot I_{30} / 100,$$

где I_{30} – 30-минутная интенсивность дождя, мм/ч;

LS – кинетическая энергия капель для l мм дождя, выпадающего на 1 м², кгс · м. Энергия дождя определяется по формуле

$$E = 1,213 + 0,8901 \cdot \lg r_d,$$

где r_d – интенсивность дождя, мм/ч.

Определить послойно кинетическую энергию дождя и в целом эрозионный потенциал осадков довольно сложно. Причем подходы и расчетные схемы должны быть унифицированными – для проведения сравнительного анализа. Эрозионный потенциал дождя (R_{30}) находится по произведению слоя осадков на максимальную 30-минутную интенсивность:

$$R_{30} = 0,258 \cdot H \cdot I_{30} - 0,149,$$

где H – слой осадков, мм.

Индекс I_{30} определяется по следующей формуле:

$$I_{30} = 0,121 \cdot \exp(0,0529 \cdot H).$$

Расчеты проводятся отдельно для каждого дождя слоем 10 мм и более. Дожди в меньшем количестве не вызывают заметного смыва [16]. Далее следует суммирование R_{30} отдельных дождей за сезон с жидкими осадками.

Результаты. Эрозия

В Закаменске для одного дождя (i) слоем

$H_i = 14,1$ мм получено

$$\begin{aligned} I_{i30} &= 0,121 \cdot \exp(0,0529 \cdot 14,1) = \\ &= 0,121 \cdot \exp(0,7176) = \\ &= 0,121 \cdot 2,142043 = 0,259187. \end{aligned}$$

Отсюда эрозионный индекс единичного дождя

$$\begin{aligned} R_{i30} &= 0,258 \cdot 14,1 \cdot 0,259187 - \\ &- 0,149 = 0,79. \end{aligned}$$

Для всех дождей расчетного года $\sum R_{i30} = 8$. Для получения климатической нормы используют осреднение обычно за 30 лет (в США 22 года). По Закаменску среднее значение R_{30} за 1966–2013 гг. равняется 21,4 ед. По схематической карте эрозионного потенциала осадков [11] район Закаменска расположен между значениями 6 и 10 ед.

На распределение осадков в многолетнем цикле оказывает влияние глобальное изменение климата. В Закаменске изменения эрозионного потенциала осадков (ЭПО) в 1966–1975 гг. колеблются в пределах 9–37 при среднем значении 18,0 ед. В следующем десятилетии (1976–1985 гг.) диапазон колебаний расширился до 10–42 при средней величине 16,7 ед. В 1986–1995 гг. происходило дальнейшее расширение экстремума до 6–111 при среднем ЭПО 23,6 ед. Максимум ЭПО 111 ед. наблюдался в 1992 г. Если исключить аномальный год, то получим колебания в пределах 6–28 и среднее 13,9 ед. В следующем десятилетии (1996–2005 гг.) происходит дальнейший рост



среднего значения ЭПО до 26 ед. при крайних величинах 3,5–42. В 2006–2013 гг. амплитуда колебания ЭПО продолжала возрастать от 3 до 61, а среднее значение достигло 25,5 ед. Особенно неустойчивым выглядит начало XXI в. Из уравнения регрессии следует, что рост ЭПО составляет 2,5 ед./10 лет (рис. 3). Общий рост ЭПО и особенно его неустойчивости по годам свидетельствует о том, что все более вероятными становятся эрозионноопасные дождевые ливни.

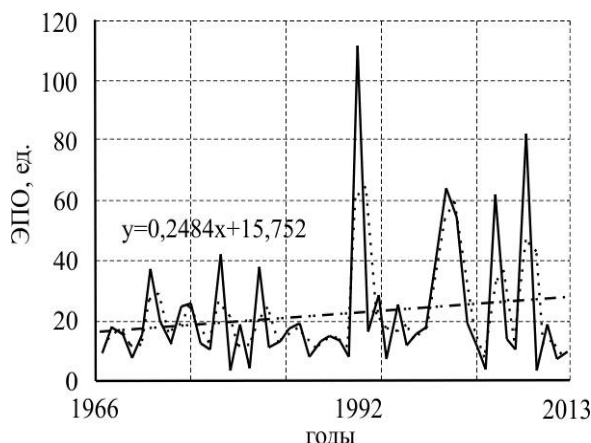


Рис. 3. Многолетняя динамика эрозионного потенциала осадков (R30) с 1966 по 2013 гг. в Закаменске с трендом, формулой тренда и сглаживающей кривой

