

УДК 550.4:23.054(470.311+470.318)

Экобиогeoхимические исследования моренных ландшафтов

Eco Biogeochemical studies of moraine landscapes

М. А. Хрусталева

M. A. Khrustaleva

Московский государственный университет им. М. В. Ломоносова, г. Москва. E-mail: mmhr@rambler.ru

Реферат. Биогeoхимические исследования по изучению миграции и аккумуляции химических элементов в ландшафтах имеют важное научное значение и актуальны при выявлении источников загрязнения. Аналитические данные по химическому составу компонентов ландшафтов необходимо учитывать при оценке экологического состояния окружающей среды с целью повышения биопродуктивности растительных сообществ, снижения токсичности элементов и улучшения состояния здоровья людей. 2017 г. Указом президента В. В. Путина объявлен Годом экологии.

Summary. Biogeochemical researches on study of migration and accumulation of chemical elements in the landscapes are of great scientific value and relevant in identifying sources of pollution. Analytical data on the chemical composition of landscape components should be considered when evaluating the ecological state of the environment to improve the bio-productivity of plant communities, reducing the toxicity of the elements and improve human health. President Vladimir Putin declared the 2017 Year of Ecology.

Введение

Изучение экобиогeoхимических особенностей компонентов ландшафтов весьма актуально в XXI веке в связи с бурным развитием научно-технического прогресса. Большую роль в развитии экобиогeoхимии, как приоритетной науки, оказало учение В. И. Вернадского (150-летие со дня рождения ученого отмечало все прогрессивное человечество 22 января 2013 г.) о составе живого вещества, его роли в миграции, трансформации, аккумуляции химических элементов в биосфере, которое он изложил в книге «Проблемы биогeoхимии» (Вернадский, 1934). Здесь соединено учение о биосфере и геологической деятельности живых веществ в совокупности животных и растительных организмов, являющихся важным геологическим фактором планеты Земля. Биогeoхимия, аналогично геохимии, «может изучаться в трех аспектах: во-первых, с биологической стороны её значения среды жизни, во-вторых, с геологической стороны – её значения для познания явлений жизни, т. е. прежде всего биосферы, и в-третьих, в связи с её прикладным значением, которое может быть научно сведено к биогeoхимической роли человечества» (Вернадский, 1934, с. 8).

Теория биосферы – актуальная естественно-научная предпосылка для создания основ экологии человека. В. И. Вернадский: создатель теории экологии человека (Хрусталева, 2013а). Теория развития биосферы является стратегией и тактикой науки по проблемам экологии человека в различных аспектах.

Известно, что взаимодействие человеческого общества с окружающей его средой обуславливает устойчивое безопасное состояние в период активного развития научно-технического прогресса, способствуя улучшению экологической обстановки.

Президент страны В. В. Путин подписал Указ, в котором 2017 г. объявлен Годом экологии.

Такое решение было принято с целью привлечения внимания общества к вопросам экологического развития Российской Федерации, сохранения биологического разнообразия и обеспечения экологической безопасности. Подготовка к Году экологии уже началась.

Материалы и методы

Экобиогeoхимические экспедиционные и стационарные мониторинговые исследования компонентов моренных ландшафтов проводились в пределах Смоленско-Московской возвышенности, расположенной в подзоне хвойно-широколиственных лесов с зональными дерново-подзолистыми почвами. Для решения актуальных экогeoхимических проблем применялся современный ландшафтно-гeoхимический метод исследования (Хрусталева, 2003, 2015а), когда профили с расположенными на них опытными площадками закладывали в направлении потока вещества – от автономных позиций к подчиненным. Величину надземной фитомассы травянистых растений определяли методом заложения пробных площадок, размером в 1 м²

каждая, на которых брали укосы в трехкратной повторности. Для определения биопродуктивности укосы взвешивали на аналитических весах с точностью до второго знака после запятой в сыром виде, а затем сушили их в лабораторных условиях до воздушно-сухого состояния и снова взвешивали. Зольность растений определяли путем их сжигания в муфеле в корундовых тиглях при постепенном повышении температуры до 450 °С. Содержание макроэлементов определялось методом мокрого озольнения, а микроэлементов – методом спектрального анализа (Хрусталева, 2003).

