

**Учебно-методический комплекс дисциплины**  
**Ландшафтная индикация**

## **Лекции по курсу «Ландшафтная индикация»**

### **Лекция 1. Основные понятия ландшафтной индикации.**

Индикационное ландшафтоведение, как самостоятельное научное направление оформилось после выхода в печать в 1966 г. работы С. В. Викторова «Использование индикационных географических исследований в инженерной геологии». В ней были сформулированы

основные понятия ландшафтной индикации: разделение элементов ландшафта на физиономичные и деципиентные (не видимые для непосредственного наблюдения), ярусность строения ландшафтов, использование комплексных индикаторов.

Таким образом, индикационное ландшафтоведение – молодая наука. Для сравнения: географии – тысячи лет, ландшафтоведению – около 100. Старше ландшафтной индикации кибернетика и бионика. Ландшафтная индикация широко применяется при почвенной и геологической съемке, поисках полезных ископаемых, при гидрогеологических и инженерно-геологических исследованиях. Преимущественные районы применения – Средняя Азия, Казахстан, север Сибири, Карелия, запад Русской равнины. В последние годы чаще используется в экологических исследованиях, работах природоохранного направления. Широко используя данные дистанционного зондирования, индикация находит практическое применение через картографирование природной среды и ресурсов – как тематическое, так и комплексное.

Составление индикационных карт санкционировано методическими руководствами.

Все специалисты-природоведы, применяющие в своих исследованиях аэрометоды, имеют дело с ландшафтными компонентами и природными образованиями, которые скрыты от непосредственного наблюдения.

При проведении комплексного изучения территорий ландшафтная индикация является опережающей. Она не может заменить весь комплекс ландшафтных исследований, однако позволяет рационально их планировать, уменьшить объемы дорогостоящих натурных наблюдений и буровых работ, ускорить проведение исследований и снизить их себестоимость, например, при первичной съемке четвертичных отложений на 15 – 20 %, при ревизионных картографических работах на 50 %.

Таким образом, при ландшафтно-индикационных исследованиях используют те внешние черты ландшафтов, которые доступны визуальному наблюдению и аэрофотографированию (в том числе и фотографированию из космоса) в качестве ориентировочных показателей различных явлений и процессов. Это такие явления и процессы, непосредственное наблюдение которых затруднено и требует применения более или менее сложных инструментальных методов, а иногда и стационарных методов исследований. По словам Д. Н. Сабурова, индикация – это вспомогательный практический прием, убыстряющий и облегчающий прямые наблюдения. Если индикационные исследования по трудоемкости и продолжительности приближаются к методам непосредственного изучения объекта, или они настолько специфичны и сложны, что под силу лишь немногим высококвалифицированным ученым, то индикация теряет смысл. Это высказывание передает общую направленность индикации и ее стремление к четкости, простоте и конкретности. Индикация — это выявление индикаторов, наиболее полный сбор сведений о способах их распознавания на местности и при дешифрировании, раскрытие характера связи между индикатором и индикатом и

практическое использование индикаторов. Раздел учения о ландшафте, изучающий теорию и практику ландшафтной индикации, называется индикационным ландшафтоведением. Индикационное ландшафтоведение – научное направление на стыке наук: географии, биологии, геологии. Оно развилось как прикладное направление, впитавшее идеи В. В. Докучаева, В. И. Вернадского, Б. Б. Польшова, Л. С. Берга, создавших учение о взаимосвязи и взаимозависимости всех явлений и процессов в природе, представление о ландшафтах, сформировавшихся в результате дифференциации географической оболочки Земли. По известному определению С. В. Калесника, внутриландшафтные связи носят настолько тесный характер, что зная лишь один компонент ландшафта, можно охарактеризовать другие только дедуктивным путем. По общим теоретическим основам индикационное ландшафтоведение базируется на системе воззрений современной физической географии. Важнейшее из них — концепция ландшафта, рассматриваемого «как сочетание, диалектическое единство природных компонентов (геологического строения, рельефа, почв, растительности и т.д.), как относительно однородный физико-географический комплекс».

Однако специфичность индикационных исследований потребовала разработки собственной системы понятий. Она создавалась в годы возникновения индикационного ландшафтоведения и в течение ряда лет успешно использовалась в практике ландшафтной индикации. Ландшафтная индикация определяет геологические, гидрогеологические, гидрологические, почвенные и климатические условия, последствия деятельности человека по внешнему облику ландшафта, по отдельным его составляющим, его компонентам и входящим в них элементам (растениям, формам рельефа и т.д.).

Главнейшие исходные понятия в ландшафтной индикации «индикат» и «индикатор». Объектами индикации (индикатами) могут быть как различные природные тела (горные породы, почвы и др.), так и те или иные свойства и протекающие в них процессы (в том числе и антропогенные). Показатели, которые при этом используются, называются индикаторами. Классификация их уже определилась. Среди показателей выделяют частные индикаторы, представленные отдельными элементами компонентов ландшафта (формы рельефа, растительные сообщества и пр.), и комплексные, образованные устойчивыми сочетаниями частных индикаторов. К наиболее распространенным частным индикаторам принадлежат различные формы рельефа (геоморфологические индикаторы), особенности открытой поверхности почв (почвенные индикаторы), растительные сообщества (геоботанические индикаторы), виды и внутривидовые формы растений (ботанические индикаторы), внешние черты гидросети и отдельных водоемов (гидрологические индикаторы), различные следы деятельности человека (антропогенные индикаторы). Круг частных индикаторов постоянно расширяется. В некоторых случаях эти индикаторы не имеют общего значения и применяются для решения отдельных частных задач. Так, например, при выявлении месторождений подземных вод, связанных с древними погребенными долинами в аридных регионах, используется несколько групп индикаторов:

- а) тектонические индикаторы (разрывные нарушения и отрицательные пикетивные структуры),
- б) геологические индикаторы, характеризующие изменение рельефа поверхности коренных пород,
- в) флювиальные индикаторы (унаследованность современной речной сетью древней погребенной сети),
- г) лито-логические индикаторы (изменение вещественного состава рыхлых покровных отложений над погребенными долинами),
- д) геоморфологические индикаторы (изменение рельефа водораздельных участков, связанное с наличием древних долин).

Комплексными индикаторами чаще служат сочетания всех внешних особенностей тех или иных ландшафтов, т. е. их внешний облик. Очевидно, что комплексным индикатором может быть и внешний облик той или иной геотехнической системы.

Как при наземных полевых исследованиях, так и при дешифровании аэрокосмических фотоматериалов часто приходится встречаться со случаями, когда то или иное природное или антропогенное тело, хорошо заметное, но не имеющее надежной связи с определенным индикатором (и поэтому не являющееся индикатором), может обладать отдельными признаками, помогающими распознавать индикат.