LS-фактор показывает, во сколько раз интенсивность смыва на данном склоне при его морфометрических характеристиках превышает интенсивность смыва на единицу индекса осадков со стоковой площадки с эталонными параметрами длины и уклона. Для вычисления эрозионного потенциала рельефа LS надо иметь фактические значения крутизны и длины склона. За длину склона обычно принимают длину линии стока какого-либо одного типа угодья от его верхней границы, водораздела или искусственного рубежа стока (профилированная дорога, канава, лесная полоса и т.д.) до нижней границы или тальвега лощины (балки), или также искусственного рубежа стока. Уклон измеряется по наиболее крутой части склона между двумя соседними или несколькими сближенными горизонталями.

Участки эрозионного загрязнения расположены в восточной части города. Первый участок технозлювия: площадь 30,43 га, относительная высота 37 м, длина линии стока 480 м, средняя крутизна склона в сторону водотока и городской черты $9,5^\circ$ ($\text{tg} 9,5^\circ = 16,7\%$). Второй участок имеет площадь 170,4 га, высоту 86 м, длину 920 м, среднюю крутизну склона в сторону дренирующего водотока 21° ($\text{tg} 21^\circ = 38,4\%$). Ввиду искусственного происхождения и относительно небольшого (в геологическом масштабе) времени после отсыпки склоны участков в продольном профиле ровные, в поперечном изрезаны эрозионными рывтинами, бороздами и оврагами.

Для определения эрозионного потенциала рельефа воспользуемся выражением

$$LS = L^{0,4} \times S^{1,45}.$$

Для первого участка

$$\begin{aligned} LS_1 &= L^{0,4} \times S^{1,45} = \\ &= 480^{0,4} \cdot 16,4^{1,45} = \\ &= 11,817 \cdot 0,075 = 0,89. \end{aligned}$$

Для второго участка

$$\begin{aligned} LS_2 &= L^{0,4} \times S^{1,45} = \\ &= 920^{0,4} \cdot 38,4^{1,45} = \\ &= 15,329 \cdot 0,250 = 3,83. \end{aligned}$$

Для приближенного быстрого определения LS заслуживает внимания номограмма (рис. 4).

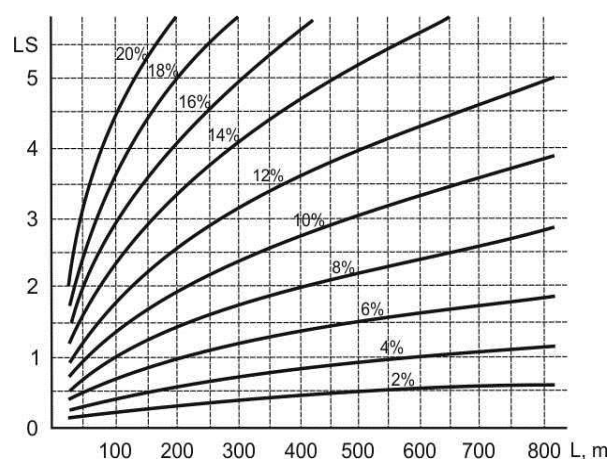


Рис. 4. Номограмма для определения эрозионного потенциала рельефа LS

Из табулированных значений [9] вытекает, что противозэрозионную стойкость оголенного песчаного технозлювия можно принять равной $K = 0,42$.

С учетом полученных параметров, эрозионные потери техногенных песков составят на первом участке:

$$\begin{aligned} Q_1 &= 0,224 \cdot R \cdot K \cdot LS_1 = \\ &= 0,224 \times 8 \times 0,42 \times 0,89 = \\ &= 0,6698 \text{ кг} / \text{м}^2 / \text{год} = \\ &= 6,7 \text{ т} / \text{га} / \text{год}. \end{aligned}$$

Тогда со всей площади первого участка в черту города ежегодно попадают до 204 т загрязненных песков.

