

Подход к изучению риска от химического загрязнения лесных геосистем (на примере г. Березники)

С.А. Двинских, А.Г. Хоменков

Пермский государственный университет

Современный период развития общества характеризуется нарастающими противоречиями между человеком и окружающей средой. Выработанные за тысячелетия эволюции механизмы, поддерживающие геосистемы в естественном состоянии при возрастающей неконтролируемой антропогенной нагрузке, не справляются с возмущениями, что ведет к нарушению внутренней структуры и механизма функционирования естественных геосистем (ГС). В результате накапливается критическая масса необратимых негативных изменений, что приводит к деградации ГС. Подобная ситуация сложилась в Березниковско-Соликамском промышленном узле, который является одним из трех крупных промышленных центров Прикамья и входит в число наиболее загрязненных территорий России. Мощное химическое загрязнение связано с разработкой крупнейшего в мире месторождения сильвинит-карналитовых солей. Вместе с тем г. Березники занимает 2-е место в Пермской области по числу жителей и является культурным центром Северного Прикамья. Город расположен в подзоне средней и южной тайги, поэтому в сохранении экологического равновесия территории в целом, обеспечении населения рекреационными и другими потребностями огромную роль играет лесная растительность. Большую ценность для сохранения здоровья городского населения имеют леса, расположенные в непосредственной близости от населенного пункта, но, как правило, эти же леса подвергаются наибольшему загрязнению. Будучи компонентом, стабилизирующим всю геосистему, растительность одновременно и компонент наиболее уязвимый. Ее разрушение может привести к дестабилизации всех природных процессов и в итоге к экологической катастрофе. В связи с этим одним из главных направлений науки становится оценка вероятности нарушения геосистем в зависимости от интенсивности антропогенной нагрузки и их способности сопротивляться воздействию этой нагрузки. Противоречие между уровнем антропогенной нагрузки и природной устойчивостью геосистем приводит к необратимой трансформации их и разрушению. Вероятность изменений геосистем характеризуется через понятия "устойчивость" и "экологический риск".

Подход к оценке экологического риска основывается на следующем его определении: экологический риск (ЭР) – это вероятность негативных изменений в природе, возникающих под действием антропогенных факторов и приводящих к нарушению структуры и функционирования ГС. Под геосистемой мы понимаем систему, имеющую единый базис, выделяемую в зависимости от задач исследования. Геосистемы различаются по степени изменения и степени контроля за их состоянием (рис. 1), образуют группы, характеризующиеся различными показателями: устойчивость, стабильность и надежность. Природные ГС характеризуются, в частности, понятием "стабильность"; измененные и нарушенные природно-техногенные ГС – понятием "устойчивость"; контролируемые и управляемые природно-техногенные, техногенно-природные и техногенные – понятием "надежность". Экологический риск формируется только в тех геосистемах, которые характеризуются понятием "устойчивость".

Под **стабильностью** понимаем свойство ГС сохранять свою структуру в естественных условиях (без вмешательства человека). В более узком смысле можно говорить, что

стабильность складывается из устойчивости к привычным воздействиям природного происхождения, например, к ветровалу, заражению опенком и т.п. Стабильность ГС подразумевает ее гарантированное возобновление и существование неограниченно длительное время. **Надежность** – свойство *целенаправленно* измененных (сельскохозяйственных, водохозяйственных, селитебных и пр.) ГС сохранять *преднамеренно нарушенное состояние*. Свойство противоположное надежности – *уязвимость*.

Под **устойчивостью** понимаем два вида: 1) *упругая устойчивость* – способность к быстрому восстановлению после снятия нагрузки; 2) *резистентная устойчивость* – способность сопротивляться нагрузке при неизменной структуре.

Экологический риск определяется через устойчивость ГС. Для оценки экологического риска, согласно принятому нами определению, необходимо изучение резистентной устойчивости.

В механизме устойчивости ГС роль отдельных факторов может оказаться неоднозначной и даже противоречивой, поэтому понятие "*устойчивость геосистемы*" относительно и существование "интегральной" устойчивости невозможно. В связи с этим нужно четко указывать вид воздействия, устойчивости к которому необходимо определить. В нашем случае дается оценка устойчивости ГС к химическому загрязнению – одному из глобальных видов воздействия.

