

УДК 504.06

С.С. Укашова¹, П.П. Кречетов²

ОЦЕНКА ДОПУСТИМОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ ЗАГРЯЗНЯЮЩИХ ВЕЩЕСТВ НА ЭКОСИСТЕМЫ РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН

Рассмотрены подходы к количественной оценке допустимого воздействия загрязняющих веществ на экосистемы Республики Казахстан. Выполнен региональный анализ антропогенной нагрузки для территории Республики Казахстан, результаты которого показали очень высокий уровень территориальной локализации химического загрязнения. Создана база данных свойств и параметров почв, использованных для оценки критических нагрузок. С использованием балансовой модели определены критические нагрузки кислотных выпадений и соединений азота. Расчет выпадения тяжелых металлов, не вызывающих негативных последствий для экосистем, проводился с учетом содержания органического вещества, сорбционной способности, а также наличия карбонатных солей. Построенные тематические карты, детальность контуров и обширный набор данных позволили подробно проанализировать почвы на рассматриваемой территории. Выявлена широтная зональность значений критических нагрузок кислотности и тяжелых металлов. Показано, что критическая нагрузка может служить индикатором чувствительности экосистем и позволяет оценить риск нанесения ущерба ее компонентам. Региональные оценки критической нагрузки дают возможность оптимизировать стратегию сокращения выбросов различных поллютантов и снизить их трансграничный перенос для достижения максимальной экологической выгоды.

Ключевые слова: почвы, экосистемы, загрязняющие вещества, критические нагрузки, кислотные выпадения, эвтрофикация, устойчивость, тяжелые металлы, Республика Казахстан.

Введение. Экологическая ситуация постепенно становится все более значимым фактором развития, влияющим на все сферы политического и экономического благополучия государства. На протяжении многих десятилетий в Казахстане складывалась преимущественно сырьевая система природопользования с экстремально высокими техногенными нагрузками на окружающую среду. Это привело к деградации природных экосистем и способствовало дестабилизации биосферы, утрате ею способности поддерживать качество окружающей среды, необходимое для жизнедеятельности общества.

Оценка антропогенного воздействия человека на природные ландшафты в первую очередь должна опираться на понимание закономерностей их функционирования. Природные экосистемы имеют свою пространственную структуру, что определяет обмен веществ между ее живыми и абиотическими компонентами. Ведущий средообразующий компонент наземной экосистемы – почва. Это сложное, постоянно функционирующее природное образование, все фазы которого (твердая, жидкая, газообразная и живое вещество) обмениваются между собой веществом и энергией.

Почва, будучи депонирующей средой для поступающих загрязняющих веществ (ЗВ), может служить индикатором состояния биосферы при различных видах антропогенного воздействия. Сохранение высокоплодородных и устойчивых к антропогенному воздействию почв – один из критериев развития общества и его стабильности.

Разработка нормативов допустимой антропогенной нагрузки на экосистемы на локальном, региональном и глобальном уровнях составляет главную задачу экологического нормирования. В настоящее время система регламентации загрязнения природных сред основана на санитарно-гигиенических нормативах, хотя общепризнана их низкая эффективность в целях защиты природных экосистем. Оценка устойчивости экосистем к разным видам антропогенной нагрузки – одна из важнейших экологических проблем. Именно разработка методологической базы ее проведения должна стать основой экологического нормирования. Однако окончательное решение о принятии экологических нормативов затрудняет отсутствие общепризнанных методик их определения, а также недостаточность фактических данных о реакции экосистем на антропогенные нагрузки.

Экологический норматив должен отражать безвредность воздействия загрязняющих веществ для всех компонентов экосистем. Почва, которая представляет собой геохимический барьер на пути миграции загрязняющих веществ в экосистеме, с одной стороны, предохраняет другие ее компоненты от техногенного воздействия, а с другой – накапливает загрязняющие вещества, что приводит к снижению ее устойчивости. Поэтому состояние почвы и ее буферную способность следует считать основным фактором устойчивости экосистемы в целом, и по нему проводить нормирование антропогенного воздействия на все компоненты экосистемы.

¹ Казахстанский филиал Московского государственного университета имени М.В. Ломоносова, географический факультет, кафедра экологии и природопользования, аспирант; e-mail: sabina.samarbaevna@gmail.com

² Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, географический факультет, кафедра геохимии ландшафтов и географии почв, доцент, канд. биол. н.; e-mail: krechetov@mail.ru

Цель работы – пространственный анализ допустимого уровня воздействия загрязняющих веществ на наземные экосистемы Республики Казахстан и выявление наиболее уязвимых природно-территориальных комплексов. В ходе работы решались следующие задачи: сбор данных о свойствах почв, определяющих их буферность при воздействии загрязняющих веществ; расчет критических нагрузок (КН) кислотных выпадений, соединений азота и тяжелых металлов на наземные экосистемы; на основе сравнительного анализа между величинами критических нагрузок и современным уровнем техногенного давления выявление территорий с повышенным риском антропогенных нарушений.

Материалы и методы исследований. Опыт использования комплексных оценок антропогенного воздействия на окружающую среду в Республике Казахстан не очень большой. В основном работы посвящены экологической оценке воздействия какой-либо отрасли хозяйственной деятельности на состояние воздушного бассейна и водных объектов Республики Казахстан. Часть исследований связана с изучением качества жизни населения и инвестиционного климата регионов, в которых используются различные методики оценки, созданные экспертами ООН. В работе В.Р. Битюковой приведены результаты комплексного изучения экологических проблем развития регионов и предложено ранжирование территории по уровням экологической напряженности [Битюкова, 2009; Сайт рейтингового..., 2015; National..., 2009].

Существуют различные методы оценки уязвимости экосистем к антропогенному воздействию. При оценке устойчивости экосистем к антропогенному воздействию наиболее распространена балльная система оценок. В работах М.А. Глазовской, Н.Н. Солнцевой, М.Д. Богдановой, В.В. Снакина, П.П. Кречетова и других устойчивость почв к загрязнению оценивается как с учетом ее способности нейтрализовать негативные последствия от поступления поллютантов, так и ее самоочищающей способности [Богданова, 1994; Геннадиев, Пиковский, 2007; Глазовская, 1997; Копчик и др., 1998; Кречетов, Алябина, 2001; Кречетов и др., 2015; Снакин и др., 1995; Солнцева, 1982; Угарова, 2004; Филаретова и др., 2012]. Итоговые оценки устойчивости позволяют ранжировать природные комплексы на низко-, средне- и высокоустойчивые.

Количественную оценку допустимого воздействия на наземные экосистемы можно выполнить на основании двух подходов [Башкин, 1999]: 1) оценка различий между актуальными и критическими нагрузками; 2) оценка различий между современным содержанием поллютанта в определенных компонентах экосистемы и скоростью поступления этого поллютанта с атмотехногенными выпадениями, а затем расчет времени достижения максимальной допустимой концентрации (ПДК), установленной для загрязняющего вещества.