На втором участке:

$$\begin{aligned} Q_2 &= 0,224 \cdot R \cdot K \cdot LS_2 = \\ &= 0,224 \times 8 \times 0,42 \times 3,83 = \\ &= 2,8826 \text{ кг} / \text{м}^2 / \text{год} = \\ &= 28,8 \text{ т} / \text{га} / \text{год}, \end{aligned}$$



т.е. прессинг загрязнения на гидроэкосистемы местного водотока составляет 4907 т ежегодно.

Почвенно-эрозионное загрязнение среды – самостоятельное явление. Для него характерны особые почвенно-эрозионные миграционные трассы загрязнителей на водосборе. Транспорт вещества происходит со склоновыми наносами. Последние вдоль склона проходят гидромеханическую селекцию по фракциям и специфическую химическую трансформацию.

В районе оз. Байкал при интенсивности смыва почвы на пашне 15,8 т/га/год, модуле смыва 3,2 т/га/год и годовом слое водного стока 43 мм условная концентрация валового фосфора составила 6,0 мг/л [12]. Интересны сведения, приведенные М.Ю. Белоцерковским и М.В. Топуновым [3]. Так, в 90-х годах XX в. в Бурятии при общей площади пашни 1019,2 тыс. га средний смыв составлял 10,5 т/га/год, а допустимый – 4,5 т/га/год. Вообще в Восточно-Сибирском регионе интенсивность смыва почвы с пашни одна из самых высоких среди экономических регионов России – 8,1 т/га/год. В целом по России интенсивность смыва составляет 4,3 т/га/год. Ежегодный валовой смыв с территории Восточной Сибири равен 77926,1 тыс. т, а с территории России – 566240,2 тыс. т.

Н.И. Хирсановым и Г.К. Осиповым [13] разработана эмпирическая формула поступления фосфора в природную среду с продуктами эрозии $W_p = 0,02 \cdot G^{0,58}$, где G – модуль смыва почвы

(т/га), а W_p – вынос фосфора (кг). Показатель степени в этой зависимости отражает относительное снижение интенсивности выноса фосфора с ростом интенсивности смыва почв. Фосфор принят индикаторным элементом.

Для техногенных песков Закаменска приоритетными загрязнителями являются Cd, Pb, Zn, Cu, а также Mo и W. Для этих элементов рассчитаны размеры эрозионного загрязнения городской территории и водных объектов (табл. 3).

Как установлено почвенно-геохимическими исследованиями [10], содержание кадмия в техноэлювии обоих участков составляло 0,001 %, или 10 г/т. Малое содержание кадмия объясняется его относительной редкостью и рассеянностью. Кларк кадмия в земной коре равняется 0,13 мг/кг (0,13 г/т) [4]. Сам металл не имеет токсикологического значения. Он становится токсичным при переходе в оксид. Условно принимается, что в стоках наносов содержание кадмия остается таким же, как в песках техноэлювия. При таких допущениях в урбоэкосистему Закаменска с площади первого участка кадмий ежегодно попадает в количестве 0,002 т (2 кг). Только со времени закрытия горнодобывающего производства (1996 г.) на территорию города с эрозионными стоками его попало 0,03 т. Жидкий и твердый стоки со стороны второго участка попадают в водоток. Следовательно, загрязнение кадмием гидроэкосистемы со стороны второго участка на порядок выше.