Критерием устойчивости может быть растительность, так как именно она наиболее полно испытывает на себе влияние всех других компонентов ГС, является наиболее подвижным и быстро трансформирующимся (критическим), и одновременно стабилизирующим компонентом. Состояние растительности может измениться при загрязнении атмосферы; почвы; атмосферы и почвы. Изучение почвы как критерия сохранности ГС необходимо по следующим причинам: 1) крайне тесная взаимосвязь с растительностью; 2) присутствие в составе живого вещества; 3) большая консервативность почвенных свойств. Поскольку на леса изучаемого района оказывает влияние загрязнение воздуха и почвы, анализ устойчивости проводился по двум направлениям – оценка аэрогенной и педогенной устойчивости.

Устойчивость любой геосистемы не безгранична. Даже у очень устойчивой ГС существует порог устойчивости – вероятность изменения, связанная с переходом системы в новое динамическое состояние. Этот переход мы определяем как "риск". Вероятность того, что случайное сочетание внешних и внутренних отклонений от нормы достигнет разрушительной силы, никогда не равна "нулю", т.е. при наличии внешних воздействий всегда присутствует риск, возможность проявления которого определяется через устойчивость ГС.

Основными источниками риска для лесных геосистем изучаемой территории являются выбросы в атмосферу предприятий химической промышленности, цветной металлургии и теплоэнергетики.

Среди основных условий возникновения риска можно назвать

– *природные*, заключающиеся в предрасположенности природной среды к развитию негативных процессов и явлений (ГС с низкой устойчивостью);

– *природно-техногенные*, заключающиеся в накоплении негативных изменений в ГС в результате длительной техногенной нагрузки (исчерпание запаса устойчивости в результате стабильной и безаварийной работы предприятий при небольшой, но постоянной нагрузке);

– *техногенные*, обусловленные значительным увеличением нагрузки, особенно резким, например, в результате залпового аварийного выброса в технологическом процессе (превышение предельно допустимой нагрузки).

Экологический риск различают по виду воздействия (химический, физический, механический), по генезису (аэрогенный, педогенный), по времени возникновения (постоянный, периодичный), по сценарию развития (мягкий, жесткий), по уровню развития (формирующийся, зрелый, остаточный). Совокупность всех видов ЭР формирует *фактический* экологический риск.

Главными факторами риска являются *антропогенная нагрузка* (загрязнение атмосферы и почвы, другими словами, аэрогенная и педогенная нагрузка) и *природная устойчивость*

ГС (аэрогенная и педогенная).

Аэрогенная нагрузка. Оценка загрязнения атмосферного воздуха проводилась на основе данных постов ОГСНКА, СЭС и предприятий. Кроме того, из-за недостаточного количества стационарных постов наблюдений для получения полной пространственной картины загрязнения атмосферного воздуха использовались расчетные поля рассеивания загрязняющих веществ ПДВ промышленных предприятий. Расчеты полей рассеивания проводились по различным модификациям программ "Эфир" и "Гарант", где повторяемость ветров по всем румбам принимается одинаковой. Полученные значения нами пересчитывались с поправкой на розу ветров. С учетом комплекса полей рассеивания, построенных для наиболее важных загрязняющих веществ, рассчитан показатель аэрогенной нагрузки по формуле

$$K = \sum \left(\frac{C_i}{\text{ПДК}_i} - n \right) / S, \quad (1)$$

где K – суммарный балл нагрузки; C_i – концентрация i – го компонента в воздухе; ПДК_i – предельно допустимая концентрация i – го компонента; n – число ингредиентов; S – площадь матричной ячейки.

Педогенная нагрузка. Содержание загрязняющих веществ в почвах определялось на основе анализов отобранных почвенных проб. Опробование почв проводилось по 350 точкам наблюдений со средней плотностью 4 точки на 1 км². В качестве показателя трансформации почвенного покрова принято превышение фоновых значений концентрации микроэлементов в почвах данной территории:

$$Z_c = \sum_{i=1}^n \frac{C_i}{C\phi} - (n-1), \quad (2)$$

где C_i – фактическая концентрация i - го элемента в почве (г/т); $C\phi$ – фоновая концентрация i - го элемента (г/т); n – количество учитываемых элементов.