Так, есть растительные сообщества, которые могут произрастать как в условиях близкого залегания грунтовых вод, так и при глубоком положении их зеркала и поэтому не являются гидроиндикаторами. Но некоторые из них при близком залегании грунтовых вод изменяют ритм своего развития, удлиняя цветение и вегетацию. Таким образом, сообщество, не являющееся показателем воды, может обладать гидроиндикационным признаком. Особенно важны «индикационные признаки положения», определяемые характером взаимного расположения элементов ландшафтной структуры территории. Каждый из них может и не иметь непосредственного индикационного значения, но их сочетание им обладает.

В индикационных исследованиях различают две группы компонентов ландшафта:

физиономичные (доступные непосредственному визуальному наблюдению и, большей частью, еще и аэрофотографированию);

деципиентные (труднонаблюдаемые, скрытые, требующие для исследования различных инструментальных или специальных технических средств и методов). К первым относятся перечисленные выше частные индикаторы и их сочетания, ко вторым — индикаты.

Особое положение занимает почва. Когда ее поверхность скрыта растительностью, почва, несомненно, деципиентна, а будучи открытой для наблюдения, она становится физиономичной.

Совокупность физиономичных компонентов ландшафта образует его эктоярус. Для пояснения этого понятия напомним, что ландшафтная единица любого ранга может рассматриваться как многоярусная система. Наиболее глубоко залегает геологическая основа ландшафта, представляющая собой совокупность коренных и почвообразующих пород. Она, может быть, подразделена на подъярусы — более глубокий подъярус коренных толщ и перекрывающий его подъярус рыхлых отложений. Над геологическим ярусом обособляется ярус подпочвы (отождествляемый некоторыми исследователями с корой выветривания), который, в свою очередь, перекрывается почвой, подразделяющейся на ряд горизонтов. Вся эта система одета сверху ярусом очень сложного строения, в образовании которого участвуют поверхностные формы рельефа, гидросеть и антропогенные элементы ландшафта, наземные ярусы растительности, поверхность почвы. Собственно лишь этот неоднородный по генезису своей структуры ярус и доступен нашему непосредственному наблюдению. В строгом смысле он и образует собой «внешний облик ландшафта» и называется эктоярусом. Подход к ландшафту как к многоярусной системе весьма распространен. Сюда относятся, например, представления о биогеоценологических горизонтах в биогеоценологии. Согласно этим представлениям, биогеоценоз изображается в качестве сложно построенной системы, дифференцированной как на наложенные друг на друга горизонты, так и на радиальные секторы. Зарождение их можно видеть в учении о комплексе экологических ситуаций, сменяющих друг друга по вертикали, и в работах по практике дешифрования аэроснимков.

Таким образом, эктоярус представляет собой сочетание различных физиономичных компонентов, наибольшее значение среди которых имеют рельеф и растительность. Это определяет исключительное значение эктояруса как системы, включающей в себя все группы индикаторов — геоботанические, геоморфологические, комплексные и др. Изучение

закономерностей, управляющих формированием эктояруса, может быть названо физиономичным анализом ландшафта. При рассмотрении ландшафта как многоярусной системы, венчаемой эктоярусом, первоочередная проблема физиономического анализа сводится в основном к изучению структуры этого яруса. Еще Г. Никольс (1917) ввел понятие об элементарных «физиографических единицах», под которыми понимал сочетание растительного сообщества и той формы рельефа, к которой это сообщество приурочено. Следовательно, понятие о физиографической единице по существу физиономичным, так как оно представляет собой сочетание элементарных участков двух главнейших физиономических компонентов ландшафта. На основе этих представлений Г. Никольса С. В. Викторов сформулировал понятие о «физиономическом элементе», под которым он понимает участки местности, различающиеся по размеру, очертаниям, окраске и другим внешним признакам. С этой точки зрения эктоярус – система физиономических элементов, которые могут быть крайне разнообразны.

С. В. Викторов приводит следующий, далеко не полный перечень наиболее распространенных физиономических элементов применительно к анализу среднемасштабных аэрофотоснимков в районах с незначительной антропогенной нарушенностью: красочные аспекты участков земной поверхности, создаваемой окраской почвы и рыхлых отложений, окрашенные корки и налеты неорганического и органического происхождения, отдельные элементы рельефа, системы их и типы рельефа, растительные сообщества и их сезонные аспекты, закономерные сочетания рельефа и растительности. Последняя группа – наиболее распространенная и важная. Оставаясь в границах районов, не нарушенных человеком, сюда следует добавить различные гидрологические элементы ландшафта, а в освоенных – физиономические элементы, созданные человеком. Сложность структуры эктояруса находится в прямой зависимости от масштаба исследований. Результаты физиономического анализа ландшафта в известной мере условные, сохраняющие свое значение лишь в определенных рамках, ограниченных детальностью изучения. Эта детальность, в свою очередь определяется прикладными задачами проводимых работ. Следовательно, в зависимости от масштаба исследований в качестве физиономических элементов могут выступать внешние облики как элементарных ландшафтов, так и более высоких единиц (видов, групп ландшафтов и т. д.), как входящие в эктоярус частные индикаторы (формы рельефа, растительные сообщества и др.), так и комплексные ландшафтные индикаторы с теми или иными индикаторами. Таким образом, эктоярус служит основным источником индикационной информации. Эктоярусы ПТК – типичные примеры комплексных индикаторов. Благодаря своей отчетливости, заметности на космических и аэрофотоснимках эктоярусы применяются очень широко. Но они – лишь одна из форм показателей, используемых в индикационном ландшафтоведении. Особенно многочисленны частные индикаторы.

Так, среди ботанических индикаторов следует назвать:

- а) мелкие внутривидовые, наследственно закрепленные признаки;
- б) специфические, но наследственно не закрепленные формы роста;
- в) аномальные формы растений;
- г) виды.

К геоботаническим индикаторам принадлежат:

- а) растительные сообщества, разно-образные комплексы, комбинации, мозаики, образуемые ими;
- б) экологические и эколого-генетические их ряды;
- в) сезонные аспекты всех перечисленных выше элементов растительного покрова.

В число геоморфологических индикаторов входят:

- а) отдельные формы нано-, микро-, мезо- и макрорельефа;
- б) специфические черты поверхности, обусловленные тектоническими процессами (линеamenty и др.);
- в) системы форм рельефа, морфоструктуры;

г) к гидрологическим индикаторам следует отнести все внешние особенности элементов гидросети как естественных, так и антропогенных (каналы, водохранилища).

д) пестр и разнообразен набор антропогенных индикаторов.

Таким образом, любая, самая мелкая особенность, видимая нами на местности при наземных наблюдениях, на космических или аэрофотоснимках, потенциально может стать индикатором, если раскрыта его связь с объектом индикации.

Наконец, по своей заметности при разных видах исследований индикаторы могут быть разделены на аэрофотогеничные (хорошо заметные на материалах дистанционных съемок) и ультрадеципиентные (заметные при детальных наземных исследованиях).

Особенно важно это деление при индикации антропогенных процессов.

Индикаторы по характеру связи с индикатом и по степени географической устойчивости этой связи делятся на определенные группы.