Развитие, функционирование компонентов ландшафтов обусловлено воздействием как природных, так и антропогенных факторов. Следует отметить, что роль последних очень велика, и они способны изменить как направленность потоков вещества, так и их латеральные и радиальные связи, проходящие через атмосферу, поверхностный сток, почвы, биогенную миграцию химических элементов. Комплексное ландшафтно-геохимическое изучение проводилось в шести видах современных ландшафтов: лесные, луговые гидроморфные, антропогенные, трансаквальные и аквальные с выявлением источников загрязнения.

Лесные, ландшафты занимают преимущественно автономные водораздельные позиции волнистых и холмистых моренных равнин занятых елово-широколиственными, еловыми, мелколиственными лесами на дерново-средне- и дерново-сильнопodzолистых почвах. Биопродуктивность надземной фитомассы в них составляла 2–4 ц/га, а на полях 19 ц/га в воздушно-сухом весе (Хрусталева, 2014а, 2015а). Луговые ландшафты приурочены к автономным и транзитным позициям равнин с естественной растительностью. Почвы их дерново-слабо- и дерново-среднеpodzолистые (Хрусталева, 2015а, в). Гидроморфные ландшафты занимают подчиненное положение в рельефе и приурочены к местности речных долин, как к поймам, так и расположены за их пределами, где представлены лощинами, западинами, влажными логами (Хрусталева, 2014б). Антропогенные ландшафты занимают выровненные и слабонаклонные поверхности моренных, моренно-водноледниковых равнин и заняты посевами зерновых, бобовых и овощных культур. Биопродуктивность надземной фитомассы в них в воздушно-сухом виде составляла 50,1 ц/га (табл.).

Таблица

Динамика продуктивности надземной фитомассы в ландшафтах Московской и Калужской областей в сыром и воздушно-сухом весе (ц/га)

Ландшафты	Калужская область		Московская область	
	Сырая	Воздушно-сухая	Сырая	Воздушно-сухая
Антропогенные	15,5–76,2	3, 1–41,3	50, 9–105,0	11,6–50,1
Луговые	24,1–76,9	14,0–29,6	41,1–104,8	16,1–50,1
Лесные				
Лиственный лес	32,0–94,3	6,2–20,6	12,9–60,7	6,2–18,5
Смешанный лес	0,9–21,8	0,3–6,7	4,1–40,4	1,0–5,2
Гидроморфные				
Высокая пойма	31,4–85,2	11,2–37,2	43,2–165,8	14,1–28,5
Низкая пойма	–	–	55,0–101,0	16,6–50,3

Обсуждение

Велика роль в биологическом круговороте продукционных (создание органического вещества) и деструкционных (разложение его) процессов. Продукционные процессы в антропогенных ландшафтах происходят в период вегетации основной культуры, а в луговых и гидроморфных – непрерывно в течение всего вегетационного периода. Именно продукционные и деструкционные процессы способствуют одновременному развитию растений в антропогенных ландшафтах и разновременному – в луговых. Продуктивность укосов антропогенных и гидроморфных ландшафтов высока (до 50,1–50,3 ц/га в воздушно-сухом весе) (Хрусталева, 2015а, б) (табл.).

Воздушно-сухой вес фитомассы травостоев луговых ландшафтов, занятых посевами многолетних трав, превосходит в 1,5–2,0 раза таковой естественных, а однолетних трав в пересчете на зеленую массу – в

1,2–2,6 раза. Запасы зольных элементов в надземной биомассе культурных растений в 1,1–1,5 раза меньше по сравнению с продукцией луговых. Это происходит за счет уменьшения массы корней культурных растений в противоположность таковым луговых травостоев. Для антропогенных ландшафтов характерен искусственный отбор культурных растений, направленный на повышение урожайности и устойчивости, в противоположность естественному отбору в луговых и гидроморфных.