Таблица 3

Эрозионное загрязнение территории Закаменска тяжелыми металлами

Элемент-загрязнитель	Содержание	1-й участок	2-й участок
Cd	а) in situ в песках техноэлювия, %	0,001	0,001
	б) в эродированных песках, т/т	$1 \cdot 10^{-5}$	$1 \cdot 10^{-5}$
	в) валовой прессинг со всей площади участка на урбоэкосистему, т/год	$2,04 \cdot 10^{-3}$	0,049
	г) прессинг за период 1996–2011 гг., т	0,030	0,700
Pb	а) in situ в песках техноэлювия, %	0,120	0,210
	б) в эродированных песках, т/т	$1,2 \cdot 10^{-3}$	$2,1 \cdot 10^{-3}$
	в) валовой прессинг на урбоэкосистему, т/год	0,245	10,305
	г) прессинг за период 1996–2011 гг., т	3,700	154,600
Zn	а) in situ в песках техноэлювия, %	0,080	0,100
	б) в эродированных песках, т/т	$8 \cdot 10^{-4}$	$1 \cdot 10^{-3}$
	в) валовой прессинг на урбоэкосистему, т/год	0,163	4,907
	г) прессинг с 1996 г., т	2,400	73,600
Cu	а) in situ в песках техноэлювия, %	0,040	0,020
	б) в эродированных песках, т/т	$4 \cdot 10^{-4}$	$2 \cdot 10^{-4}$
	в) валовой прессинг на урбоэкосистему, т/год	0,082	0,981
	г) прессинг за период 1996–2011 гг., т	12,300	14,700
W	а) in situ в песках техноэлювия, %	0,140	0,080
	б) в эродированных песках, т/т	$1,4 \cdot 10^{-3}$	$8 \cdot 10^{-4}$
	в) валовой прессинг на урбоэкосистему, т/год	0,286	3,926
	г) прессинг за период 1996–2011 гг., т	4,300	58,900
Mo	а) in situ в песках техноэлювия, %	0,015	0,020
	б) в эродированных песках, т/т	$1,5 \cdot 10^{-4}$	$2 \cdot 10^{-4}$
	в) валовой прессинг на урбоэкосистему, т/год	0,031	0,981
	г) прессинг за период 1996–2011 гг., т	0,500	14,700



Другие металлы в песках техноэлювия содержатся в значительно больших количествах. Так, ртуть после прекращения промышленных работ в гидрозкосистеме оказалась в количестве 3,7 и 155 т, соответственно с первого и второго участков. Другие металлы в загрязнении водной системы по абсолютной массе участвуют в меньшей степени.

Дефляция почв. Другим типом опустынивания на урбанизированной территории является дефляция. Критическая скорость ветра для частиц разного диаметра различна. Это объясняет сортировку минеральных частиц по диаметру. Сортировка частиц приводит к образованию в одном случае песчаных пустынь, а в другом – глинистых, а также лессовых отложений на окружающих пустыни территориях. Обычно на месте остаются частицы менее 0,01 и более 1 мм, а крупнопылеватые частицы размерами 0,01–0,05 мм выносятся на большие расстояния и оседают в виде лессов. По свидетельству М.И. Долгиловича [6], дальность переноса тонкодисперсного материала при пыльных бурях доходит до 4000 км. Именно в результате такой сортировки образовались отложения лессов на периферии пустынь. Справедливо можно утверждать, что лессовое плато и плодороднейшие почвы *хейлуту*, сформировавшиеся за более чем 4000-летнюю историю окультуривания, своим образованием обязаны золотому материалу, вынесенному из Центральноазиатских степей. Установлено сходство материала пылевых бурь Центральной Азии, Китая и Приморья по химическому составу [17]. При этом важно в будущем показать общность песков Центральной Азии и лессов поймы р. Хуанхэ по микроэлементному составу, наличию редких элементов. По материалам NASA установлено, что каждый год из Центральноазиатского региона до Северной Америки переносится 56 млн т пыли. Особенно активно пыль летит весной в связи с активизацией циклонов и сильными западными ветрами, преобладающими в средних широтах.

Из центральной и западной части Сахары пыльные бури проникают в воздушное пространство над Атлантическим океаном. Взятые пробы показывают, что пыль может распространяться до Южной и Центральной Америки. Для многих азиатских стран, включая Корею, весной становится актуальным прогноз содержания в воздухе желтой пыли (Yellow Dust, Yellow Sand, Asian Dust) при развитии так называемых желтых пыльных бурь. Для предотвращения пыльных бурь, которые нарушают работу многих электронных средств в Монголии, в пустыне Гоби, с помощью международного сообщества организована программа «Зеленая стена» (Green Belts) и начинаются исследования по фитомелиоративному закреплению песков.

В современную эпоху все более актуальной становится проблема прогноза пыльных бурь. Разработкой методик распознавания и проведением их космического мониторинга занимаются с конца 90-х годов. Дешифрирование пыльных бурь и оценка их основных характеристик проводятся с помощью специального нормализованного дифференциального пылевого индекса NDDI (Normalized Difference Dust Index), который

при исследовании пыльных бурь в Северном Китае и Монголии по данным MODIS ввели китайские ученые [19].