По характеру связи с индикатом различают: 1) прямые индикаторы; 2) косвенные. Прямые имеют непосредственную связь с индикатами, а к косвенным относятся такие, которые связаны с индикатом через какое-либо промежуточное звено. Например, в песчаных пустынях фитоценозы с господством фреатофитов, присутствие которых возможно лишь в условиях связи их корневой системы с грунтовыми водами, — прямые индикаторы последних, а растения, указывающие на благоприятные условия аэрации песков и инфильтрации осадков в них, — косвенные, так как позволяют лишь предполагать возможность формирования под песками линз грунтовых вод.

По степени географической устойчивости своей связи с индикатом индикаторы могут быть разделены на панареальные, региональные и локальные. К панареальным первым относятся те, которые сохраняют единообразную связь с индикатом на всей той территории, в пределах которой они встречаются (т. е. своего ареала). Региональный индикатор сохраняет свое значение лишь в пределах одной или нескольких областей со сходными физико-географическими условиями. Локальные индикаторы обладают устойчивой связью с индикатом только в каком-либо узком физико-географическом районе. Панареальные индикаторы обычно являются прямыми, региональные и локальные индикаторы — косвенными. Как уже отмечалось, косвенные региональные индикаторы в любом районе более часты, чем прямые панареальные. Это придает большинству индикационных закономерностей определенную географическую изменчивость. Она приобретает большое значение при экстраполяции индикаторов, т. е. при распространении применения того или иного индикатора с территории, для которой он был выявлен, на другие территории, более или менее аналогичные по физико-географическим условиям.

Экстраполяция индикационных закономерностей — одна из важнейших проблем практики индикации, так как производство специальных исследований по выявлению индикаторов и индикатов в каждом районе нерентабельно. В настоящее время различают следующие виды экстраполяции:

а) внутриконтурную — распространение результатов индикационных исследований, произведенных у точки наблюдения, на весь прилежащий ландшафтный контур;

б) внутриландшафтную — в пределах площади, занятой определенным ландшафтом;

в) региональную — в пределах региона (т. е. крупного физико-географического комплекса);

г) дальнюю, представляющую собой распространение применения индикационной схемы, составленной для одного региона, на другие, имеющие некоторые общие черты с первым, но лежащие или в других частях той же природной зоны (зональная экстраполяция), или в разных зонах (интерзональная экстраполяция). Для обоснования экстраполяции необходим анализ степени однородности изучаемых регионов, сходства их ландшафтной структуры и зависимости ее от факторов, обуславливающих зональное и внутризональное расчленение территории. Важнейшим методическим приемом при этом оказывается выделение ландшафтов — аналогов, которые, собственно, и создают основу для

экстраполяции. Обнаружение таких ландшафтов является предметом специальных сравнительных физико-географических исследований, проводимых обычно камеральным путем, с помощью сопоставления литературных и картографических материалов.

При экстраполяции следует дифференцированно оценивать возможность ее для комплексных ландшафтных индикаторов и для частных; последняя может оказаться изменчивой даже в пределах одного района, если он достаточно велик. В частности, для геоботанических индикаторов имеет значение вытянутости района с севера на юг. В целом достоверная экстраполяция ландшафтных индикаторов достаточно надежна лишь в пределах ландшафтов и физико-географических областей, если они выделены с учетом геологического строения территории и ее генезиса. Дальняя и особенно межзональная экстраполяция пока довольно сомнительны. Однако экстраполяция широко используется в сравнительной планетологии.

Одной из важнейших характеристик любого индикатора является его достоверность, определяющая его практическую ценность. Единых общепринятых способов оценки этого свойства индикаторов, как частных, так в особенности комплексных, пока не разработано. Наиболее исследован этот вопрос для ботанических, геоботанических и геоморфологических индикаторов, для ориентировочной количественной оценки достоверности которых существуют различные шкалы. Обычно достоверность индикатора определяется путем оценки степени сопряженности (совместной встречаемости) индикатора и индиката, вычисленной после изучения некоторого числа пробных участков, на которых встречен исследуемый индикатор и проверено наличие или отсутствие индиката. В отдельных отраслях индикационного ландшафтоведения, в частности в индикационной геоботанике, существуют более совершенные и точные способы оценки достоверности индикаторов. Для оценки практической эффективности индикатора кроме достоверности следует знать его значимость, т. е. частоту, с которой он встречается в связи с объектом индикации (в пределах определенного района). Значимость является как бы дополнением к оценке достоверности, поскольку два индикатора, одинаково достоверные, могут встречаться в связи с объектом с разной частотой: один может присутствовать во всех сделанных описаниях, другой – только на малой его части.

Классификация индикаторов пока в деталях не разработана. Еще в тот период, когда индикация имела геоботанический характер, в пределах индикационной геоботаники обособились педоиндикация (индикация почв), геоиндикация (индикация горных пород), гидроиндикация (индикация подземных вод), галоиндикация (индикация засоления), индикация полезных ископаемых. Эти представления перешли, без обстоятельного рассмотрения их, в индикационное ландшафтоведение. При этом геоиндикация часто называется литоиндикацией. Опыт индикационных исследований показывает, что в разных ландшафтах преимущественное значение имеют разные группы индикаторов. В одних наибольшее значение имеет растительность, в других формы рельефа и т. д. Так возникло представление о физиономичности ландшафтов, т. е. о совокупности закономерностей, определяющих внешний их облик. Традиционно различают орофизиономичные, фитофизиономичные, гидрофизиономичные, педофизиономичные территории, а также территории с антропогенной и с комплексной физиономичностью. В первых физиономичность ландшафта определяется рельефом, а в последующих – соответственно растительностью, гидросетью, поверхностью почвы (например, на солончаках), антропогенными сооружениями и, наконец, несколькими из перечисленных компонентов (комплексная физиономичность), образующих сложный внешний облик ландшафта. Примерами орофизиономичных территорий могут служить высокогорья, лишенные растительного покрова, каменистые пустыни (где растительность настолько разрежена, что не имеет значения при формировании зрительного представления о местности), бедленды, например Солигорские солеотвалы. К фитофизиономичным следует отнести залесенные и заболоченные равнины, а также лесные равнинные

ландшафты с сомкнутой древесной и кустарниковой растительностью. Типичный пример педофизиономичных пространств являются солончаковые пустыни днищ бессточных впадин и обширных обсохших внутренних водоемов аридных регионов. К гидрофизиономичным принадлежат, например, болота с озерковыми комплексами, где многочисленные мелкие водоемы определяют облик местности. Примеры комплексной физиономичности разнообразны: чаще всего здесь имеется в виду синтез всех физиономичных компонентов ландшафтов, но может иметь место сочетание лишь некоторых из них.