Предложенные методы количественной оценки похожи, но подход с использованием ПДК не учи-

тывает ни характеристики экосистем, ни их географическую привязку.

Для оценки допустимого воздействия на городскую среду был предложен подход, основанный на оценке соотношения показателей антропогенного воздействия и уровня загрязнения городской среды в динамике, что позволяет построить функции уязвимости среды [Угарова, 2004]. В основе этого подхода лежат представления о городской среде, как системе, обладающей определенным уровнем устойчивости по отношению к воздействию. Однако этот подход хорошо работает только при достаточном количестве исходных достоверных данных о выбросах промышленных предприятий и данных мониторинга загрязнения природной среды.

При трансграничном воздействии загрязненного воздуха на сопредельные государства на территории Северной Евразии в соответствии с Конвенцией ООН о трансграничном загрязнении воздуха на большие расстояния была предложена методология критических нагрузок (КН). Эта методология базируется на анализе биогеохимической структуры природных экосистем с использованием специально разработанных и адаптированных методик расчетов величины КН отдельных загрязняющих веществ.

Критическая нагрузка – количественная оценка воздействия одного или нескольких загрязнителей, ниже которого не возникает значительных вредных последствий для конкретных чувствительных элементов окружающей среды [Башкин, 1999].

Величина КН не указывает на степень изменений и функционирования экосистемы, а только определяет допустимую величину воздействия. Уравнения, используемые для расчета величины КН, включают количественную оценку максимально возможного числа параметров, характеризующих круговорот загрязнителей в экосистемах. Этот метод рекомендован в качестве базового для расчетов КН Европейским координационным центром по воздействиям и успешно применяется во многих странах [De Vries et al., 1993; Hettelingh et al., 1995; Poschetal et al., 1999].

Базовый алгоритм, описанный выше, послужил основой при оценке допустимого уровня воздействия загрязняющих веществ на наземные экосистемы Республики Казахстан, где при расчетах КН питательного азота и кислотности за основу была взята модель масс-баланса [Башкин, Танканг, 2001]. При расчетах КН учитывались особенности рассматриваемой территории, особое внимание уделялось физико-географическим и биохимическим характеристикам экосистем, а также использованы результаты исследований региональных управлений, фондовые материалы, статистические и электронные базы данных. Критическая нагрузка кислотности рассчитана на основании данных о поглощении и выветривании основных катионов, что зависит от температуры, количества осадков и свойств самих почв.

На основе созданной базы данных с использованием ГИС-технологий построены тематические карты, единой географической основой для которых

послужила почвенная карта масштаба 1:5 000 000 из Национального атласа Республики Казахстан [Национальный..., 2006], дополненная авторами. Значения КН рассчитывались для поверхностного слоя почвы мощностью 10 см и выражались в экв/га/год. Детальность почвенных контуров и обширная база данных позволили провести подробный количественный анализ пространственного распределения экосистем с разным уровнем устойчивости к химическому загрязнению.

Итоговые формулы для расчета КН кислотных выпадений:

минимальная критическая нагрузка азота:

$$CL_{\min}(N) = N_i^* + N_u^*;$$

критическая нагрузка питательного азота:

$$CL_{\text{nutr}}(N) = CL_{\min}(N) + N_i + N_{\text{de}}^*;$$

критическая нагрузка кислотности:

$$CL_{\text{acid}} = C_i (BC_w + Bc_u),$$

где N_i^* – иммобилизация азота из атмосферных выпадений; N_u^* – биологическое поглощение азота из атмосферных выпадений; N_i – иммобилизация азота почвой; N_{de} – денитрификация азота почвой; C_i – гидротермический коэффициент, характеризующий период года с температурой выше 5 °С; BC_w – выветривание основных катионов; Bc_u – поглощение основных катионов растениями.

Для расчета критической нагрузки тяжелых металлов (ТМ) разработана авторская методика, основанная на балансовой модели, которая также позволяет рассчитать целевые нагрузки на 50 лет. Оригинальная методика основана на способности почв образовывать труднодоступные для биоты соединения в форме карбонатов, органоминеральных соединений и в составе почвенного поглощающего комплекса.

Итоговые формулы расчета КН тяжелых металлов:

$$CL(TM)_i = (TM_{(\text{opr})_i} + TM_{(\text{nnk})_i} + TM_{(\text{CaCO}_3)_i}) / 50,$$

где $CL(TM)$ – допустимый уровень нагрузки тяжелых металлов; $TM_{(\text{opr})}$ – количество тяжелых металлов, которое может быть связано в составе органоминеральных соединений без превышения ПДК в почвенном растворе; $TM_{(\text{nnk})}$ – количество тяжелых металлов, которое может быть закреплено в почвенном поглощающем комплексе почв без превышения ПДК в почвенном растворе; $TM_{(\text{CaCO}_3)}$ – количество тяжелых металлов, которое может быть связано в виде труднорастворимых карбонатных солей без превышения ПДК в почвенном растворе; 50 – период (годы), за который допускается полная нейтрализация буферных свойств почв по отношению к ТМ. Сделано допущение, что за это время произойдет смена технологии промышленности, что снизит выбросы загрязняющих веществ до экологически безопасного уровня; i – тип почвы.

На основе выполненных расчетов КН питательного азота, кислотности и тяжелых металлов выполнено районирование территории республики. Для вы-

явления площадей с повышенным риском антропогенных нарушений проведен сравнительный анализ между величинами КН и современным уровнем техногенного давления. Для этого использованы статистические данные о выбросах кислотообразующих веществ в 14 областях, а также проведено сравнение уровней нагрузки тяжелых металлов с суммарным показателем химического загрязнения почв в 18 городах.

Результаты исследований и их обсуждение. Казахстан характеризуется очень высоким уровнем территориальной локализации химического загрязнения. Пространственный анализ распределения антропогенной нагрузки на территории Республики Казахстан показывает, что основными источниками химического загрязнения окружающей среды, вызывающими деградацию природных систем, служат промышленность, сельское хозяйство, автомобильный транспорт и другие антропогенные факторы.

Уровень загрязнения атмосферы городов и промышленных центров, несмотря на сокращение производства, остается достаточно высоким. Около 1/3 промышленных предприятий не имеет санитарно-защитных зон нормативного размера. Значительная часть населения промышленных центров живет в зоне непосредственного влияния вредных производственных факторов – выбросов загрязняющих веществ в атмосферный воздух, шума, вибрации, электромагнитных полей, других физических факторов.