Общая химическая нагрузка оценивается как результат наложения аэрогенной нагрузки на суммарный показатель загрязнения почв Z_c .

Аэрогенная устойчивость лесов. Поглощение и вывод загрязняющих веществ (ЗВ) наземными органами растений зависит от влажности и температуры воздуха, скорости ветра, длительности вегетации, фенологической фазы, количества ярусов растительности, размеров и формы листьев, перераспределения ЗВ в организме, вязкости газов, значения их коэффициента диффузии, растворимости газов в воде и т.д. Расчеты поглощения по всем этим показателям очень трудоемки и могут быть выполнены лишь в исключительных случаях. В целом все показатели аэрогенной устойчивости лесов можно разбить на две группы: зависящие и не зависящие от породного состава леса. На основе литературных данных нами была проанализирована интенсивность поглощения, метаболизма и самоочищения в зависимости от породы. В качестве факторов поглощения рассматривались: скорость роста, площадь листовой поверхности, отношение границ поверхности листа к его площади, шероховатость листа, наличие и липкость органических выделений, шероховатость коры и скорость ее опада, коэффициент деструкции, соотношение массы годичной продукции древесины и листьев (хвои), форма кроны, биологическая устойчивость (способность быстро возобновлять поврежденные ЗВ части и органы), интенсивность метаболизма, механизмы защиты от проникновения ЗВ внутрь растения. С учетом биологических особенностей поглощения и самоочищения от ЗВ ряд устойчивости древесных пород исследуемого района будет следующим: сосна – пихта – ель – лиственница – береза – осина (по мере увеличения устойчивости). К наименее устойчивым древостоям относятся сосновые, а к наиболее устойчивым – осиновые леса.

Факторами, не зависящими от вида растения, являются сезонная ритмика, полнота, бонитет, возраст. Влияние сезонной динамики проявляется в регулярной регенерации фотосинтезирующих органов лиственными породами. В итоге хвойные деревья с меньшей площадью поверхности вечнозеленой хвои за год поглощают больше ЗВ (например, пыли в 5 раз), чем листопадные, у которых задерживающая способность древесного яруса в зимний период снижается в 3 раза по сравнению с летним.

Немаловажное влияние на растительность оказывает сомкнутость полога – полнота (лесоводственная). Разреженные древостои не только меньше задерживают ЗВ, но и способствуют усилению скоростей ветра в приземном слое воздуха и, следовательно, их выносу и рассеиванию. Устойчивость плотных древостоев уменьшается из-за снижения скорости ветра (в 2-4 раза, вплоть до штиля) и повышения влажности воздуха и почвы.

Влияние бонитета проявляется через интенсивность "захвата" ЗВ. Так как ассимиляция ЗВ осуществляется в основном через листья, то чем больше продуцировано зеленой массы, тем больше "захват" ЗВ. Высокая интенсивность аккумуляции ЗВ присуща только здоровым, высокопродуктивным деревьям, угнетенные деревья накапливают ЗВ значительно меньше, чем активно растущие. Растения, характеризующиеся пониженной интенсивностью фотосинтеза и меньшей скоростью поглощения поллютантов, более устойчивы, чем растения с большой интенсивностью фотосинтеза и большой скоростью поглощения. Отсюда можно сделать вывод, что растения I класса бонитета, наиболее полно реализующие почвенное плодородие и солнечную энергию, более подвержены воздействию токсикантов, чем растения IV и V класса бонитета. Не окончательно решенным пока остается вопрос о способности к детоксикации древостоев в зависимости от их бонитета.

Влияние возраста сказывается через высоту древостоев, физиологическую активность, температурный режим произрастания, корневую систему. Анализ литературных данных выявил наибольшую устойчивость у средневозрастных древостоев, а наименьшую – у молодых и перестойных.

Для оценки аэрогенной устойчивости лесов г. Березники нами был использован метод экспертной оценки, в основе которого лежит балльная оценка факторов (порода, бонитет, возраст, полнота, сезонная ритмика), характеризующих поглощение ЗВ надземными частями деревьев и самоочищение от них (табл. 1).