От генетических групп физиономичности следует отличать ее масштабные ступени. По воззрениям, существующим в современной физической географии, природная среда постоянно подвергается процессу дифференциации. Он проявляется на поверхности Земли разномасштабно, позволяя различать глобальную, внутрирегиональную и внутриландшафтную дифференциацию. Под влиянием этого процесса среда оказывается разделенной на структурные элементы разной степени сложности, начиная от единиц высшего (глобального) порядка и кончая элементарными ландшафтами. Это позволяет сделать вывод о том, что природная среда обладает несколькими уровнями структурного расчленения и в ней можно различать мегаструктуру (глобальный уровень), макроструктуру (уровень, охватывающий разделение природной среды на элементы более крупные, чем ландшафт), мезоструктуру (ландшафтный уровень) и микроструктуру (внутриландшафтный уровень). Представление об этих уровнях подтверждается практикой современного анализа космических и аэрофотоснимков. При работе с ними обычно выделяют четыре уровня: глобальный (отвечающий снимкам масштаба менее 1 : 10 000 000), региональный (масштаб 1 : 1 000 000 – 1 : 10 000 000), локальный (масштаб 1 : 100 000 – 1 : 1 000 000) и, наконец, детальный (масштаб крупнее 1 : 100 000). Хотя в этом делении уровней нет полного соответствия с уровнями структурного расчленения, но общая тенденция одна и та же. Наиболее дробный уровень – наноструктура – обычно не находит выражения на снимках. Несомненно, что соответствие и взаимосвязь физиономичных и деципиентных компонентов могут изучаться на любом структурном уровне, за исключением, возможно, глобального, не используемого пока для индикации.

Современное состояние этих ступеней обусловлено историей развития индикационных географических исследований. Со времени появления индикационного ландшафтоведения как особого раздела в учении о ландшафте, а также в годы, непосредственно предшествовавшие ему, ландшафтная индикация развивалась в тесной связи с дешифрированием среднемасштабных и отчасти крупномасштабных аэрофотоснимков, и поэтому данная информационная ступень разработана исключительно детально.

Имеется целый ряд обобщающих монографий и индикационных справочников, в которых сконцентрирован большой материал по указанной средней ступени. Именно на этом материале были сформулированы многие основные положения индикационного ландшафтоведения.

## **Лекция № 2. История развития ландшафтной индикации. Современное состояние ландшафтной индикации.**

Впервые экологическую характеристику условий произрастания растений дали античные авторы. Много экологических наблюдений в сочинении Феофраста (327–287 гг. до н. э.) «Природа растений». В дошедших до нас произведениях агрономической литературы древнего Рима можно найти указания на то, что по растениям оценивалась перспектива хозяйственного освоения многих территорий. Одно из первых указаний принадлежит Катону. В его труде «О агрокультуре» есть упоминания о том, что места, удобные для посева некоторых сельскохозяйственных культур (вики и других), можно распознать по разреженности естественного травостоя, покрывающего эти места до их распашки.



Индикационные представления были широко распространены у народов аридных областей Ближнего Востока; здесь эти представления принимали форму народных примет присутствия воды, столь важной для хозяйства этих стран. Об использовании населением Сахары и Ливии ботанических признаков при поисках воды сообщает Юнкер-Петри. Мусульманское монашеское братство «му-канни»

сделало из поисков воды выгодный промысел; среди признаков, используемых при этом, далеко не последнее значение имела растительность. По свидетельству Н. М. Пржевальского, в Монголии в течение долгого времени из поколения в поколение передаются сведения о растениях – показателях воды; среди последних фигурируют черный саксаул и чий.

В средние века считали, что некоторые виды растений (орешник, крушина, рябина) указывают местонахождения руд и драгоценных камней.

Таким образом, мысль о том, что по растениям можно распознавать те или иные почвы, породы, подземные воды, давно жила в умах людей и развивалась постепенно, в тесной связи с практическими, хозяйственными потребностями. В России один из первых исследователей, применивших индикацию для сельскохозяйственной оценки угодий, А. Н. Радищев. В его труде «Описание моего владения...» в качестве индикаторов почвенных условий упоминаются как сообщества (березняк, сосняк), так и отдельные виды (дуб, клен, хвощи и др.) растений.

Особенно отметить общеизвестные классические труды, Б. А. Келлера, Г. Н. Высоцкого, П. А. Костычева и С. К. Чаянова (1909). Б. А. Келлером был составлен первый определитель, позволявший по внешним чертам местности (особенно по растительности) определять условия местообитания и, в частности, почвенные условия для сравнительно небольшого района Семипалатинской области. Определитель помещен в качестве приложения в геоботанической монографии (Келлер, 1912). Так были впервые найдены те конкретные формы, в которые следует облекать индикационные данные для использования их практиками.

В первые годы после революции началось освоение окраин, которые до этого времени использовались незначительно. Один из важнейших аспектов освоения – сельскохозяйственный. Экспедиции в те годы были организационно и технически слабые, сеть маршрутов разрежена, и поэтому индикационные методы, оказались очень полезными.

В послереволюционные годы наибольшее значение для агроиндикации в СССР имели исследования И. В. Ларина и Г. Л.

Раменского. И. В. Лариным был составлен для некоторых районов бывшей Уральской области справочник, который по обилию материала, стройности структуры, подробности, с которой могли быть определены различные почвы и грунты и типы сельскохозяйственных угодий, значительно превосходил труд Б. А. Келлера. В 1953 г.

справочник, несколько видоизмененный и усовершенствованный, был переиздан, географические рамки его применения расширены.

В период становления индикации при освоении окраин СССР для сельского хозяйства практической реализацией концепции агрономической оценки земель по индикационным показателям в целях растениеводства послужили работы Н. В. Павлова в Центральном Казахстане, давшие материал для известной его монографии (Павлов, 1931). В начале своего труда он отмечает, что должен оценить сельскохозяйственный потенциал обширной территории в сжатые сроки, что вынуждало его обратиться к физиономическим признакам агроэкологических условий.

Работы Н. В. Павлова протекали в годы, когда аэрометоды были известны лишь вполне узкому кругу ученых, а лабораторное оснащение экспедиций находилось на низком уровне. Поэтому ориентация на индикацию была естественна. В качестве индикаторов. Павлов избрал растительные сообщества в ранге формаций и ассоциаций. Он впервые сформулировал понятие о циклических комплексах, которое сегодня является одним из

наиболее важных для почвенномелиоративной оценки земель в аридных регионах. Циклическими комплексами называют такие комплексные сочетания растительных сообществ, в которых возможны обратимые переходы одного растительного сообщества в другой в зависимости от влияния внешних условий. Таким образом, циклический комплекс, по Н. В. Павлову, в высшей степени динамичная система, «в которой на протяжении некоторых отрезков времени возможны и происходят колебания то в ту, то в другую сторону». В качестве примеров цикличности он приводит новые комплексы, где одно сообщество эволюционирует в другое в зависимости от направленности солонцового процесса. Наличие таких комплексов в пределах той или иной территории показывает, что определенный процесс (или определенная группа процессов) может здесь многократно менять свое направление, причем территориальное преобладание последовательно получает то одну, то другую направленность.

При этом, оперируя в своих построениях фитоценозами, Н. В.

Павлов придает используемым индикаторам до известной меры ландшафтное истолкование, поскольку так тесно увязывает растительность с микрорельефом, что фактически приводит к индикации по экотонам элементарных ландшафтов. Применяя анализ циклических комплексов, Н. В. Павлов осуществляет не только индикацию современных ситуаций, но и прогнозную.