Тенденции по видам загрязнителей весьма различны. Так, в период с 2009 по 2012 г. объем выбросов в атмосферу возрос следующим образом (%): оксидов азота – на 20,7; аммиака – на 29,4; неметановых летучих органических соединений – на 33; углеводородов – на 30,7; кадмия – на 168,5; толуола – на 50,2; бензапиренов – на 6,9. Наибольший уровень загрязнения воздуха характерен для г. Алматы (ИЗА5=11,7) [Сайт агентства статистики..., 2015; Охрана..., 2012]. К загрязненным городам республики (ИЗА5≥5) отнесено 12 городов, в том числе с высоким уровнем загрязнения воздуха (ИЗА5≥7) 8 городов (Алматы, Шымкент, Темиртау, Актөбе, Тараз, Караганда, Усть-Каменогорск, Жезказган).

Вклад в загрязнение атмосферного воздуха городов вносит скопление промышленных предприятий, большое число автомобилей и высокая доля частного сектора в период отопительного сезона. Влияют также орографические условия, это относится к таким городам, как Алматы, Шымкент, Усть-Каменогорск и др.

По сумме выбросов основных кислотообразующих оксидов по областям можно выделить *области с невысокой загрязненностью атмосферы* – Жамбылская и Южно-Казахстанская, а также *с высокой* – Актюбинская, Павлодарская и Карагандинская области [Регионы..., 2012]. Это связано с тем, что последние области – индустриальные регионы Казахстана, в которых сформированы промышленность, специализирующаяся на энерго- и материалоемкой продукции черной металлургии и производстве цветных металлов, а также добыче угля и руд. В регионах развиты предприятия пище-

вой промышленности, машиностроения и металлообработки, производства строительных материалов, химической промышленности, производства резиновых и пластмассовых изделий. Кроме того, негативную роль в загрязнении воздушного бассейна Западно-Казахстанской, Атырауской и Мангистауской областей играют предприятия нефтегазового комплекса. Для Северо-Казахстанской, Алматинской, Актюбинской, Кызылординской и Восточно-Казахстанской областей характерен средний уровень загрязнения атмосферы оксидами серы и азота.

Помимо газообразных выбросов в воздух попадает значительное количество мельчайших частиц, содержащих тяжелые металлы и опасных для здоровья человека. Среди стационарных источников загрязнения Казахстана наибольший объем выбросов дают предприятия энергетики – главные поставщики оксидов азота и пыли (зола) в атмосферу. Источниками загрязнения вод тяжелыми металлами служат сточные воды гальванических цехов, предприятий горнодобывающей, черной и цветной металлургии, машиностроительных заводов, а также автотранспорт. Тяжелые металлы входят в состав удобрений и пестицидов, которые могут попадать в водоемы вместе со стоком с сельскохозяйственных угодий.

На основе данных наблюдений, проводимых РГП «Казгидромет» [Национальный..., 2011], для 18 городов рассчитан суммарный показатель загрязнения почвы (Z_c). По полученным результатам выделяются три градации загрязнения: допустимое ($Z_c < 16$), умеренно опасное ($Z_c = 16 \div 32$) и опасное ($Z_c > 32$). Опасные значения показателя характерны для городов Риддер, Шымкент, Балхаш; умеренно опасные – для Усть-Каменогорска; минимальные значения ($Z_c < 1$) характерны для городов Уральск, Семипалатинск, Кызылорда, в остальных 11 городах выявлено допустимое загрязнение тяжелыми металлами. Высокое значение показателя в г. Бал-

хаш ($Z_c = 88,2$) обусловлено действующим на территории города Балхашским горно-металлургическим комбинатом (БГМК), который служит главным поставщиком поступления загрязняющих веществ, в том числе тяжелыми металлами. Источник поступления тяжелых металлов в самом многочисленном городе страны Шымкенте ($Z_c = 50,5$) – автотранспорт (из-за отсутствия запрета на устаревшие автомобили) и предприятия металлургии, ориентированные на выпуск свинца и его производных, висмута, сплавов драгоценных металлов и другой продукции. Высокие показатели загрязнения тяжелыми металлами наблюдались также в г. Риддер ($Z_c = 45$), это объясняется наличием в черте города горно-обогатительного комплекса, специализирующегося на добыче и переработке полиметаллических руд, а также металлургического комплекса, который перерабатывает цинковые концентраты, производит цинк, кадмий и серную кислоту. Существенные различия между показателями ИЗА и Z_c в центрах цветной металлургии в городах Шымкент, Усть-Каменогорск, Риддер, Балхаш, Жезказган связаны с тем, что ИЗА не учитывает загрязнение тяжелыми металлами (рис. 1).

В результате пространственного анализа выявлена широтная зональность значений критических нагрузок. Значения допустимого уровня нагрузок возрастают с юга на север. Полученные значения CL_{acid} варьируют в интервале 50–1710 экв/га/год, причем основная часть приходится на интервал $CL_{acid} < 1000$ экв/га/год (рис. 2). Исследования показали, что 57% почв Казахстана *высокоуязвимы* к кислотным выпадениям. К ним относятся болотные, лугово-болотные, а также горные тундровые и горные альпийские/субальпийские почвы. Эти почвы самые кислые на территории республики и характеризуются низкой скоростью выветривания основных минералов, что служит главным фактором нейтрализации техногенных кислот.