Таблица 1

Балльная оценка аэрогенной устойчивости лесных геосистем г. Березники

Показатель	Устойчивость								
	высокая		хорошая		средняя	слабая		низкая	
Возраст	средний				средний и перестойный	молодой и перестойный			
	3 балла				2 балла	1 балл			
Сезонная ритмика	сброс листвы				частичный сброс	сброс отсутствует			
	3 балла				2 балла	1 балла			
Полнота средневзвешенная	0,08–0,101		0,102–0,122		0,123–0,143	0,144–0,164		0,165–0,185	
	5 баллов		4 балла		3 балла	2 балла		1 балл	
Порода	осина	береза, ольха		береза	хвойно-лиственные	ель	ель, сосна	сосна	
	7бал.	6 баллов		5 бал.	4 балла	3 балла	2 балла	1балл	
Бонитет	V +IV		IV		III	II–III		I+II	
	5 баллов		4 балла		3 балла	2 балла		1 балл	
Сумма баллов	23	22	20	19	14	9	8	6	5

Большинство показателей устойчивости лесов являются усредненными, т.к. одновидовые разновозрастные и однополнотные насаждения одного класса бонитета – исключительное явление. Все показатели сильно варьируют даже в пределах одного квартала. В связи с этим возникает необходимость получения осредненных показателей. Наиболее трудно определение полноты. Для определения средней полноты лесов, по результатам предварительной оценки, вся изучаемая территория была разбита на районы с относительно однородной полнотой. Затем в пределах каждого района сначала рассчитывалась полнота в выделе, от которой переходили к полноте в квартале и только потом – к полноте района. Последующие

расчеты проводились по формуле

$$P_{\text{срвз.}} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^n k_i \cdot p_i, \quad (3)$$

где N – количество классов полноты; k_i – весовой коэффициент; p_i – полнота в пределах района.

Для комплексной оценки аэрогенной устойчивости лесов составлены частные карты: породного состава, возраста, полноты и бонитета. Совмещение карт позволило выявить в пределах изучаемой территории 14 районов, отличающихся устойчивостью к загрязнению атмосферного воздуха.

Минимальная аэрогенная устойчивость наблюдается на юго-западе территории и в окрестностях г. Усолья в перестойных и молодых загущенных сосняках I и II класса бонитета, наибольшая – на о. Дедюхинский и в бассейне р. Ленва (северная) в осиновых и березо-ольхово-осиновых средневозрастных среднеполнотных и редкостойных лесах III класса бонитета. Районов с максимально возможной устойчивостью (разреженные средневозрастные осиновые насаждения V класса бонитета) не выявлено.

Педогенная устойчивость. Показатели педогенной устойчивости менее универсальны и отличаются для разных видов ЗВ (тяжелые металлы, неметаллы, ионы водорода, органические соединения). Загрязнение почв г. Березники представлено в основном тяжелыми металлами (ТМ), устойчивость растений к которым нами и изучалась.

При попадании ТМ в почву с ними происходят следующие процессы: 1) метаболизм; 2) концентрация; 3) миграция. Для оценки устойчивости *растений* к ЗВ особую роль играют концентрация и миграция. Определение педогенной устойчивости основывается на утверждении: *подвижные ЗВ доступны и представляют риск для растений*, и наоборот. Показатели подвижности и доступности ЗВ в почве являются показателями педогенной устойчивости.

Процессы самоочищения в почве протекают очень слабо. Малая глубина проникновения ТМ по почвенному профилю наблюдается даже в оптимальных для миграции условиях, поэтому для оценки педогенной устойчивости миграцией ТМ за пределы почвенного профиля с почвенным раствором можно пренебречь. Слабый вынос ЗВ из почвы не означает их абсолютной неподвижности: находясь в почвенном профиле, ЗВ могут оставаться доступными для корней растений. Таким образом, для сохранения растительности более значимым будет являться закрепление ТМ в недоступной для поглощения форме. Можно выделить следующую закономерность: *чем больше ЗВ закрепляется в почвенных горизонтах в малодоступной и недоступной для растений формах, тем меньше токсичность и биологическое поглощение ЗВ, а следовательно, выше устойчивость.*

Факторы, влияющие на поглощение ЗВ растениями, можно разделить на три группы: свойства химических веществ, биологические, факторы внешней среды.