ДПВ – дефляционный потенциал ветра (r_i) рассчитывается по формуле

$$r_i = 0,001 \cdot V_i^3 \cdot f_i,$$

где V_i^3 – скорость ветра в группе скоростей i ; f_i – продолжительность ветра в % от общего периода в направлении j и при группе скоростей i . Расчет ДПВ ведется по каждому месяцу как сумма по каждому направлению из восьми румбов.

При прогнозировании дефляции почв исходят из того, что кинетическая энергия ветра прямо пропорциональна кубу его скорости и обратно пропорциональна влажности почв. Дефляционная работа ветра, имеющего, например, скорость 4 м/с, будет превышать работу ветра, имеющего скорость 2 м/с, не в два, а в 8 раз.

Климатический показатель дефляции

$$C = \frac{10^2 \cdot V^3}{(H/T + 10)^2},$$

где V , H , T – среднегодовые значения скорости ветра, количества осадков, температуры воздуха. В числителе – куб скорости ветра, в знаменателе – квадрат влажности.

Климатический фактор дефляции почв можно также определить по выражению

$$C = \frac{34,486 \cdot 10^2 \cdot V^3}{(P - E)^2},$$

где в числителе куб скорости ветра, в знаменателе квадрат влажности в виде квадрата разности осадков (P) и испаряемости (E).

При годовом эрозионном потенциале ветра 50–100, в регионе ежегодно возникает в среднем 2–5 пыльных бурь [1]. Для песков техноэлювия противодефляционная устойчивость минимальна и равна 15. Вероятность дефляции почв оценивается баллом 4, т.е. как высокая. Эоловая аккумуляция достигает 10 т/га/год.

При дефляции с загрязненным песком на территорию города и в гидрозкосистемы заносятся те же элементы, которые содержатся в техноэлювии (табл. 4). С момента закрытия горнодобывающего предприятия (1996 г.) на первом участке дефляционное загрязнение вольфрамом достигло 6,5 т. Гидрозкосистема получила 20 т W с этого участка. Также велики аэральные поступления свинца, меди и др.



Таблица 4

Дефляционное загрязнение территории Закаменска тяжелыми металлами

Элемент-загрязнитель	Содержание	1-й участок	2-й участок
Cd	а) в эродированных песках, т/т	$1 \cdot 10^{-5}$	$1 \cdot 10^{-5}$
	б) валовой прессинг со всей площади участка на урбо-экосистему, т/год	$3,04 \cdot 10^{-3}$	$17,04 \cdot 10^{-3}$
	в) прессинг за период 1996–2011 гг., т	0,05	0,24
Pb	а) в эродированных песках, т/т	$1,2 \cdot 10^{-3}$	$2,1 \cdot 10^{-3}$
	б) валовой прессинг со всей площади участка на урбо-экосистему, т/год	0,37	3,58
	в) прессинг за период 1996–2011 гг., т	5,6	53,7
Zn	а) в эродированных песках, т/т	$8 \cdot 10^{-4}$	$1 \cdot 10^{-3}$
	б) валовой прессинг со всей площади участка на урбо-экосистему, т/год	0,24	1,70
	в) прессинг за период 1996–2011 гг., т	3,6	25,5
Cu	а) в эродированных песках, т/т	$4 \cdot 10^{-4}$	$2 \cdot 10^{-4}$
	б) валовой прессинг со всей площади участка на урбо-экосистему, т/год	0,12	0,34
	в) прессинг за период 1996–2011 гг., т	1,8	5,1
W	а) в эродированных песках, т/т	$1,4 \cdot 10^{-3}$	$8 \cdot 10^{-4}$
	б) валовой прессинг со всей площади участка на урбо-экосистему, т/год	0,43	1,36
	в) прессинг за период 1996–2011 гг., т	6,5	20,4
Mo	а) в эродированных песках, т/т	$1,5 \cdot 10^{-4}$	$2 \cdot 10^{-4}$
	б) валовой прессинг со всей площади участка на урбо-экосистему, т/год	0,05	0,34
	в) прессинг за период 1996–2011 гг., т	0,8	5,1

Заключение. Загрязнение тяжелыми металлами оказывает негативное влияние на здоровье жителей Закаменска. Загрязнение воздуха явилось причиной рисков увеличения среди горожан таких заболеваний, как сердечно-сосудистые, рак легких, хронические и острые респираторные, включая астму [10]. Поэтому необходимо срочное проведение рекультивации и ремедиации загрязненных песков техноэлювия, реабилитация территории г. Закаменска Республики Бурятии.