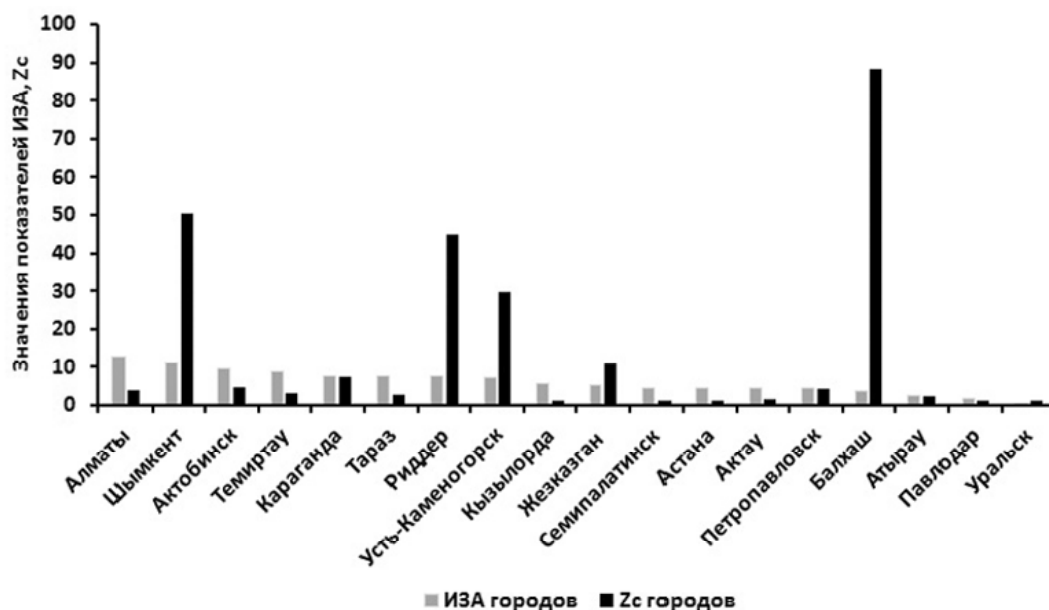


Рис. 1. Уровень загрязнения атмосферы и почв городов Республики Казахстан

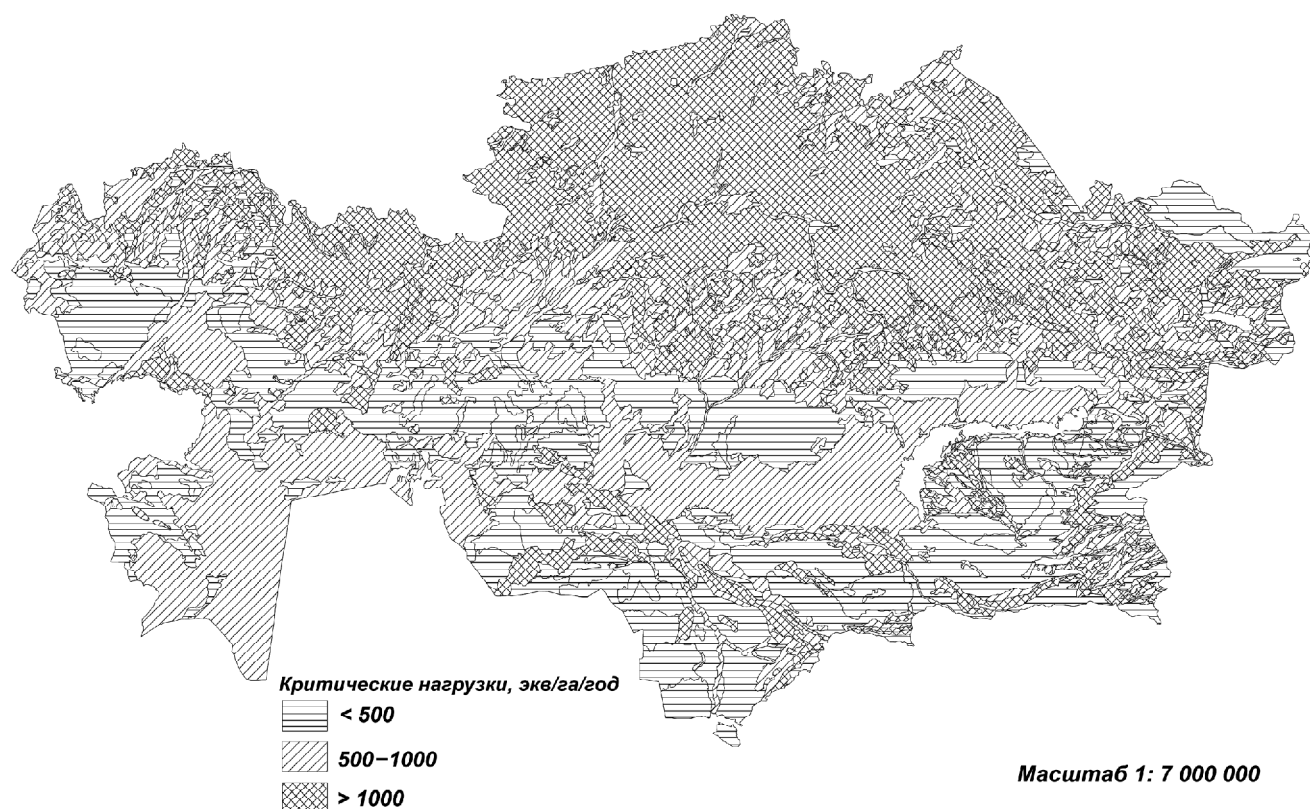


Рис. 2. Допустимый уровень нагрузки кислотных выпадений на почвы в Республике Казахстан

Слабоуязвимы к кислотным выпадениям почвы, имеющие значения $CL_{acid} > 1000$ экв/га/год – горные черноземы, черноземы обыкновенные, темно-каштановые, это обусловлено значительным верхним активным слоем почвы и высокими значениями скорости выветривания основных минералов, а также хорошей азотоминерализующей способностью. Почвы с высоким содержанием карбонатов, таких, как черноземы типичные карбонатные, светло- и темно-каштановые карбонатные, takyры, которые способны нейтрализовать кислотные выпадения, можно отнести к *среднеуязвимым*.

Величина минимальной критической кислотной нагрузки по азоту, $CL_{min}(N)$, включает в себя поглощение азота растениями и иммобилизацию в состав почвенного органического вещества. Полученные значения $CL_{min}(N)$ варьируют от 70 до 121 экв/га/год. Примерно 33% почв территории характеризуются значениями $CL_{min}(N) < 80$ экв/га/год. К устойчивым к поступлению атмостехногенного азота относятся 38% почв территории при значениях $CL_{min}(N) > 100$ экв/га/год. Слабая уязвимость характерна для подтипов черноземов, встречающихся в северных районах с самой активной азотоминерализующей способностью. Соответственно почвы с минимальными значениями $CL_{min}(N)$, такие, как болотные, лугово-болотные, пойменные и горные тундровые, относятся к *высокоуязвимым*.

Экологическое воздействие атмостехногенного азота связано как с подкисляющим, так и с эвтрофирующим влиянием на почвы. Избыточное накопление азота в экосистеме ведет к изменению биораз-

нообразия, при поступлении этого элемента с атмосферными выпадениями. Для предотвращения эвтрофикации рассчитывают величину критической нагрузки питательного азота. Поскольку большинство рассматриваемых типов почв сформировано в условиях дефицита азота, величина $CL_{nutr}(N) < 200$ экв/га/год характерна для 73% почв (рис. 3). Значения нагрузки варьируют в пределах 150–230 экв/га/год, как и в случае с $CL_{min}(N)$, ее географическое распределение зависит от почвенно-растительных особенностей. Для болотных, лугово-болотных, серых лесных осолоделых, горных кислых почв, горных лесных почв характерна высокая уязвимость, так различные подтипы черноземов, включая горные черноземы, относятся к *слабоуязвимым*.

Анализ соотношения выпадения кислотообразующих веществ по областям и рассчитанной допустимой нагрузки кислотных выпадений выявил, что почвы в северных районах, представленные светло-каштановыми почвами в Карагандинской области, подвергаются максимальному риску деградации при химическом загрязнении. Павлодарская область характеризуется значительными выбросами загрязняющих веществ, но из-за высоких значений критической нагрузки кислотных выпадений почвы характеризуются минимальной уязвимостью, что позволяет им выдерживать более высокую антропогенную нагрузку.