Важны для развития агроиндикации имели исследования выдающегося ученого Л. Г. Раменского, окончательные результаты которых были опубликованы при участии некоторых его учеников только после его смерти. Эти работы касаются главным образом изучения лугов и пастбищ. Они содержат огромный материал по приуроченности различных растений, в основном луговых, степных и полупустынных, к различным условиям – увлажнению, переменной увлажненности, богатству почв и их засоленности, аллювиальности, т. е.

различным степеням отложения налеса, пастбищной дигрессии. На основе собранного материала Л. Г. Раменским были созданы экологические таблицы. С их помощью при учете процентов проективной полноты видов, связанных с различными экологическими условиями, можно было определять последние. Идеи Л. Г. Раменского повлияли на развитие теории и практики агроиндикации. Многие исследователи используют упомянутые таблицы в практике своих работ. Однако, несмотря на ряд положительных черт, таблицы Л. Г. Раменского имеют и спорные моменты. В итоге их применения географ получает оценку местообитания не в конкретных величинах (реальные пределы колебания влажности почвы, уровни залегания грунтовых вод, количество воднорастворимых солей в процентах), а в форме условных «ступеней» увлажнения, минерального богатства почвы и т.

д. Достаточных данных для перехода от этих «ступеней» к более определенным характеристикам почв в таблице Л. Г. Раменского нет.

Но в настоящее время обнаруживается тенденция к переосмыслению идей Л. Г. Раменского, углублению и вооружению их более точными количественными методами анализа результатов полевых исследований. Однако пока этот процесс затронул лишь растительные индикаторы. Распространение его на всю ландшафтную индикацию – дело будущего. Нельзя не отметить, что вся система исследований, предложенная Л. Г. Раменским и его учениками, не использует информацию, доставляемую аэрофотоснимками.

Значительный прогресс в ландшафтной индикации для сельскохозяйственных целей достигнут благодаря проникновению в географические науки и особенно в почвоведение традиционных аэрометодов, а позже – аэрокосмических методов. Благодаря им сельскохозяйственная оценка территорий получила комплексный ландшафтный характер, причем (особенно в работах почвоведов) в ряде случаев на передний план выступили геоморфологические особенности территории, а также изображение почвы как таковой на тех участках, где она не замаскирована растительностью.

Геоботанические индикаторы при этом стали использоваться не как нечто основное и самодовлеющее (как в построениях Л. Г.

Раменского), а как один из важных компонентов, входящих в физиономичный облик ландшафта. Ведущее значение получило не распространение отдельных видов, а размещение участков различных сообществ, также и фенологические закономерности.

В качестве одного из разделов агроиндикации рассматривается и применение индикационных исследований в лесном хозяйстве.

Основоположник этого направления Г. Ф. Морозов отмечал, что распределение насаждений в пространстве по лику Земли закономерно.

Типичные их черты приурочены к определенному климату, рельефу, геологическим условиям, почве и грунту. В этой локализации лесоводственных объектов насаждений должны лежать задачи географического элемента в лесоводстве.

Впоследствии индикация почв по растительному покрову получила значительное распространение в исследованиях по лесоведению и лесоводству. Выдающийся лесовод – типолог П. С. Погребняк в своем труде «Основы лесной типологии» (1955) уделяет большое внимание индикаторам (преимущественно растительным). Относясь, в общем, отрицательно к использованию сообщества как индикатора лесных экотопов, он полагает, что наиболее четкими и надежными показателями экологических условий являются отдельные виды, и рекомендует при сравнительно-экологических исследованиях в лесах составлять индикаторные спектры, т. е. списки видов-индикаторов в отдельных типах леса. Детальный учет обилия и жизненности видов-индикаторов даст возможность оценить условия местообитания. К его работе приложен список видов-индикаторов различных типов леса, содержащий ценные указания на связь отдельных видов с теми или иными свойствами почвы (богатство почвы нитратами, карбонатность, заболоченность и т. д.).

Широкое распространение при изучении типов лесов получили справочники с указанием растений-индикаторов (Вернандер, Сибирякова; Гроздов; Саутин, Райко). Наконец, в результате проникновения аэрометодов в изучение лесов в отдельных работах по лесному ландшафтоведению обнаруживается тенденция к выделению природно-территориальных комплексов по совокупности физиономичных особенностей (Киреев).

Особый аспект в агроиндикации образует интерпретация различных морфологических отклонений и варьирования окраски растений в зависимости от избытка или недостатка тех или иных веществ в почве.

Эта проблема интенсивно разрабатывается агрохимиками и физиологами растений. Наиболее важно широкое применение таких методов к культурным растениям. Это открывает возможность индикации таких условий непосредственно в посевах, так как массовое изменение размеров и окраски растений создает определенный физиономичный эффект, который может быть подмечен при общем обзоре территории в ходе аэровизуальных исследований или при дешифрировании материалов дистанционных съемок.

### **Лекция № 3 Методика индикационных исследований**

Ландшафтно-индикационные исследования целесообразно выполнять в комплексе поисково-съемочных, почвенно-съемочных, структурногеоморфологических работ, мелиоративных и инженерно-геологических изысканий в качестве самостоятельного раздела, входящего в структурно-технологическую схему производства дистанционных исследований.

Предполевой этап. Стадиям предполевого этапа уделяется большое внимание. Качественное проведение предлевых работ обеспечивает полноту использования всего фактического материала, исключает либо сводит к минимуму дублирование уже проведенных исследований, обеспечивает целенаправленное проектирование и ведение

полевых работ. Исследования на предполевом этапе начинаются с ознакомления с особенностями природы изучаемого района по литературным, фондовым, картографическим материалам: анализируются общегеографические и геологические работы, результаты лесотаксационных, геоботанических, почвенных, геоморфологических, геологических и других видов съемок, опыт ландшафтного и отраслевого районирования изучаемого региона и смежных территорий. Особое внимание уделяется сведениям о взаимосвязи, индикационных свойствах отдельных компонентов ландшафта и признаках их дешифрирования.

Для каждой работы составляются реферат и таблицы, в которые сводятся данные о составе выделенных таксономических единиц и, отдельно, об индикаторах, их дешифровочных признаках и объектах индикации. На основе полученных сведений определяется место исследуемого региона в имеющихся схемах ландшафтного районирования, устанавливаются специфические для данной территории требования к материалам дистанционной съемки и т. д.

Исследования на стадии технической подготовки включают в себя составление схем наличия материалов фотосъемки, их подбор и комплектацию, а также топогеодезическую подготовку аэрокосмических снимков.

Детальные схемы наличия материалов аэрофотосъемки составляются по отдельным листам трапеций в масштабе проводимых работ, при этом используется достаточно четкая система условных знаков, которые отображают сведения о масштабе, времени залета, типе пленки и фотобумаги, формате аэроснимков, оценке их качества. Подбор и комплектацию материалов дистанционных съемок осуществляют в соответствии с рекомендациями и в зависимости от вида предстоящих работ.