Работа выполнена при частичной финансовой поддержке проектов РФФИ № 12-05-98066-р_сибирь_а «Комплексные исследования процессов деградации и опустынивания земель Байкальского региона с использованием геоинформационных технологий» и № 13-05-41378-РГО_а «Трансформация природной среды Забайкалья и сопредельных территорий: ретроспективный анализ и современное состояние».

Статья поступила 20.11.2014 г.

Библиографический список

1. Баженова О.И., Любцова Е.М., Рыжов Ю.В., Макаров С.А. Пространственно-временной анализ динамики эрозионных процессов на юге Восточной Сибири. Новосибирск: Наука, 1997. 208 с.
2. Бармин А.Н., Синцов А.В. Современная классификация почвенного покрова городских территорий // Геология, география и глобальная энергия. 2011. № 3. С. 149–155.
3. Белоцерковский М.Ю., Топунов М.В. Затраты на противо-эрозионные мероприятия для сохранения плодородия почв при существующем сельскохозяйственном использовании пахотных земель // Эрозионные и русловые процессы. Вып. 2: Мат-лы координационных совещаний вузов 1991–1995 гг. / под ред. Р.С. Чалова. М.: МГУ, 1996. С. 48–54.
4. Виноградов А.П. Средние содержания химических элементов в главных типах изверженных пород земной коры // Геохимия. 1962. № 7. С. 555–571.
5. ГОСТ 25100-95. Грунты. Классификация. М., 2001. 31 с.
6. Долгилевич М.И. Пыльные бури и агролесомелиоративные мероприятия. М.: Колос, 1978. 159 с.
7. Иванов А.Д. Некоторые итоги изучения золотых песков и дефляции почв Забайкалья. Ветровая эрозия почв и меры борьбы с ней // Тр. ИЕН БФ СО АН СССР. 1971. Вып. 9. С. 131–137.
8. Ковалев С.Н. Развитие оврагов на урбанизированных территориях: автореф. дис. ... канд. геогр. наук. М., 2009. 24 с.
9. Кузнецов М.С., Глазунов Г.П. Эрозия и охрана почв. М.: Изд-во МГУ, 2004. 352 с.
10. Куликов А.И., Мангатаев А.Ц., Куликов М.А., Хамнаева Г.Г., Плюснин А.М. Экологическое зонирование и статистические параметры экологически опасных зон города Закаменска (Республика Бурятия) // Вестник ВСГУТУ. 2012. № 3 (38). С. 221–227.
11. Ларионов Г.А. Эрозия и дефляция почв: основные закономерности и количественные оценки. М.: Изд-во МГУ, 1993. 200 с.
12. Литвин Л.Ф., Кирюхина З.П. Почвенно-эрозионная миграция биогенов и загрязнение поверхностных вод // Эрозия почв и русловые процессы. 2004. Вып. 14. С. 45–64.
13. Литвин Л.Ф., Кирюхина З.П. Эрозионноопасные земли и пространственно-временные закономерности эрозии почв. М.: Городец, 2002. 260 с.



14. Осинцева Н.В. Физико-географические факторы развития овражной эрозии городских земель: автореф. дис. ... канд. геогр. наук. Томск, 2001. 28 с.
15. Прокофьева Т.В., Мартыненко И.А., Иванников Ф.А. Систематика почв и почвообразующих пород города Москвы и возможность включения их в общую классификацию // Почвоведение. 2011. № 5. С. 611–623.
16. Толчельников Ю.С. Эрозия и дефляция почв. Способы борьбы с ними. М.: Агропромиздат, 1990. 158 с.
17. Тюменцева Е.М. Применение статистических методов при изучении эоловых процессов // Вестник кафедры гео-

- графии ВСГАО. 2013. № 1–2 (7). С. 38–46.
18. Хамнаева Г.Г., Куликов А.И., Цыдыпов Б.З. О современном экологическом состоянии окружающей среды г. Закаменска и сопредельной территории // Вестник Бурятской ГСХА им. В.П. Филиппова. 2013. № 3 (32). С. 79–85.
19. John J. Qu, Xianjun Hao, Menas Kafatos, and Lingli Wang. Asian Dust Storm Monitoring Combining Terra and Aqua MODIS SRB Measurement // IEEE Geoscience and Remote Sensing Letters. 2006. Vol. 3, N 4. P. 284–486.
20. Wisniewski W.H., Smith D.D. Predicting rainfall erosion losses // USDA Agr. Handbook 537. Washington, 1978. 65 p.