Районирование территории по уровню допустимого загрязнения тяжелыми металлами показало, что основная часть почв республики характеризуется средней чувствительностью к загрязнению. Для почв равнинных территорий, как и для кислот-

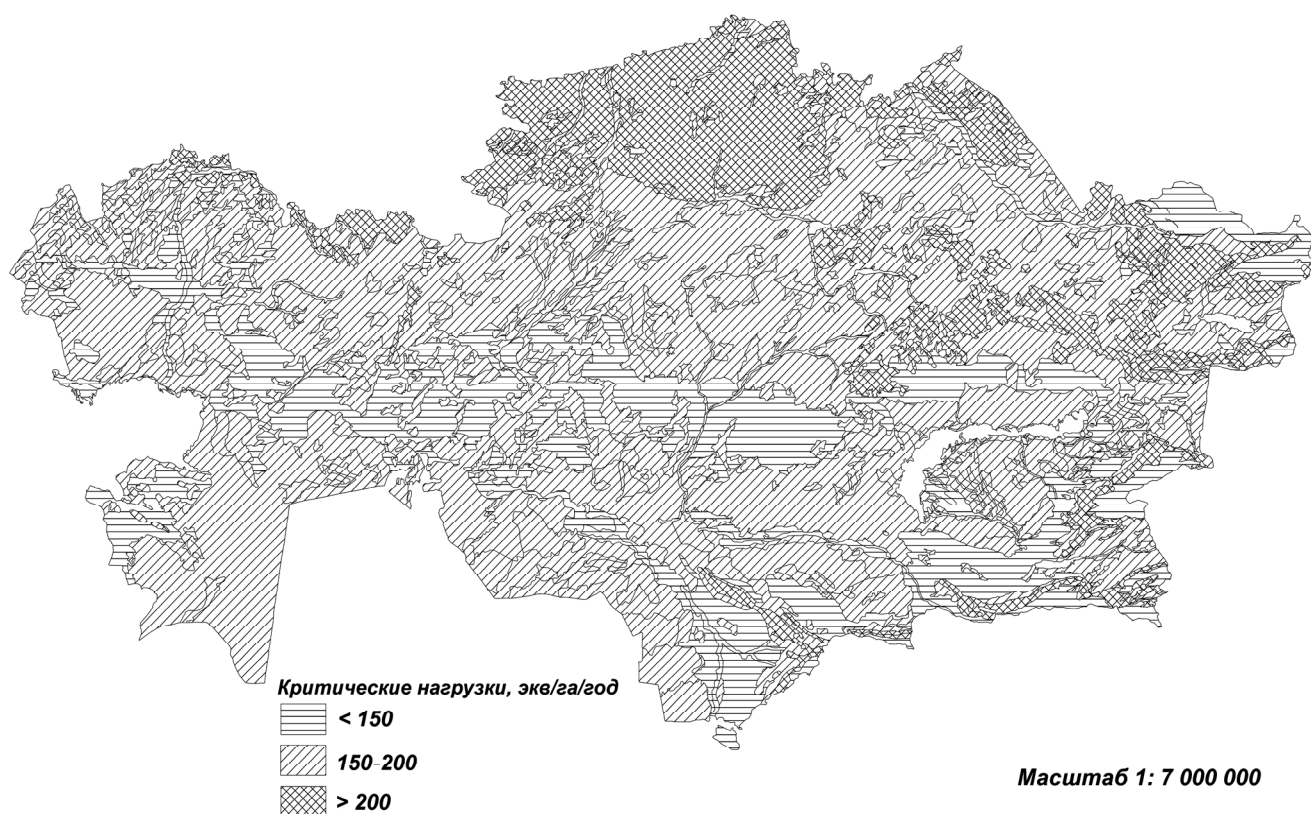


Рис. 3. Допустимый уровень нагрузки питательного азота на почвы в Республике Казахстан

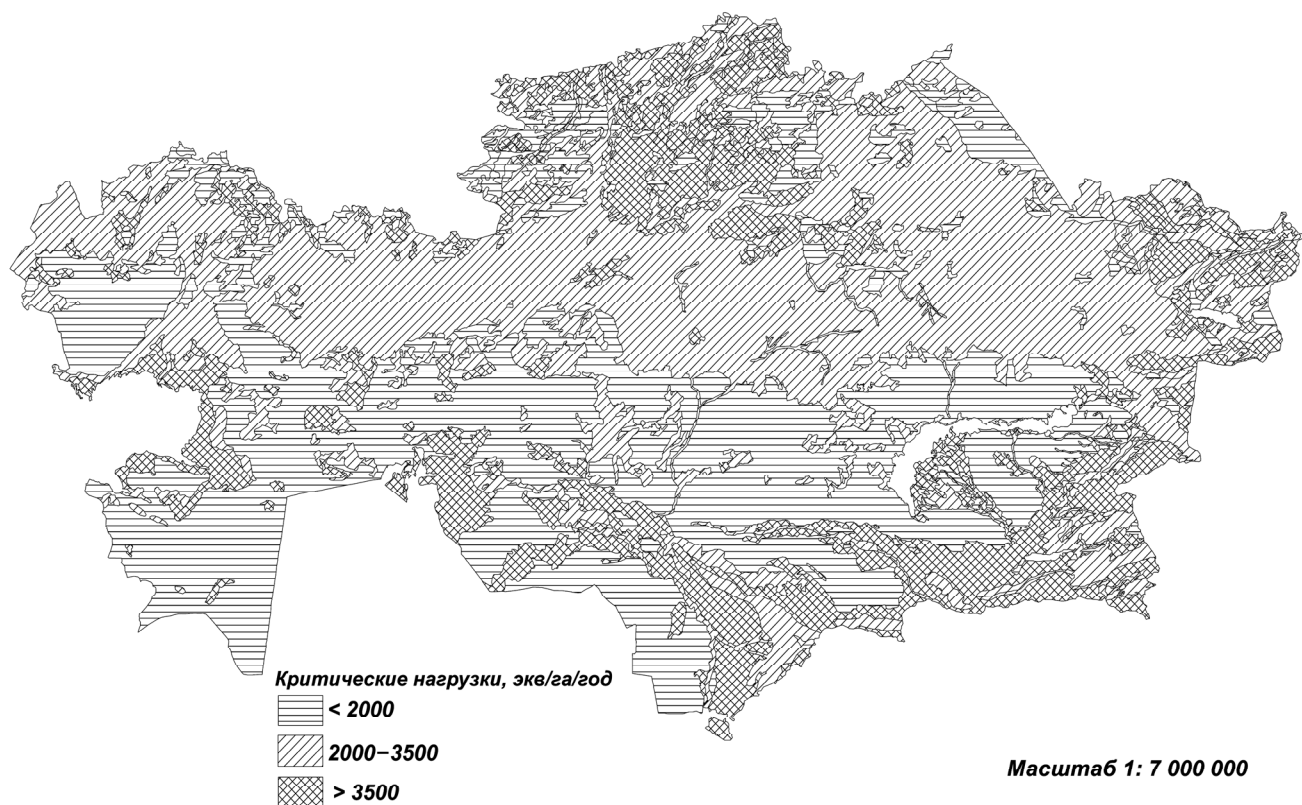


Рис. 4. Допустимый уровень нагрузки тяжелых металлов на почвы в Республике Казахстан