Для общего обзора и рекогносцировки подбираются аэрокосмические снимки и фотосхемы масштаба 1 : 50 000 – :100000, при отсутствии таковых — репродукции накидного монтажа тех же масштабов.

Для дешифрирования всей площади работ при прочих равных условиях отбираются крупноформатные аэроснимки масштаба 1 : 50000 – 1 : 25000, изготовленные с летних спектрозональных пленок или однослойных (панхроматических) пленок осенних залетов.

Для каждого исследуемого участка отбирается несколько комплектов снимков: в черно-белом варианте, в цветном, комплект наиболее раннего (по отношению к основным) залета. При наличии только одного комплекта на какой-либо участок на каждый снимок изготавливается прозрачная накладка.

Топогеодезическая подготовка материалов аэрофотосъемки проводится для обеспечения необходимой точности переноса фактического материала и границ с топоосновы на аэроснимки и с аэроснимков на топооснову. Она включает в себя определение масштаба аэроснимков; опознавание и нанесение на снимки и топооснову трансформационных, а при необходимости – связующих точек; нанесение сети опорных выработок – скважин, обнажений, шурфов. Помимо названных задач, в процессе подготовки аэроснимков осуществлялось общее ознакомление с изучаемым районом по его аэрофотоизображению.

Обработка фактического материала. Работы на названной стадии включают систематизацию и обобщение всего материала, нанесение его на аэрофотоснимки, составление предварительных ландшафтноиндикационных и дешифровочных таблиц, уточнение схемы ландшафтного районирования.

Собранный фактический материал (шурфы, скважины, обнажения и т. д.) наносится соответствующими условными знаками на аэроснимки;

для переноса используются оптические приборы, компьютеры или множительная техника. На основании изучения и критического анализа описаний того или иного разреза, скважины, шурфа и с учетом аэроизображения участка, на котором расположена данная выработка, проводится переиндексация разрезов в соответствии с используемой легендой, выявляются и фиксируются аномальные в строении ландшафта участки.

Исследования на стадии обработки фактического материала завершаются уточнением схемы ландшафтного районирования территории с учетом всех типов фоторисунков.

Предварительное дешифрирование материалов аэрофотосъемки осуществляется на основе рабочих индикационных и дешифровочных таблиц с использованием собранного картографического материала.

Дешифрирование аэрофотоснимков по всей площади работ проводится стереоскопически, наиболее сложных участков — с четырехкратным увеличением.

При достаточно полном количестве фактического материала дешифрирование выполняется на уровне простых урочищ, при отсутствии его — на уровне сложных урочищ, местностей или основывается на разграничении физиономически сходных участков с учетом аспектов вторичных группировок растительности и особенностей хозяйственного освоения территории.

На участках с преобладанием пашен и мелиорированных лугов дешифрирование проводится по ряду прямых и косвенных признаков — фототону почвы, особенностям мезо-, микро- и нанорельефа, объектам хозяйственного освоения (дорогам, мелиоративным сооружениям, садам и т. д.). Помимо названного, используются почвенные карты; проводимые границы подразделяются на достоверные и предполагаемые: к первым относятся линии, физиономически выраженные на аэроснимках, ко вторым — немаркируемые контуры.

Лесопокрытые площади дешифрируются с учетом состава лесообразующих пород, сомкнутости и рельефа полога древостоя, его бонитета, ярусности, стереоскопической просматриваемости, для заболоченных лесов учитываются высота древостоя, форма крон, удельная плотность особей и др.

При дешифрировании залесенных участков эффективно использование геоботанических и лесотаксационных карт, предварительно генерализованных по определенным правилам. Привязка карт к аэроснимкам осуществляется обычным путем, корректируется совмещением квартальной сети; в этом случае дешифрирование сводится к исправлению угловатой конфигурации таксационных выделов в соответствии с характером фотоизображения.

При дешифрировании болот (в подавляющем большинстве низинных и переходных) особое внимание уделяется их генетической приуроченности, конфигурации, поперечному профилю, незаторфованным участкам внутри массивов, водопроводящей системе, наличию поясности на стыке с суходолами.

Предварительное дешифрирование завершается составлением предварительных ландшафтно-индикационных карт, для чего все контуры с аэроснимков переносятся на кальку-топооснову, которая подготавливается в масштабе наиболее употребляющихся аэроснимков.

Полевой этап. Работы на полевом этапе начинаются с воздушной рекогносцировки исследуемой территории. Планомерный маршрутный облет территории осуществляют с применением вертолетов (типа КА-26 и МИ-2) на высоте 250 – 300 м. В полете опознаются наиболее крупные структурные черты местности, характерные признаки рисунка растительного покрова, определяются ориентиры ключевых участков. Их облет проводится на высоте около 100 м.

В полете используются аэрокосмические снимки масштаба 1 : 50 000 – 1 : 100 000 с прозрачными накладками, на которых краткими условными знаками фиксируются наблюдаемые особенности ландшафта. Работа на ключевых участках. Основной стадией полевого этапа являются исследования на ключевых участках. Их размеры в зависимости от сложности строения территории составляют 20 – 35 км<sup>2</sup>. В пределах каждого вида простых урочищ, выделенных на ключевых участках, ведется детальное описание рельефа (подробная характеристика генетической и морфологической сторон), растительности (видовой состав, высота, бонитет, ярусность, наличие подроста и подлеска, напочвенный покров, проективное покрытие наиболее типичных видов), закладываются шурфы и

скважины ручного бурения, проводится описание почвенных разновидностей, грунтов, отбираются образцы из каждого описываемого слоя, фиксируются уровни грунтовых вод (появившийся и установившийся), наличие верховодки.

Для каждого посещаемого контура устанавливаются характерные признаки дешифрирования, включая фототон и рисунок изображения, форму и размеры контуров, характер границ, для лесных сообществ – рельеф полога древостоя и его сомкнутость, стереоскопическую просматриваемость, форму крон, форму отбрасываемых теней и т. д.

Точки наблюдения обычно располагаются по профилям, проложенным вкрест рельефа. Они предварительно прокладываются по крупномасштабной топооснове или стереоскопически.

Описания точек целесообразно выполнять на перфокартах; для геологических разрезов применяются специальные бланки-перфокарты.

При использовании новейших таксационных или геоботанических карт составляются краткие описания всего комплекса наблюдений на специальных бланках, оформленных на перфокартах К-5 и кодируемых с помощью несложных ключей.

В результате проведенных на ключевых участках исследований уточняются индикационные и дешифровочные таблицы, на основе которых осуществляется полевое дешифрирование аэрофотоматериалов на площадях вне ключевых участков.

Профилирование. Помимо исследований ключевых участков, в полевой период выполняется маршрутное изучение ПТК. В зависимости от степени изученности той или иной части территории прокладываются маршруты разных видов.

#### **Лекция № 4. Использование частных и комплексных индикаторов.**

Оптические свойства ландшафтов Оптика ландшафта определяется его отражательной способностью и неоднородностью строения. На аэрокосмических снимках первой формируется фототон изображения, второй – структура и рисунок изображения.