Запасы элементов по сезонам в укосах луговых ландшафтов колебались от 27,07 у азота до 33,4 кг\га – у кремния (Хрусталева, 2015а). Зольность луговых растений в 3–4 раза превышала таковую в злаках антропогенных ландшафтов. Различия в зольности укосов пшеницы и ячменя составляли 1,0–1,5, а пшеницы и ржи – 1,6–1,9 раза. Минимальная зольность выявлена в укосах фитомассы зерновых культур. Зольность травостоев лесных ландшафтов варьировала в пределах от 8,4 до 14,4, а опада от 5,2 до 11,1 % (Хрусталева, 2014а, 2015а).

Концентрация химических элементов в растениях зависит не только от величины биомассы, но и от интенсивности поглощения их растениями, особенностей структуры и функционирования фитоценоза, потребности растений в элементах питания и экологических условий.

Рассмотрим миграцию и аккумуляцию химических элементов, которые накапливают растения в процессе своего роста и развития.

Следует отметить важную роль в жизни растений, таких биоэлементов, как: азот, фосфор, калий, сера, магний, марганец, кальций и др. Азота и фосфора больше накапливает фитомасса надземной части растений по сравнению с послеуборочными остатками. Много азота (2,4 г\100 г сухого вещества) аккумулирует зерно пшеницы, поставщиком которого служат зерновые культуры, концентрирующие до 40 % белков. Растения антропогенных ландшафтов аккумулируют в зерне азот, фосфор, калий в величинах, превышающих в 1,5–2,5 раза таковые в стеблях и листьях. С зерном пшеницы выносятся больше азота, фосфора, калия, чем с соломой.

Зерно ячменя аккумулирует N, P, S, Cu, Co, а стебли – Si, K, Ca, Mg, Mn. Под влиянием серы увеличивается белковость зерна ячменя, причем больше белка накапливается в зерне в засушливые годы. Осадки ухудшают обстановку для накопления белка в зерне, что связано с неблагоприятными условиями для нитрификации и аккумуляции азота в почве (Хрусталева, 2015б). В сезонном аспекте максимальные величины (31,73 кг\га) азота выявлены осенью – в сентябре в травостоях луговых ландшафтов при минимуме (6,08 кг\га) в антропогенных – в июне (Хрусталева, 2015 а). К растениям нитрофилам относятся: пырей ползучий, крапива, иван-чай, купырь, борщевик и многие сорняки: лебеда, крестовник, пикульник (Шенников, 1950). Из многолетних длиннокорневищных (до 1,5–2,0 м) злаков (костер безостый) может усваивать нитраты из глубоких почвенных горизонтов, предотвращая загрязнение грунтовых вод. Много Si, K, N, S, Mg, Na обнаружено в продукции надземной фитомассы луговых ландшафтов, а N, K, P, S, Mg, Ca, Fe – в укосах антропогенных. Заметим, что кальцием обогащены бобовые.

В укосах отавы выявлено повышение концентрации кремния в 3–4 раза по сравнению с июнем, а калия – в 3–7 раз. Следует отметить, что наблюдается тенденция к увеличению содержания химических элементов в растениях осенью.

При участии *фосфора* осуществляются обменные процессы. В семенах бобовых его содержится больше, нежели в зерне пшеницы, ржи, кукурузы. Злаки много поглощают фосфора в период вегетационного роста и налива зерна. И поэтому максимум фосфора, по данным зольного анализа автора, выявлен в зерне ржи, пшеницы, а минимум (2 кг\га) – в их соломе. Малое содержание фосфора в соломе послеуборочных остатков зерновых культур указывает на то, что его немного возвращается в почвы антропогенных ландшафтов.

Важная роль в питании растений принадлежит *калию*. Он принимает активное участие в регуляции осмотических процессов. Его накапливают картофель, свекла. Калия больше выносятся с урожаем зерна ржи, ячменя, овса по сравнению с тем количеством, которое возвращается в почву с соломой. Необходимо отметить, что вынос калия, наряду с азотом и фосфором, обусловлен его аккумуляцией в зерне. Для калия характерен азотно-калиевый тип химизма. Максимальные (16,65 кг\га) концентрации калия выявлены в укосах разнотравных ассоциаций лесных ландшафтов с господством кислицы обыкновенной, папоротника-кочедыжника мужского – в июле. Много калия в фитомассе гидроморфных ландшафтов, индивидуально, его концентрируют: лютик едкий (2,32 %), горец шершавом (2,30 %), таволга вязолистная (1,50 %), что обусловлено физико-географическими условиями среды и активностью биологического поглощения (Хрусталева, 2015а).