ных выпадений, хорошо заметна широтная зональность. Значения $CL(TM)$ колеблются в интервале 504–6770 экв/га/год (рис. 4). Средние значения емкости поглощения пойменных, горных тундровых,

горных альпийских, горно-таежных почв позволило отнести их к почвам с *высокой уязвимостью* к выпадениям тяжелых металлов. В этих почвах перевод тяжелых металлов в малоподвижные соеди-

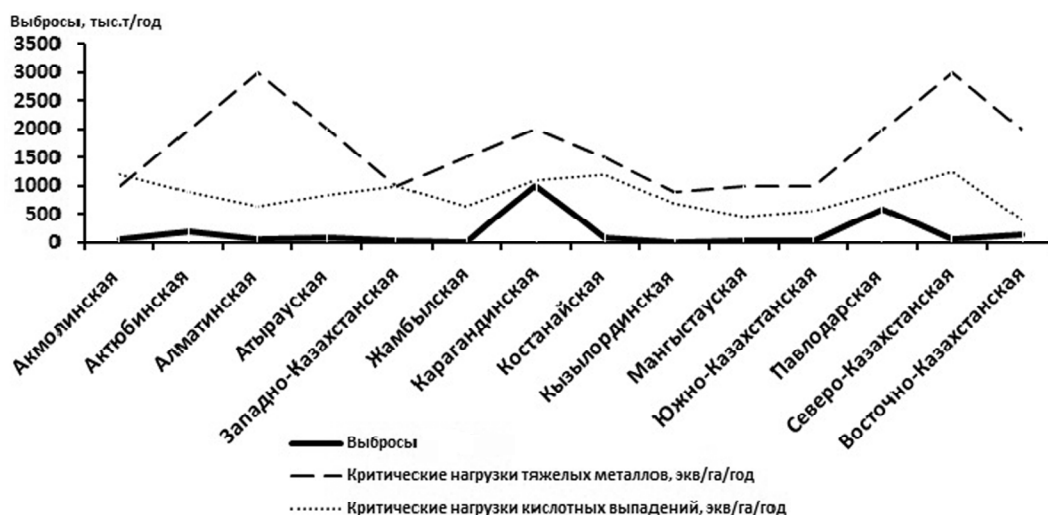


Рис. 5. Сравнительный анализ поступления загрязняющих веществ (тыс. т/год) и величин критических нагрузок (экв/га/год) по областям Республики Казахстан

нения происходит в результате реакций обмена водорода карбоксильных функциональных групп на ионы металлов и образования слабомигрирующих органо-минеральных соединений. Высокоуязвимы песчаные пустынно-степные, takyры, takyровидные, светло-каштановые солонцеватые, бурые и серо-бурые пустынные почвы, значения нагрузки на которые составляют <500 экв/га/год. Это почвы сухих степей и полупустынь, для которых характерно высокое содержание карбонатов кальция. В результате переосаждения тяжелые металлы замещают кальций в карбонатах с образованием менее растворимых солей.

Слабоуязвимы почвы с высоким содержанием органического вещества и большой емкостью почвенного поглощающего комплекса – горные черноземы, горные лесные, лугово-черноземные, болотные и лугово-болотные почвы, допустимый уровень нагрузки $CL(TM) > 3000$ экв/га/год. Черноземы южные, светло-каштановые, горные каштановые, горные сероземы *среднеуязвимы* при загрязнении тяжелыми металлами с интервалом значений $CL(TM) = 1000 \div 1500$ экв/га/год. К почвам со *слабой* уязвимостью можно отнести черноземы обыкновенные, а также черноземы обыкновенные карбонатные. Высокая сорбционная способность этих почв обусловлена тяжелым гранулометрическим составом, высоким содержанием илистой фракции и гумусовых веществ, которые нейтрализуют подвижные формы тяжелых металлов.

Сравнение рассчитанного показателя суммарного загрязнения почв городов Казахстана с полученными результатами допустимого уровня нагрузки тяжелых металлов показал, что почвы городов Жезказган и Балхаш характеризуются высоким риском техногенного нарушения (рис. 5). Эти города находятся в пустынной зоне с распространением серо-бурых пустынных почв, для которых допустимый уровень нагрузки составляет $CL(TM) < 1000$ экв/га/год.

Выводы:

– в результате пространственного анализа выявлена широтная зональность значений критической нагрузки кислотности и тяжелых металлов. Величина допустимого уровня загрязнения возрастает с юга на север. Полученные значения КН для CL_{acid} варьируют в интервале $50 \div 1710$ экв/га/год, для $CL(TM)$ – $504 \div 6770$ экв/га/год. Высокие значения КН кислотности характерны для слабоуязвимых умеренно засушливых степей на черноземах обыкновенных, темно-каштановых почвах. Высокая уязвимость присуща умеренно увлажненным степям на болотных, лугово-болотных почвах. В северных районах почвы серые лесные осолоделые, черноземы обыкновенные, черноземы южные относятся к почвам со слабой уязвимостью к выпадению тяжелых металлов, высокая уязвимость характерна для типичных пустынь на пустынно-степных песках и серо-бурых пустынных почвах;

– северные районы пустынных степей на светло-каштановых почвах Карагандинской области подвергаются максимальному риску химической деградации под воздействием кислотообразующих веществ. Для городов Жезказган и Балхаш, находящихся в северной остепненной пустыне на серо-бурых пустынных почвах, характерен высокий риск нарушения их нормального функционирования под воздействием выпадения тяжелых металлов;

– результаты исследований показали, что критическая нагрузка может служить индикатором чувствительности экосистем, определяющим максимально допустимое поступление поллютантов, при котором риск нанесения ущерба экосистеме будет минимальным. Региональные оценки критической нагрузки позволяют оптимизировать стратегию сокращения выбросов различных поллютантов и снизить их трансграничный перенос для достижения максимальной экологической выгоды.