Биологические факторы определяются биологическими особенностями конкретного вида растений и проявляются через избирательное поглощение различных микроэлементов разными видами растений. Способность растения накапливать микроэлементы характеризуется биогеохимической активностью вида, которую необходимо вычислять отдельно для *катионогенных и анионогенных* микроэлементов. Гумидокатные виды, сформированные в гумидных условиях, должны быть обогащены катионогенными ТМ, обладающими в таких условиях повышенной миграционной способностью. Соответственно аридные виды в аридных ГС должны накапливать анионогенные элементы.

Свойства химических веществ, в частности их растворимость, относятся к факторам второй группы. То, что из всех свойств веществ была проанализирована растворимость, объясняется тем, что доступной для растений является лишь та часть токсиканта, которая находится в почвенном *растворе*. Непосредственное поглощение из почвы путем обмена с ее твердой фазой играет второстепенную роль. При этом установлено: чем больше растворимость ЗВ, тем выше их подвижность и токсичность.

Факторы внешней среды (экологические) представлены геохимическими условиями, влияющими на растворимость и закрепление ЗВ в недоступных для растений формах.

Такими показателями педогенной устойчивости являются: количество и тип гумуса, сумма обменных оснований, оподзоленность, механический состав, кислотно-щелочные и окислительно-восстановительные условия, количество доступной влаги. Рассмотрим влияние каждого фактора на доступность ТМ для растений.

Гумус. Поглотительную способность почв к ЗВ в значительной степени определяют гумусовые вещества, обладающие значительно большей поглощающей способностью, чем минеральные. Поскольку накопление гумуса связано в первую очередь с малоподвижными высокомолекулярными веществами, можно сделать следующий вывод: чем больше содержание гумуса в почве, тем большее количество металлов связывается в малорастворимые металлоорганические соединения. Максимальной способностью уменьшать доступность ЗВ обладают низинные хорошо разложившиеся виды торфа – в 6-10 раз больше, чем дерново-подзолистые почвы. Закрепление и перемещение ТМ по почвенному профилю зависит от фракционного состава и молекулярного веса гумуса: аккумуляция ТМ увеличивается при увеличении молекулярной массы гумуса. Хорошо водорастворимые фульвовые кислоты увеличивают подвижность ТМ, в то время как гуминовые кислоты образуют с металлами слабоподвижные металлоорганические соединения.

Кислотно-щелочные условия. Подвижность металлоорганических соединений с гуминовыми и фульвовыми кислотами максимально зависит от кислотности почвенного раствора: чем кислее реакция среды, тем больше доля ненасыщенных труднее осаждаемых органических соединений фульватной природы. В нейтральной и слабощелочной среде металлоорганические соединения особенно малоподвижны. Влияние на подвижность ТМ сказывается и без участия органических веществ, т.е. посредством концентрации водородных ионов (рН). Большинство соединений ТМ в нейтральной среде очень труднорастворимы. Катионы тяжелых металлов более растворимы в кислой среде, чем в нейтральной и щелочной, анионы более подвижны в щелочной среде. Таким образом, 1) с увеличением концентрации водородных ионов уменьшается катионообменная емкость почв и повышается анионообменная; 2) с увеличением кислотности почвы увеличивается поглощение ЗВ корнями растений, при этом разница в количестве поглощаемых ТМ по сравнению со щелочными почвами может достигать 5 и более раз. В щелочных почвах даже при больших концентрациях ТМ малодоступны.

Механический состав. Доступность ЗВ для растений будет зависеть от фильтрации и водопроницаемости почв. Из всех факторов, влияющих на фильтрацию и водопроницаемость, наибольшее значение имеет гранулометрический состав. Аккумуляция ЗВ в почве по мере утяжеления механического состава является важным фактором, поскольку количество связываемых ЗВ на порядок больше, чем при изменении рН. Уменьшение подвижности ЗВ связано не только с их закреплением глинистыми минералами, но и с торможением подзолообразовательного процесса из-за набухания почвы и уменьшения интенсивности ее сквозного промачивания. Следовательно, риск поступления ЗВ в растения на тяжелых почвах уменьшается, в то время как эффект воздействия при загрязнении на песчаных почвах из-за их малой буферности может наступить даже при низких концентрациях токсикантов.