Следует отметить важную роль *серы* в жизни растений. Сера входит в состав аминокислот, определяющих питательную ценность сельскохозяйственных культур. Сера активно функционирует в окислительно-восстановительных процессах растений, повышает величины хлорофилла в листьях и активизирует процесс фотосинтез. Она также входит в состав белков и активно поглощается растениями. Много серы аккумулирует зерно пшеницы и клевер. В значительных величинах ее обнаружено в золе укосов луговых ландшафтов в июне.

Магний входит в состав хлорофилла растений. Он потребляется ими в течение всего вегетационного периода до фазы старения. Магнием обогащена ботва картофеля. Его больше, по сравнению с кальцием, содержится в зерне злаков. Относительное накопление магния (до 3,10 мг/кг) выявлено в укосах разнотравно-злаковых ассоциаций луговых ландшафтов – в июне и гидроморфных (до 3,30 мг/кг) – в июле.

Растения также аккумулируют *марганец*, который относится к элементам слабого и очень слабого захвата. Он поглощается растениями из почв в условиях кислой (при pH = 4,5–5,5) среды и по мере отмирания вновь возвращается в почву. Марганец больше (в 1–2 раза) потребляет разнотравье, чем злаки. Наблюдается тенденция увеличения содержания марганца от весны к осени и от автономных позиций к подчиненным. Заметные количества марганца выявлены в укосах травостоев лесных ландшафтов в осенний период.

Максимум фосфора, *кальция* выявлен в укосах луговых ландшафтов в сентябре, а магния – в июне (Хрусталева, 2015а, в). Кремнием обогащены укосы злаковых травостоев гидроморфных ландшафтов также в сентябре. (Хрусталева, 2014б). Следует отметить тот момент, что в гидроморфных ландшафтах с преобладанием злаков в больших количествах накапливаются кремний, калий, фосфор, сера, а с господством разнотравья – калий, кальций, кремний, фосфор.

С увеличением возраста растений содержание азота, кальция, калия, фосфора, марганца уменьшается в связи с процессами реутилизации и выщелачивания элементов из ландшафтов по сравнению с тем количеством, которое было поглощено растениями за период своего роста и развития.

Особенностью биологического круговорота в антропогенных ландшафтах является то, что значительная часть (N, P, K) элементов выносятся с урожаем и это количество превышает их возврат от разложения пожнивно-корневых остатков. Частичное возмещение отчужденных элементов может компенсировать внесение на поля удобрений, а также правильное применение севооборотов, сопровождающееся регулярным контролем агрогеохимических показателей. Вынос элементов из луговых ландшафтов происходит в результате сенокошения, пастбы скота. Значительная часть вовлеченных в биологический круговорот элементов при соблюдении правил агротехники может вновь возвращается в почву. Особенность биологического круговорота в антропогенных ландшафтах заключается в том, что значительная часть (N, P, K) элементов выносятся с урожаем и это количественно превышает их возврат от разложения пожнивно-корневых остатков. Биологический круговорот предотвращает коренные изменения при смене естественных фитоценозов на культурные. Поэтому сейчас и, особенно, в засушливых районах применяют мульчирование, в результате которого солома остается на полях.