Благодарность. Исследование выполнено за счет Российского научного фонда (грант №14-27-00083).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Башкин В.Н. Оценка экологического риска при расчетах критических нагрузок загрязнителей на экосистемы // География и природные ресурсы. 1999. № 1. С. 35–39.
- Башкин В.Н., Танканин В.А. Оценка устойчивости восточно-европейских экосистем к антропогенному поступлению серы и азота // Проблемы региональной экологии. 2001. № 4. С. 15–29.
- Битюкова В.Р. Экологические проблемы развития регионов Республики Казахстан // Евразия. Постсоветское пространство. 2009. № 4. С. 132–148.
- Богданова М.Д. Сравнительная характеристика буферности почв России по отношению к кислотным воздействиям // Почвоведение. 1994. № 5. С. 93–101.
- Геннадиев А.Н., Пиковский Ю.И. Карты устойчивости почв к загрязнению нефтепродуктами и полициклическими ароматическими углеводородами: метод и опыт составления // Почвоведение. 2007. № 1. С. 80–92.
- Глазковская М.А. Методологические основы оценки эколого-геохимической устойчивости почв к техногенным воздействиям: Методологическое пособие. М.: Изд-во Моск. ун-та, 1997. 102 с.
- Копчик Г.Н., Макаров М.И., Киселева В.В. Принципы и методы оценки устойчивости почв к кислотным выпадениям: Учеб. пособие. М.: Изд-во Моск. ун-та, 1998. 96 с.
- Кречетов П.П., Алябина И.О. Теоретические основы количественной оценки устойчивости почв к техногенному воздействию // Охрана окружающей природной среды. Почвы. М.: ВНИИ природы, 2001. С. 197–210.
- Кречетов П.П., Королева Т.В., Черникова О.В. Почвенный покров космодрома Байконур и его устойчивость к техногенному воздействию // Вестн. Моск. ун-та. Сер. 5. География. 2015. № 3. С. 12–24.
- Национальный Атлас Республики Казахстан. Т. 1. Природные условия РК. Алматы: Изд-во «Республиканская картографическая фабрика Агентства по земельным ресурсам РК», 2006. 125 с.
- Национальный доклад о состоянии окружающей среды Республики Казахстан в 2010 году / Под ред. М.К. Баекеновой. Алматы: РГП «КазНИИЭК» МООН РК, 2011. 241 с.
- Охрана окружающей среды в Казахстане. 2007–2011 / Стат. сб. Астана, 2012. 322 с.
- Регионы Казахстана в 2011 году // Стат. сб. /Под ред. А.А. Смаилова. Астана, 2012. 401 с.
- Сайт Агентства статистики Республики Казахстан, раздел «Экологические индикаторы мониторинга и оценки окружающей среды». 2015. [Электр. ресурс]. URL: <http://www.stat.gov.kz/> (дата обращения: 20.03.2015).
- Сайт рейтингового агентства «Эксперт РА», раздел «Инвестиционные рейтинги регионов Казахстана». 2015. [Электр. ресурс]. URL: <http://www.raexpert.ru/ratings/kazakhstan/> (дата обращения: 20.03.2015).
- Снакин В.В., Алябина И.О., Кречетов П.П. Экологическая оценка устойчивости почв к антропогенному воздействию // Изв. РАН. Сер. геогр. 1995. № 5. С. 50–57.
- Солнцева Н.П. Геохимическая устойчивость природных экосистем к техногенным нагрузкам // Добыча минерального сырья и геохимия природных систем. М.: Наука, 1982. С. 181–216.
- Угарова Н.А. Новый подход к оценке изменения устойчивости городской среды на примере городов Челябинской области // Экология и промышленность России, 2004. № 10. С. 4–9.
- Филаретова А.Н., Кречетов П.П., Королева Т.В., Дианова Т.М. Устойчивость южно-таежных экосистем северо-восточной части Московской области к воздействию кислотных осадков // Фундаментальные исследования. 2012. № 11 (ч. 3). С. 542–547.
- De Vries W, Posch M, Reind G.J., Kamari J. Critical Loads and their Exceedances on Forest Soils in Europe. The Winand Staring Centre for Integrated Land // Soil and Water Res. Rep. Vol. 58. Wageningen, 1993. 116 p.
- Hettelingh J.P., Sverdrup H., Zhao D. Deriving Critical Loads for Asia // Water, Air and Soil Pollution. 1995. Vol. 85, Iss. 4. P. 2565–2570.
- National Human Development Report 2009. From Exclusion to Equality: Realizing the rights of persons with disabilities in Kazakhstan. UNDP Kazakhstan, 2009. 161 p.
- Posch M., deSmet P.A.M., Hettelingh J-P., Downing R.J. Calculation and Mapping of Critical Thresholds in Europe. Status Report 1999. Coordination Center for Effects // RIVM Rep. N. 259101009. 1999. Bilthoven, the Netherlands, 165 p.

Поступила в редакцию 17.04.2015

Принята к публикации 11.09.2015

S.S. Ukashova¹, P.P. Krechetov²

EVALUATION OF ADMISSIBLE IMPACT OF POLLUTANTS ON THE ECOSYSTEMS OF THE REPUBLIC OF KAZAKHSTAN

Approaches to the quantitative assessment of admissible impact of pollutants on the ecosystems of the Republic of Kazakhstan are discussed. Regional analysis of the anthropogenic load over the territory of the Republic of Kazakhstan showed very high degree of the territorial localization of chemical pollution. A database of soil properties and parameters used for the assessment of critical load was created. A balance model was used to determine critical loads of acid depositions and nitrogen compounds. Admissible depositions of heavy metals were evaluated with due account of organic matter content, sorption capacity and availability of carbonates. The resulting maps and large amount of data make it possible to analyze in detail soils of the territory under study. The spatial analysis has revealed zonal distribution of the critical loads of acid rains and heavy metal depositions. Critical load is an indicator of ecosystem vulnerability and allows evaluating the risk of ecosystem damage. Regional assessment of critical loads contributes to the optimization of the strategy of pollutant emission reduction and the mitigation of their transboundary transport for the maximum environmental benefit.

Keywords: soils, ecosystems, pollutants, critical loads, acid rains, heavy metals, Republic of Kazakhstan.

Acknowledgement. The research was financially supported by the Russian Science Foundation (project 14-27-00083).

¹ Kazakhstan Branch of the Lomonosov Moscow State University, Faculty of Geography, Department of Ecology and Nature Management, post-graduate student; e-mail: sabina.samarbaevna@gmail.com

² Lomonosov Moscow State University, Faculty of Geography, Department of Landscape Geochemistry and Soil Geography, Associate Professor, Ph.D. in Biology; e-mail: krechetov@mail.ru