Окислительно-восстановительные процессы. При анализе влияния окислительно-восстановительной обстановки (Еh) на растворимость ТМ прослеживаются следующие закономерности: а) окислительная обстановка способствует накоплению катионогенных элементов переменной валентности и увеличению растворимости анионогенных; б) в глеевой обстановке легко мигрирует большая часть металлов, при этом миграционная способность катионогенных элементов несколько увеличивается, а анионогенных элементов – уменьшается. Большинство металлов особенно подвижны в *бессероводородной* глеевой обстановке кислых почв с высоким содержанием подвижных органических веществ, гидроксидов железа и марганца; в) в восстановительной *сероводородной* обстановке H_2S вступает в реакцию с металлами, обычно вызывая их осаждение из растворов; г) вероятность интоксикации растений подвижными соединениями ТМ увеличивается при периодическом восстановительном режиме.

Емкость катионного обмена (ЕКО) характеризует максимальное количество катионов, удерживаемое почвой в обменном состоянии, и зависит от гумуса, механического состава и содержания обменных катионов. Наибольшую роль в закреплении целого ряда ТМ играют гидроксиды железа, марганца и алюминия. Элементы, теоретически малоподвижные в восстановительной среде, становятся в действительности умеренно подвижными, так как образуют с железом, марганцем и органическими веществами комплексные и внутрикомплексные *растворимые* соединения. Сорбция на гидроксидах железа и алюминия может увеличивать как вынос ТМ из почвы, так и их аккумуляцию. Реальная ситуация будет зависеть от многих факторов, но решающее значение будет иметь рН. Оценка педогенной устойчивости приведена в табл. 2. Доступность ТМ зависит от влажности почвы. Однако при равной влажности почвы могут содержать разное количество доступной воды, для оценки которой из всех показателей водного режима наиболее удобна *максимальная гигроскопичность*. Кроме

Таблица 2

Балльная оценка педогенной устойчивости лесных геосистем г. Березники

Тип и подтип почвы	Род и вид почвы	Механический состав		ЕКО	Гумус		Опозоленность	рН	Еh	Сумма баллов
					Тип	Кол-во				
Подзолистые	Обычные, контактно-глееватые, иллювиально-гумусовые и др.	тСГ	3	2	1	1	1	1	3	12
		лСГ-СП	2				1		11	
		П	1				4		11	
Дерново-подзолистые	Контактно глубоко глееватые, слабо дифференцированные	тСГ	3	3	1	2	1-3	3	3	16-18
		лСГ-СП	2				1-3		15-17	
		П	1				1		15	
Болотно-подзолистые	Торфяно-подзолисто-глеевая	П	1	1	1	5	2	1	2	13
	Дерново-подзолисто-глеевая	П	1	3						3
Дерновые	Дерново-глеевые	тСГ	3	6	3	4	4	5	1	26
		лСГ-СП	2				4			25
Аллювиальные	Кислые собственно дерновые	П	1	4	2	3	4	2	5	21
	Кислые собственно луговые	П	1	5	2	4	4	4	2	22
	Лугово-болотные	Г	3	6	3	5	4	5	1	27
Болотные	Низинные торфяно-глеевые, торфяные	СП	2	7	3	6	4	5	1	28
		П	1				4			27

этого, для оценки доступности влаги нами используются глубина грунтовых вод и уклон территории (табл. 3), при этом большее значение соответствует меньшей доступности влаги, т.е. большей устойчивости.

Анализ результатов исследований показывает, что минимальная устойчивость принадлежит сосновым средневозрастным загущенным лесам I класса бонитета на подзолистых песчаных почвах южнее г. Усолье, максимальная – средневозрастным среднеполнотным осинникам II класса бонитета и березнякам III класса бонитета на дерново-глеевых и дерново-среднеподзолистых тяжелосуглинистых почвах к западу от д. Сибирь, к югу от Зырянского водохранилища и в долине р. Утбищная.

Оценка экологического риска для лесных ГС района г. Березников заключается в сопоставлении главных факторов риска: мощности антропогенного воздействия и степени природной устойчивости ГС. Экологический риск равен разнице между этими величинами (табл. 4):

$$\text{ЭР} = \text{Н} - \text{У}, \quad (4)$$

где ЭР – экологический риск; Н – балльная оценка химической нагрузки; У – балльная оценка устойчивости ГС.