Отражательные свойства характеризуются величиной альбедо, которое выражается в процентном соотношении отраженного потока к падающему, а также спектральной яркостью – альбедо в заданном направлении – направлении визирования. Коэффициенты спектральной яркости (КСЯ) разнообразны в различных зонах спектра. Их значения не одинаковы для различных объектов.

На отражательные свойства растительности влияют пигментация вегетативных органов, условия обитания, морфология (проективные покрытия, ярусность, сомкнутость, видовой состав). Максимум яркости наблюдается в зеленой (540–580 нм) и инфракрасной (740–2000 нм) зонах, минимум – в красной зоне (680–690 нм).

Изображение почв наиболее контрастно в оранжево-красной зоне КСЯ распаханых почв больше, чем нераспаханых. Величина КСЯ определяется содержанием гумуса, подвижных окислов Fe, влажностью, гранулометрическим и минералогическим составом почв, фактурой поверхности. Влага снижает КСЯ почв от воздушно-сухого состояния до полной влагоемкости в два раза. Яркость минеральной части почв возрастает с уменьшением размера частиц.

Оптика бореальных ландшафтов отличается следующими особенностями. В зоне преобладают среднеяркие ландшафты. Их яркость обусловлена растительностью, летом она максимально в зеленой и инфракрасной (ИК) зонах. Широко распространены культурные ландшафты; КСЯ здесь определяется совместным влиянием растительности и почв, поэтому контрастность выражена меньше.

Для отражательной способности лесов важен рельеф полога древостоя. Для лесов характерна большая контрастность между освещенными частями крон и тенями, между кронами и промежутками крон.

Яркость полевых угодий соответствует элементам фактуры полей – следствие их обработки и занятости сельскохозяйственными культурами.

Поэтому для освоенных земель характерен прямоугольно-лоскутный рисунок изображения.

Для динамики оптики ландшафта характерны:

1) Многолетние изменения физиономичности связаны с изменением компонентов и элементов ландшафта (неотектоники, климатических циклов, сукцессий, морфогенеза, почвообразования, деятельности человека). По степени динамичности различают ландшафты:

а) стабильные – для их изучения требуется обновление МДС через 20-30 лет;

б) устойчивые – через 10–20 лет;

в) подвижные – через 5–10 лет;

г) сменяющиеся – через 1–2 года.

При мелиоративном строительстве необходимо обновление МДС через 1–2 года, а в последующем – 1 раз в 5 лет.

2) Годичные изменения в разные годы в одни и те же сроки варьируют из-за климата, гидрологического режима, биомассы видов, урожайности культур. Поэтому при дешифрировании МДС необходим учет климата года, обуславливающего фенологическое развитие растительного покрова.

3) Сезонные – в связи с фенологическим развитием и гидрологическим режимом наибольший контраст наблюдается в сезоны смен физико-биологических состояний – раннелетний, среднеосенний.

Контрастность изображений индивидуальна для разных частот волн. По характеру изменений частотно-контрастных характеристик фотоизображений морфологические элементы ландшафта делятся на три группы:

– с резкими фенологическими изменениями (пропашные и яровые культуры, суходольные луга на пересеченной местности);

– со средними изменениями (многолетние травы, зерновые культуры, залежи);

– стабильные (хвойные леса).

На основе анализа измерений отражательных свойств больших территорий и ландшафтных элементов составлен каталог их альбедо, для чего использовано более 40 литературных источников за последние 80 лет.

На цветных, спектро- и многозональных снимках используются для дешифрирования цветовые характеристики. Цветная натуральная съемка используется редко из-за дороговизны и слабой разрешающей способности вследствие влияния атмосферной дымки. Спектро- и многозональные изображения, оцувствленные в различных зонах спектра, дают цветокодированные изображения, информативность которых значительно выше, чем у черно-белых. Это особенно касается слабо нарушенных ландшафтов. Свой цвет характерен для большинства лесных формаций, типов лугов и болот.

Важнейшие количественные характеристики рельефа – его расчлененность: вертикальная и горизонтальная. Большие значения вертикальной расчлененности указывают на развитие грядовохолмистых морено-озерных и камово-моренных ландшафтов, краевых ледниковых образований.

Для индикации тектоники и глубинного строения имеют практическое значение карты остаточного рельефа, строящиеся на основе анализа вертикальной расчлененности. В этом плане также используются карты горизонтальной расчлененности, которые индицируют знак неотектонических движений. Густота горизонтальной расчлененности определяется длиной эрозионной сети на единицу площади. В эрозионную сеть входят: долины мелких рек и ручьев; ложбины сброса паводковых вод; староречья; долины «отмирающей» гидросети; овраги, балки; денудационные ложбины или, как их еще называют, ложбины временных водотоков. Густоту расчленения определяют методом «скользящего окна» и отражают в изолиниях.

Можно использовать для этой цели упрощенный метод «вращающихся траверс» А. А. Григорьева. Картографические исследования подобного рода полезны для разграничения генетически однородных поверхностей разного возраста.

Рельеф чрезвычайно значим для диагностики генезиса и литологического состава покровных отложений. Здесь также возможны варианты индикаций. В одном случае – это трехчленная индикационная цепочка: рельеф – генезис – литология, так как для каждого генетического типа рельефа известны условия седиментации, осадконакопления: для моренных равнин – преимущественно валунные супеси и суглинки, для краевых ледниковых образований – сложные сочетания, пестрота литологического состава отложений с включениями отторженцев более древних пород, для зандров и аллювиальных равнин характерны преимущественно пески, для болот – торф и т. д.

В другом случае в качестве индикационного признака используется непосредственно скульптурность рельефа. В пределах развития связных супесчано-суглинистых пород он резче очерчен, характерны более крутые склоны, резкие перегибы склонов. Для поперечного профиля ложбин свойственна корытообразная форма с плоским днищем. Всклопления и равнины на песках отличаются большей сглаженностью, профиль ложбин преимущественно V-образный с хорошо выраженной тальвеговой частью.

Литоиндикационное значение имеют котловины различного генезиса. Для моренных отложений характерны четко выраженные термокарстовые западины со сложной угловатой конфигурацией.

Положительные формы рельефа также значимы для диагностики литологического состава покровных отложений. С озами связаны песчано-гравийно-галечные породы, с эловыми всклоплениями – слабо отсортированные слоистые пески, с камами – водно-ледниковые отложения, преимущественно пески различного состава, песчаногравийный материал, с друмликами – моренные осадки, перекрытые толщей суглинистых пород.

Чрезвычайно важное значение рельефа для индикации почвенного покрова. Рельефом определяется смена генетических типов почв от элювиальных комплексов вершинных поверхностей до субаквальных в понижениях рельефа. Эти смены на залесенных участках маркируются определенными фитоценозами. В пределах же пахотных земель могут быть использованы лишь фототон и приуроченность к определенному элементу рельефа (вершине формы, верхней, нижней, средней частям склонов, подножью склонов, межхолменному или межгрядовому понижению).