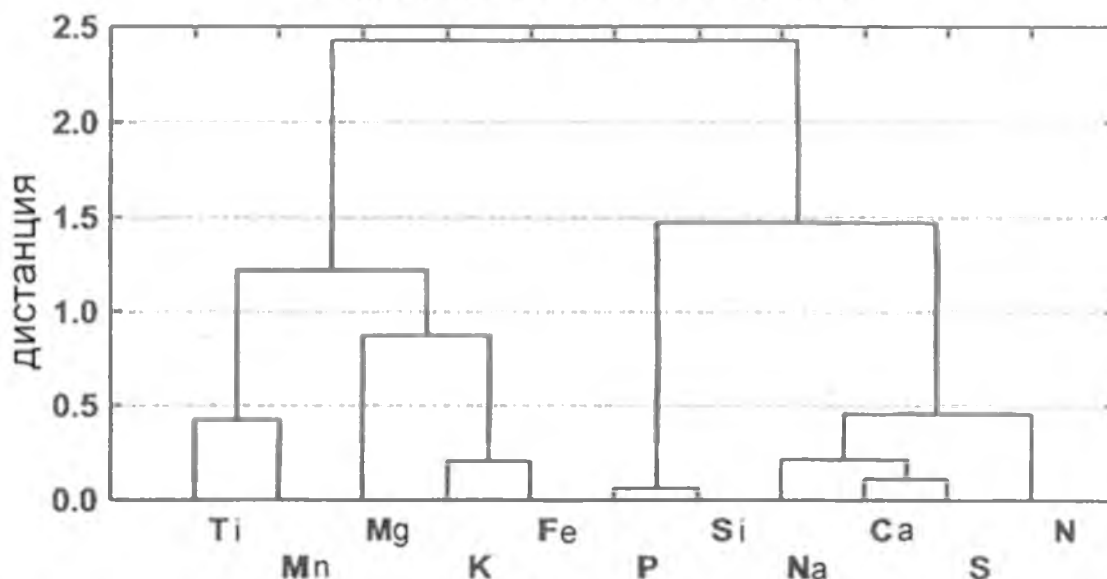
Так, негативное влияние на организм человека оказывает употребление овощных культур при внесении повышенных доз азотных удобрений. При нарушении норм при внесении нитратов содержание их (больше 1 г\кг при норме 1 мг\кг) в листовых культурах: салате, шпинате, сельдерее может превышать норму, что вредит существованию живых организмов, в том числе и здоровью человека.

Вынос элементов из луговых ландшафтов происходит в результате сенокошения, пастбы скота. Значительная часть вовлеченных в биологический круговорот химических элементов возвращается в почву в процессе минерализации. Биологический круговорот предотвращает коренные изменения состояния ландшафтов при смене дикорастущих растений на культурные.

Полученные нами многочисленные данные химических анализов зола растений были обработаны методом многомерного (кластерного и факторного) анализа (Хрусталева, 2015а). С применением кластерного анализа нами проведена классификация химических элементов по признакам сходства и аккумуляции в золе растений, а факторного – установлена взаимосвязь между ними. На дендрограмме (рис.) при помощи кластерного анализа данные запасов химических элементов (кг/га), сосредоточенные в травяном ярусе ландшафтных катен, были сгруппированы по их наличию в золе растений в блоки. Элементы, сходные по свойствам и способности к накоплению, объединены в группы низкого уровня, а затем – в крупные блоки (кластеры) (рис. А).

Кластерный анализ отражает черты сходства, различия в классификации элементов, а для взаимосвязи и зависимости между элементами и компонентами ландшафтов был применен факторный анализ. Ме-

А. КЛАССИФИКАЦИЯ ЭЛЕМЕНТОВ ПО СОДЕРЖАНИЮ В ЗОЛЕ РАСТЕНИЙ (ЛЕСНЫЕ, ЛУГОВЫЕ, ГИДРОМОРФНЫЕ, АНТРОПОГЕННЫЕ) ЛАНДШАФТОВ ЗА ИЮНЬ, ИЮЛЬ, АВГУСТ, СЕНТЯБРЬ