Балльная оценка доступности почвенной влаги

Показатель	Доступность влаги, балл					
	автономные		склоны		подчиненные	
Глубина грунтовых вод	3 балла		2 балла		1 балл	
	7–15°	7–5°	5–4°	4–3°	2–1°	
Уклон поверхности	5 баллов	4 балла	3 балла	2 балла	1 балл	
	песок	супесь	супесь на глинах	легкий суглинок	тяжелый суглинок	торф
Максимальная гигроскопичность	1 балл	2 балла	3 балла	4 балла	5 баллов	6 баллов

Экологический риск со знаком "минус" будем считать **допустимым**, равным "0" - **критическим**, а со знаком "плюс" – **предельным**. Одно и то же значение риска может быть

Таблица 4

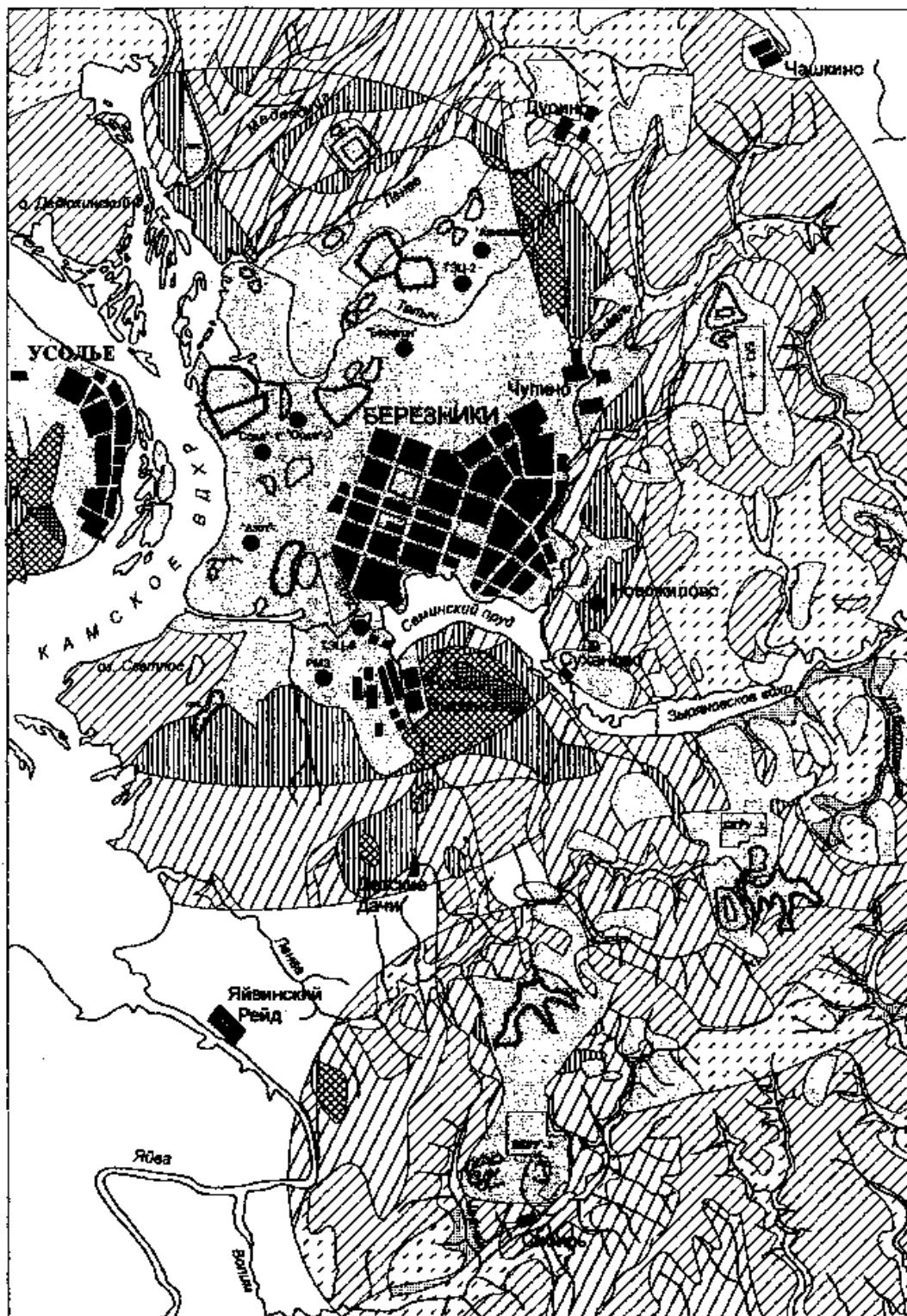
Значения экологического риска для лесных геосистем г. Березники*