УДК 622.831

ОЦЕНКА ТЕХНОГЕННЫХ НАПРЯЖЕНИЙ НА КОНТУРЕ ОЧИСТНЫХ КАМЕР ПРИ РАЗРАБОТКЕ КРУТОПАДАЮЩИХ ЗОЛОТОРУДНЫХ ЖИЛ МАЛОЙ МОЩНОСТИ

© Е.Л. Сосновская¹

Иркутский государственный технический университет,
664074, Россия, г. Иркутск, ул. Лермонтова, 83.

Приведены результаты исследования техногенных напряжений на контуре очистных камер при выемке крутопадающих золоторудных жил мощностью 1–3 м. Определены коэффициенты концентрации напряжений в стенках, кровле камер и междуэтажных целиках в зависимости от угла наклона рудной залежи и ее выемочной мощности. Уточнена физико-математическая модель расчета устойчивых междуэтажных целиков и обнажений камер при отработке крутопадающих маломощных рудных жил системами с открытым очистным пространством.

Ил. 5. Табл. 2. Библиогр. 4 назв.

Ключевые слова: жильные месторождения; очистные камеры и целики; коэффициенты концентрации техногенных напряжений.

ASSESSMENT OF TECHNOGENIC STRESSES IN STOPES WHEN DEVELOPING THIN STEEPLY DIPPING GOLD-ORE VEINS

E.L. Sosnovskaya

Irkutsk State Technical University,
83 Lermontov St., Irkutsk, 664074, Russia.

The article reports on the results of studying technogenic stresses in stopes when developing steeply dipping gold ore veins of 1-3 m width. It determines the coefficients of stress concentration in chamber walls, roofs and floor pillars as a function of the angle of ore slope and its stoping width. It also adjusts a physical and mathematical model for the calculation of continuous floor pillars and chamber outcrops when developing steeply dipping ore veins with open stopes.

5 figures. 2 tables. 4 sources.

Key words: vein deposits; stopes and pillars; concentration coefficients of technogenic stresses.

Маломощные жильные золоторудные месторождения отличаются сложными геомеханическими условиями: геологическим строением, разнообразием условий залегания рудных тел и полей тектонической нарушенности и трещиноватости. Массивы горных пород месторождений характеризуются сложным дискретным полем гравитационно-тектонических напряжений [1, 2]. Верхние горизонты рудников Восточной Сибири находятся в зоне многолетней мерзлоты. Глубина горных работ рудных месторождений изменяется в широких пределах: от 100 до 800 м и более. При этом сохраняется тенденция к дальнейшему увеличению глубины разработки. Сложные геомеханические условия существенно влияют на устойчивость подрабатываемых массивов, напряженное состояние целиков и обнажений выемочных камер. В целях безопас-

ной и эффективной эксплуатации рудников важно своевременно определять параметры геотехнологии с учетом геологических и геомеханических условий массивов горных пород.

Автор длительное время участвовал в проведении исследований геомеханических условий на ряде маломощных жильных золоторудных месторождений Урала, Сибири, Дальнего Востока. На основании результатов многолетних наблюдений представилось возможным выявить закономерности распределения техногенных напряжений в конструктивных элементах систем разработки с открытым очистным пространством при выемке крутопадающих маломощных рудных жил.

В частности, автором уточнена физико-математическая модель расчета устойчивых между-

¹Сосновская Елена Леонидовна, кандидат геолого-минералогических наук, доцент кафедры разработки месторождений полезных ископаемых, тел. (3952) 405216, e-mail: 1.gor@istu.edu
Sosnovskaya Elena, Candidate of Geological and Mineralogical sciences, Associate Professor of the Department of Mineral Deposits Development, tel.: (3952) 405216, e-mail: 1.gor@istu.edu