Б. ИЗМЕНЕНИЕ ЗАПАСОВ ЭЛЕМЕНТОВ В ТРАВЯНОМ ЯРУСЕ (КГ/ГА) В ЧЕТЫРЕХ ТИПАХ КАТЕН С ИЮНЯ ПО СЕНТЯБРЬ

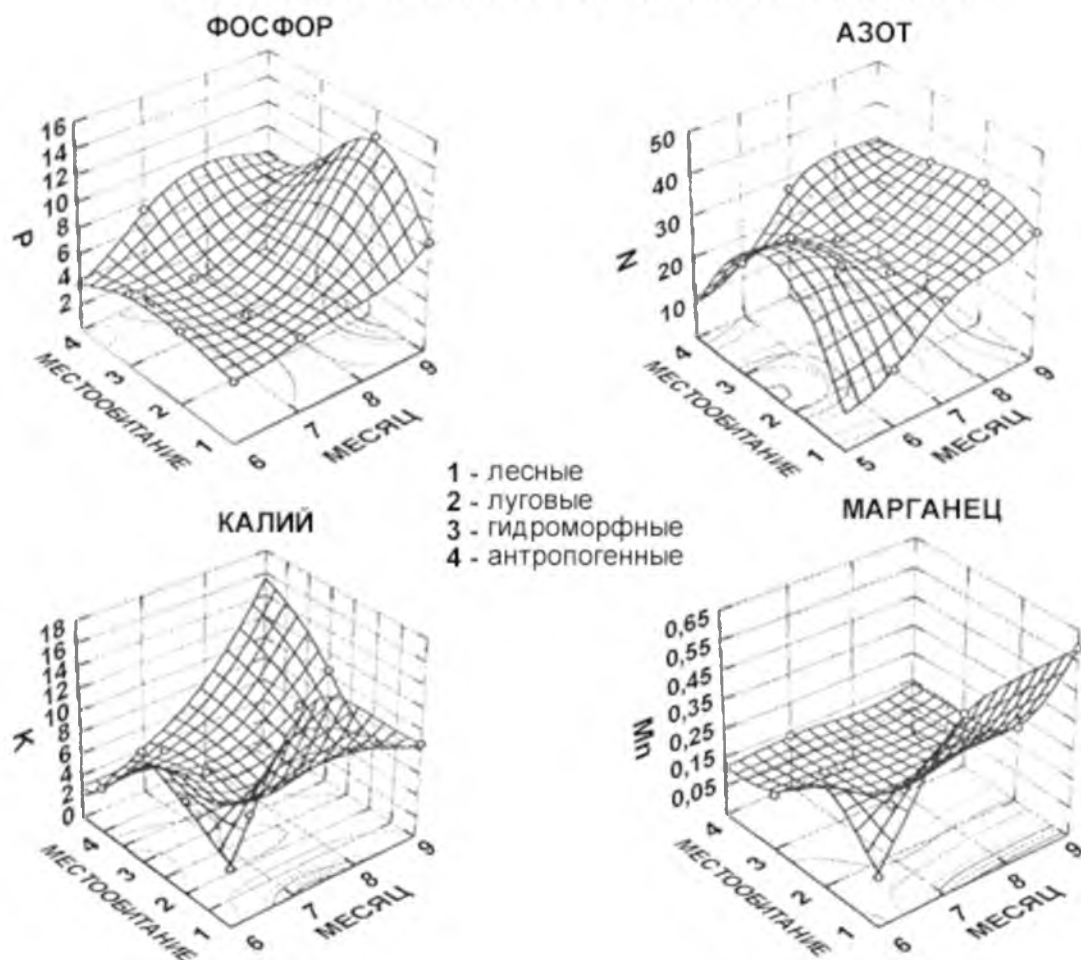


Рис. Классификация элементов (кг/га) в укосах травостоев лесных, луговых, гидроморфных и антропогенных ландшафтов.

тодом J. As. Warda (1963) с коэффициентом взаимного сопряжения Пирсона на основании многочисленного количества полученных аналитических данных проведена классификация элементов по запасам (кг/га) в биомассе растений лесных, луговых, антропогенных, гидроморфных ландшафтов в течение вегетационного периода (с июня по сентябрь) по сходству и особенностям миграции путем объединения в блоки (рис.). Важна роль химических элементов в жизни живых организмов, растений и особенно органоидов (азота, фосфора, калия, марганца и др.). На рис. Б показана вариабельность отдельных элементов в золе укусов исследованных ландшафтов по месяцам и катенам^х в течение вегетационного периода.