Показатель	Номер района																	
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
Общая хим. нагрузка	1	1	1	1	2	2	2	2	3	3	3	3	4	4	4	4	5	5
Общая хим. устойчивость	2	3	4	5	1	2	3	4	2	3	4	5	2	3	4	5	3	4
Величина риска	-1	-2	-3	-4	+1	0	-1	-2	+1	0	-1	-2	+2	+1	0	-1		

*Значения нагрузки, устойчивости и риска даны в баллах.

результатом различных сочетаний устойчивости и нагрузки. Наибольший интерес представляют значения со знаком "плюс", что свидетельствует о возможном несоответствии нагрузки и устойчивости. Наличие отрицательных чисел говорит о запасе устойчивости: чем меньше полученное значение, тем больше запас устойчивости. Данные таблицы подтверждают наличие значительного риска даже у очень устойчивой геосистемы.

В пределах изучаемой территории выделяются допустимый, критический и предельный риски (рис.2). **Предельный** риск формируется: 1) южнее Семинского пруда в молодом разреженном ельнике III класса бонитета на дерново-сильнопodzолистых супесчаных почвах; 2) к западу от г. Усолье в приспевающих загущенных сосняках I класса бонитета на сильно-подзолистых песчаных почвах; 3) к востоку от АО "Ависма" в приспевающих разреженных елово-березовых лесах III класса бонитета на дерново-среднеpodzолистых легкосуглинистых почвах; 4) там же в приспевающих разреженных березовых лесах III класса бонитета на дерново-среднеpodzолистых легко- и среднесуглинистых почвах. Большая часть лесных ГС с **критическим** уровнем риска находится в непосредственной близости от г. Березники: 1) приспевающие и спелые елово-сосновые леса II – III класса бонитета на дерново-сильнопodzолистых супесчаных почвах к югу и юго-востоку от оз. Светлое; 2) приспевающие и спелые сосновые леса III класса бонитета на дерново-сильнопodzолистых супесчаных и аллювиальных дерновых песчаных почвах к северу от г. Березники; 3) приспевающие и спелые елово-сосновые леса III класса бонитета на дерново-сильнопodzолистых супесчаных двучленных почвах к северу от г. Березники; 4) приспевающие елово-березовые леса III класса бонитета на дерново-среднеpodzолистых супесчаных почвах к востоку от АО "Ависма"; 5) приспевающие и спелые смешанные леса II–III класса бонитета на дерново-среднеpodzолистых тяжелосуглинистых почвах между д. Новожилово; 6) спелые еловые леса III класса бонитета на дерново-сильнопodzолистых среднесуглинистых почвах к западу от Детских Дач; 7) спелые еловые леса II–III класса бонитета на дерново-сильнопodzолистых среднесуглинистых почвах к югу от д. Суханово. **Допустимый** риск выявлен: 1) южнее Зырянского водохранилища и в долине р. Утбищная в приспевающих среднеполнотных осинниках II класса бонитета на дерново-глеевых и дерново-глееватых тяжелосуглинистых



Загрязнение отсутствует -4 -3 -2 -1 0 +1 +2
 ● Агр. Сельскохозяйственные и промышленные геосистемы Горнопромышленные геосистемы Селитебные геосистемы

Рис.2. Величина экологического риска от химического загрязнения в лесных геосистемах г.Березники в баллах: ... -4,-3,-2 – допустимый риск; 0 – критический; +1,+2 – предельный

почвах; 2) в нижнем течении р. Черная в приспевающих среднеполнотных березовых лесах III класса бонитета на дерново-глеевых тяжелосуглинистых почвах.

Статья подготовлена при поддержке гранта РФФИ «Урал 2005» проект (04-05-96034).