REFERENCES

- Bashkin V.N.* Ocenka jekologicheskogo riska pri raschetah kriticheskikh nagruzok polljutantov na jekosistemy [Assessment of environmental risk in calculating critical loads of pollutants on ecosystems], *Geografija i prirodnye resursy*, 1999, no 1, pp. 35–39 (in Russian).
- Bashkin V.N., Tankanag V.A.* Ocenka ustojchivosti vostochno-evropejskikh jekosistem k atmotehnogennomu postupleniju sery i azota [Assessment of stability of Eastern European ecosystems to atmo-technogenic flow of sulfur and nitrogen], *Problemy regional'noj jekologii*, 2001, no 4, pp. 15–29 (in Russian).
- Bitjukova V.R.* Jekologicheskie problemy razvitiya regionov Respubliki Kazahstan [Environmental problems on development of the Kazakhstan regions], *EvroAzija Postsovetskoe prostranstvo*, 2009, no 4, pp. 132–148 (in Russian).
- Bogdanova M.D.* Sravnitel'naja harakteristika bufernosti pochv Rossii po otnosheniju k kislotnym vozdejstvijam [Comparative characteristics of soil buffering in Russia in relation to acid exposure], *Pochvovedenie*, 1994, no 5, pp. 93–101 (in Russian).
- De Vries W., Posch M., Reind G.J., Kamari J.* Critical Loads and their Exceedances on Forest Soils in Europe. The Winand Staring Centre for Integrated Land // Soil and Water Res. Rep. Vol. 58. Wageningen, 1993. 116 p.
- Filaretova A.N., Krechetov P.P., Koroleva T.V., Dianova T.M.* Ustojchivost' juzhno-taezhnykh jekosistem severo-vostochnoj chasti Moskovskoj oblasti k vozdejstviyu kislotnykh osadkov [Stability of southern taiga ecosystems of the North-eastern part of the Moscow Oblast to the impacts of acid rain], *Fundamental'nye issledovaniya*, 2012, no 11 (chast' 3), pp. 542–547 (in Russian).
- Gennadijev A.N., Pikovskij Ju.I.* Karty ustojchivosti pochv k zagryazneniju nefteproduktami i policiklicheskim aromaticeskimi uglevodorodami: metod i opyt sostavlenija [Maps of soil resistance to pollution by oil products and polycyclic aromatic hydrocarbons: method and experience of preparation], *Pochvovedenie*, 2007, no 1, pp. 80–92 (in Russian).
- Glazovskaja M.A.* Metodologicheskie osnovy ocenki jekologo-geohimicheskoi ustojchivosti pochv k tehnogennym vozdejstvijam: Metodologicheskoe posobie [Methodological basis of assessment of environmental-geochemical soil resistance to anthropogenic influences: Methodological guide], M.: Izdatel'stvo MGU, 1997, 102 p. (in Russian).
- Hettelingh J.P., Sverdrup H., Zhao D.* Deriving Critical Loads for Asia // *Water, Air and Soil Pollution*. 1995. Vol. 85, Iss. 4. P. 2565–2570.
- Kopcik G.N., Makarov M.I., Kiseleva V.V.* Principy i metody ocenki ustojchivosti pochv k kislotnym vypadenijam: Uchebnoe posobie [Principles and methods for evaluating stability of soils to acid deposition: Textbook.], M.: Izdatel'stvo MGU, 1998. 96 p. (in Russian).
- Krechetov P.P., Aljabina I.O.* Teoreticheskie osnovy kolichestvennoj ocenki ustojchivosti pochv k tehnogennomu vozdejstviyu [Theoretical basis for quantitative assessment of soil resistance to technogenic impact], *Ohrana okruzhajushhej prirodnoj sredy*. Moskva, VNIi prirody, 2001, pp. 197–210 (in Russian).
- Krechetov P.P., Koroleva T.V., Chernitsova O.V.* Pochvennyj pokrov kosmodroma Bajkonur i ego ustojchivost' k tehnogennomu vozdejstviyu [Soil cover of Baikonur cosmodrome and its resistance to technogenic impact], *Vestnik Moskovskogo Universiteta. Seriya 5. Geografija*, 2015, no 3, pp. 12–24 (in Russian).
- Nacional'nyj Atlas Respubliki Kazahstan. T. 1. «Prirodnye uslovija RK». Almaty, Izd-vo «Respublikanskaja kartograficheskaja fabrika Agentstva po zemel'nym resursam RK» [National Atlas of the Kazakhstan Republic. Volume I «natural conditions of the RK», Almaty 2006. 125 p. (in Russian).
- Nacional'nyj doklad o sostojanii okruzhajushhej sredy Respubliki Kazahstan v 2010 godu [National Report on environmental conditions of the Kazakhstan Republic in 2010], Pod redakciej M.K. Baekenovoj, RGP «KazNIIJeK» MOOS RK, Almaty, 2011. 241 p. (in Russian).
- National Human Development Report 2009. From Exclusion to Equality: Realizing the rights of persons with disabilities in Kazakhstan. UNDP Kazakhstan, 2009. 161 p.
- Ohrana okruzhajushhej sredy v Kazahstane. 2007–2011 [Environmental Protection in Kazakhstan 2007–2011], Stat. sb. Astana, 2012. 322 p. (in Russian).
- Posch M., deSmet P.A.M., Hettelingh J-P., Downing R.J.* Calculation and Mapping of Critical Thresholds in Europe. Status Report 1999. Coordination Center for Effects // RIVM Rep. N. 259101009. 1999. Bilthoven, the Netherlands, 165 p.
- Regiony Kazahstana v 2011 godu, [Kazakhstan Regions in 2011], Statisticheskij sbornik, Pod red. A.A. Smailova, Astana, 2012. 401 p. (in Russian).
- Sajt Agentstva statistiki Respubliki Kazahstan, razdel Jekologicheskie indikatory monitoringa i ocenki okruzhajushhej sredy [Materials of the Agency of Statistics of the Republic of Kazakhstan site, section of Environmental indicators for monitoring and evaluation of the environment], 2015. URL: <http://www.stat.gov.kz/> (Accessed: 20.03.2015).
- Sajt rejtingovogo agentstva «Jekspert RA», razdel investicionnye rejtingi regionov Kazahstana. [Materials of rating agency «Expert RA» site, section of Kazakhstan regions investment ratings] 2015. URL: <http://www.raexpert.ru/ratings/kazakhstan/> (Accessed: 20.03.2015).
- Snakin V.V., Aljabina I.O., Krechetov P.P.* Jekologicheskaja ocenka ustojchivosti pochv k antropogennomu vozdejstviyu [Environmental assessment of soil resistance to anthropogenic impact], *Izvestija RAN. Serija geograficheskaja*, 1995, no 5, pp. 50–57 (in Russian).
- Solnceva N.P.* Geohimicheskaja ustojchivost' prirodnykh jekosistem k tehnogennym nagruzkam [Geochemical stability of natural ecosystems to technogenic loads], *Dobycha mineral'nogo syr'ja i geohimija prirodnykh system*, M.: Nauka, 1982, pp. 181–216 (in Russian).
- Ugarova N.A.* Novyj podhod k ocenke izmenenija ustojchivosti gorodskoj sredy na primere gorodov Cheljabinskoi oblasti [New approach to assessing the changes in stability of urban environment on the example of Chelyabinsk Oblast], *Jekologija i promyshlennost' Rossii*, 2004, no 10, pp. 4–9 (in Russian).

Received 20.04.2015

Accepted 11.09.2015