На основе кластерного анализа сделана их группировка, где обнаруженные в растениях 11 элементов (рис. А) по степени сходства свойств и способностей к накоплению были объединены в пять кластеров (10): Ti-Mn, Mg-K-Fe, P-Sr, Na-Ca-S и N, которые изображены в виде дендрограмм (рис. А). На рис. Б показано распределение запасов химических элементов в изученных ландшафтах по катене в направлении от автономных позиций к подчиненным. Характеристика элементов приведена выше.

Экология

Важную роль в экобиогеохимических исследованиях ландшафтов играет охрана природы от негативного воздействия технического прогресса. Руководство страны и правительство столицы уделяет этому вопросу большое внимание.

2017 год объявлен Президентом страны В. В. Путиным годом экологии. Отметим, что основными (92,3 %) загрязнителями компонентов ландшафтов, в том числе и растительного покрова, в столице и регионе являются выбросы из выхлопных труб автотранспорта токсичных ароматических углеводородов (ПАУ), бензапирена, бутадиена, окисей углерода, азота и канцерогенов (свинца, кадмия), применение противогололедных реагентов в городах и др. Отрицательно влияют на окружающую среду топки-котельни, ТЭЦ, промышленные предприятия, автозаправочные станции, внесение удобрений на поля; поступление различных стоков (Хрусталева, 2010, 2013б, 2015а, б).

Много мероприятий проводится в столице (быстрыми темпами строят линии метро, дороги, развилки, съезды, эстакады; создают биогеохимические барьеры путем посадки древесных и кустарниковых пород для улучшения экологии и создания благоприятных условий для сохранения и продления жизни людей (Хрусталева, 2013, 2015а, б).

Для устранения и обезвреживания выбросов и стоков проводят много различных мероприятий и в том числе такие, как вывод вредных производств за пределы города или их закрывают совсем. Осуществляют плановые модернизации предприятий в городе и регионе (как, например, реконструкция на МНПЗ в Капотне и др.) с разработкой и внедрением новых технологий.

Канцерогены (свинец, кадмий) из выбросов автотранспорта и предприятий попадают в почвы и растения, а затем по биологическим цепям – в организм человека, что способствует ухудшению здоровья людей, вызывая развитие различных заболеваний, в том числе и онкологические.

Для улучшения экологической обстановки, обеспечивающей роста и развития растений необходим постоянный контроль над сезонной вариабельностью и составом элементов, содержащихся в растениях и, особенно, в овощных и зерновых культурах, произрастающих вблизи дорог с интенсивным автомобильным движением. Здесь также не рекомендуется выпасать скот.

Для оценки и улучшения экологического состояния окружающей среды применяют метод фитоиндикации – биоиндикацию.

Для выявления и оценки экологического состояния компонентов ландшафтов необходимо проведение режимных наблюдений с отбором проб и последующим химическим анализом их. Уровень содержания элементов в почвах и сопредельных средах позволит оценить и улучшить экологическое состояние растений. Так, например, недостаток азота в почве проявляется в изменении окраски листьев растений на его верхушке – она становится светло-зеленой. При дефиците фосфора замедляется рост побегов, корней, задерживается цветение и созревание плодов. Изменение окраски листьев растений в темно-зеленый цвет с голубоватым оттенком свидетельствует о малом содержании в почве калия. Задержка роста корней и образование новых почек сопровождается уменьшением в почве величин кальция. Пятнистый хлороз листьев, сходный с мозаичной болезнью, указывает на недостаток магния в почвах, который можно устранить путем внесения удобрений, содержащих магний.

Заключение

В результате экобиогеохимических исследований компонентов ландшафтов выявлена максимальная (50,3 ц/га) биопродуктивность укосов фитомассы в гидроморфных ландшафтах, для которых характерен азотно-калиево-кальциевый тип биологического поглощения. В результате количественного анализа определено интенсивное накопление (N, P, S, K, Mg, Ca) элементов и наличие слабого и очень слабого захвата (Mn, Fe, Al, Ti, Cr) у них. Запас элементов в растениях значительно варьирует в течение вегетационного периода, достигая максимальных значений осенью – в сентябре.

Обработка многочисленных аналитических данных методом кластерного и факторного анализа позволила сгруппировать элементы по их сходству и накоплению, а также установить взаимосвязь между элементами и явлениями.

Экобиогеохимические экспедиционные, режимные, экспериментальные исследования компонентов ландшафтов дали возможность определить уровни содержания элементов, изучить пути их миграции, аккумуляцию с установлением источников загрязнения, что важно учитывать при оценке экологической обстановки в ландшафтах, разработке и внедрению новых инноваций для улучшения экологии и созданию благоприятных условий для проживания людей. Данные биогеохимических исследований ландшафтов служат базой для оценки экологической обстановки ландшафтов, имеют научное и практическое значение.

ЛИТЕРАТУРА

- Вернадский В. И.* Проблемы биогеохимии. I–II. Значение биогеохимии для познания биосферы. – Л.: Изд-во АН СССР, 1934. – Вып. 1. – 47 с.
- Хрусталева М. А.* Аналитические методы исследования в ландшафтоведении. – М.: Техполиграфцентр, 2003. – 88 с.
- Хрусталева М. А.* Эколого-геохимические исследования современных ландшафтов // Экология, наука о жизни: инновации. Экосистемы, организмы, инновации – 12: Материалы науч. конф. (Москва, 23 июня 2016 г.) / Отв. ред. С. А. Остроумов, С. В. Котелевцев, И. К. Тодерас, О. М. Горшкова. – М.: МАКС Пресс, 2010. – С. 88–91.
- Хрусталева М. А.* В. И. Вернадский: создатель теории экологии человека // Сб. докладов Междунар. науч. конф. (Москва, 22 января 2013 г.). – М.: АКЦИ-М, 2013а. – С. 240–246.
- Хрусталева М. А.* Современное эколого-геохимическое состояние ландшафтов. Структурно-динамические особенности, современное состояние и проблемы оптимизации ландшафтов // Материалы V Междунар. конф., посвящ. 95-летию со дня рождения Ф. Н. Милькова (15–17 мая 2013 г.). – Воронеж: Истоки, 2013б. – С. 430–432.
- Хрусталева М. А.* Биогеохимический мониторинг природных лесных сред и их объектов // Биодиагностика состояния природных и природно-антропогенных систем: Материалы XII Всерос. науч.-практ. конф. с междунар. участием. (г. Киров 2-3 декабря 2014 г.). Книга 2. – Киров: Изд-во ООО «Веси», 2014а. – С. 78–81.
- Хрусталева М. А.* Экобиогеохимия гидроморфных ландшафтов // Вопросы географии. Сб. 138. Горизонты ландшафтоведения / Отв. ред. К. Н. Дьяконов, В. М. Котляков, Т. И. Харитоновна. – М.: Издательский дом «Кодекс», 2014б. – С. 310–326.
- Хрусталева М. А.* Экобиогеохимия ландшафтов. – LAP LAMBERT Academic Publishing Saarbrücken, Deutschland, 2015а. – 352 с. ISBN: 978-3-659-75441-8.
- Хрусталева М. А.* Современные экобиогеохимические методы исследования в физической географии // География: развитие науки и образования: Коллективная монография по материалам ежегодной Междунар. LXVIII науч.-практ. конф. «Герценовские чтения», посвященной 70-летию создания ЮНЕСКО (Санкт-Петербург, РГПУ им. А. И. Герцена, 22–25 апреля 2015 г.). – СПб.: Изд-во РГПУ им. А. И. Герцена, 2015б. – С. 112–114.
- Хрусталева М. А.* Биогеохимические особенности миграции химических элементов в антропогенных и луговых ландшафтах // Геоэкологические проблемы современности: докл. VII Междунар. науч. конф. (Владимир, 9–10 октября 2015 г.). – Владимир: изд-во ВлГУ, 2015в. – С. 158–161.
- Шенников А. Н.* Экология растений. – М.: изд-во «Советская наука», 1950. – 375 с.
- Ward J.* As. Hierarchical grouping to optimization and objective function // Amer. Statistical Association, 1963. – No. 58. – P. – 236–244.