Смена генетических типов почв определяется глубиной залегания грунтовых вод. Возможность индикации УГВ определяется глубиной эрозионного расчленения территорий. Прогноз УГВ по рельефу носит локальный характер. Прогнозные данные по гидродинамическим уровням (следование зеркала грунтовых вод за рельефом поверхности) весьма приблизительны. В этом плане фитоиндикация и комплексная ландшафтная индикация перспективнее. О влажности почв можно судить по крутизне склонов – эти величины обратно пропорциональны.

Роль рельефа как индикатора процессов проявляется в диагностике неотектонических движений (активизация оврагообразования, динамика балок), уже упоминавшихся элементов палеогеографии (термокарст, суффозия). Рельеф индицирует целую группу гравитационно обусловленных процессов:

- образования обвально-осыпных арен в долинах рек, карьерах;
- накопление делювиальных толщ в результате плоскостного смыва и крипа в подножьях склонов;
- формирование конусов выноса в устьях ложбин.

Гидросеть – один из динамичных компонентов ландшафта, реагирующий на изменения, вызванные неотектоническими движениями, трансформацией почвенно-грунтовых условий и особенно антропогенным воздействием.

С неотектоническими движениями увязывают конфигурацию русел в пределах пойменных террас: на участках опусканий земной коры активизируется боковая эрозия,



происходит образование меандров, стариц, происходит заметная даже на небольшом отрезке времени плановая перестройка русел.

Гидрологические индикаторы обозначают не только транзит грунтовых вод на болотах. Они индицируют также места разгрузки грунтовых вод на окраинах верховых болот, где вследствие их выпуклости формируются лагги – наиболее увлажненные участки на границах с суходолами.

Гидрологические объекты служат показателями стадий болотообразования и зональных отличий болот верхового типа. Так, на северных верховых болотах Финляндии и северо-западной части России распространены аапа – комплексы – болотные массивы с системами озер, где водные акватории занимают до 20 – 30 % заболачиваемой площади. Южнее располагается грядово-озерковые комплексы, где озер не так много, и они меньше по размеру. Для Литвы, Латвии, Поозерья характерны грядово-мочажинные болота. Здесь мочажины часто наблюдаются в виде переувлажненных участков, а не водных акваторий. Гидрологические индикаторы указывают на развитие и локализацию ряда процессов: периодическое перераспределение топографических особенностей пойменных террас, образование отмелей, кос, осерёдков, эрозионных берегов с обрывами и осыпями, образованием меандров, стариц, их трансформации и зарастания, а на крупных водоемах – береговых процессов: абразии, формирования пляжей и др.

Дендро- и лишеноиндикаторы не являются вполне ландшафтными, так как они же физиономичны, таковы и изменения гранулометрического состава руслового аллювия, используемые в качестве индикатора глубинного строения.

Индикаторные признаки растительности Роль растительности как индикатора различных природных ресурсов чрезвычайно важна. По правилам словообразования определения, производные, от предметного существительного «индикатор», пишутся как «индикаторные». Они служат для обозначения разнообразных свойств растительных индикаторов, их строения и состава. Определения же, производные от функционального существительного «индикация», пишутся как «индикационные». Они используются при характеристике роли и функции растительных индикаторов, методов их применения, оценки, взаимосвязи растительности с условиями среды и др.

Индикаторными признаками служат разнообразные свойства растительности, которые являются показателями каких-либо условий среды. Индикаторные «критерии» подразделяются на две группы: индивидуальные, касающиеся отдельных растений, и ценоотические, характеризующие растительные сообщества.

-таксономические единицы (виды, роды, свойства, разновидности). К индивидуальным признакам относятся жизненные формы: древесные растения, полукустарники, травы. Важными индивидуальными индикаторами являются формы роста – особенности строения отдельных особей растений в разных экологических условиях.

В некоторых работах намечалось разделение индикационных методов, применяемых в геологии, на ботанические и биогеохимические.

С. В. Викторов дает практическую классификацию геоботанических индикаторных признаков: эколого-физиономические, флористические, структурные и различия в ритмах развития. Единая классификация индикаторных признаков была проведена Б. В. Виноградовым: флористические, физиологические, морфологические, фитоценоотические. Индикаторные признаки делят на статические и динамические.

Последние, в свою очередь, подразделяют на ритмические (функциональные, фенологические) и собственно динамические (ростовые, сукцессионные).

Флористические признаки – виды – являются основными индикаторными свойствами растительности. Под ними понимаю различия во флористическом составе исследуемых участков, являющиеся следствием приуроченности отдельных видов (и внутривидовых форм) к определенным экологическим условиям. Основной индикационной единицей в этом случае служит вид. Каждому виду соответствует в одних случаях более узкая, в других — более широкая экологическая амплитуда местообитания. Как присутствие, так и

отсутствие вида может иметь определенное индикационное значение. Низшие таксономические единицы, например разновидности, обладают более узкой экологической амплитудой. Повышенное индикационное значение имеют молодые виды с признаками прогрессирующего эндемизма. Чем крупнее таксономическая единица, тем шире ее экологическая амплитуда. Иногда используют отдельные роды, секции и даже семейства в качестве индикаторов. Флористические индикаторные признаки дают основную качественную характеристику местообитания, а другие признаки в большинстве случаев дополняют и уточняют показания отдельных растений.

К физиологическим индикаторным признакам относят характеристики химического состава и обмена веществ растений.

Физиологические индикаторные признаки можно подразделить на вещественные и функциональные. Вещественные признаки включают изменения и в особенности аномалии содержания в тканях растений металлических соединений и легкорастворимых солей, различия в составе и концентрации пигментов, формы растительных масел и белков, водосодержания, водоудерживающей способности, осмотического давления. Биохимические особенности пигментов определяют такой физиологический индикаторный признак, как цвет растений. Выявление функциональных индикаторных признаков предполагает наблюдения за обменом веществ растений, водным балансом, транспирацией. Широко используют в качестве индикаторов эколого-физиологические особенности растений (ксерофиты, мезофиты, псаммофиты и другие группы).

Использование морфологических индикаторных признаков основано на анализе внутренней (анатомической) и внешней структуры отдельных растений. Анатомические признаки включают ширину годичных колец деревьев, особенности строения водопроводящей ткани, относительное развитие различных видов ткани, различия в строении клеток и клеточных оболочек, обусловленные экологическими причинами и т. п. Внешние морфологические признаки изучают, измеряя высоту растений, диаметр кустов и дернин, стволов деревьев и стеблей мелких растений, размер листовых пластинок и др. Качественные морфологические признаки (жизненные формы, экотипы, тераты, формы роста, а также отдельные механические повреждения растений, нарушения их естественного положения и т. п.) также служат индикаторами. Важнейший признак – бонитет леса.

Фитоценотические индикаторные критерии – признаки ассоциированности растений и особенности структуры растительного покрова. Они подразделяются на социальные и структурные. Первая группа фитоценотических признаков характеризует ассоциированность растений и включает количественные данные: обилие, проективное покрытие, встречаемость, дисперсность и т. п. Вторая группа состоит из структурных признаков фитоценоза, характеризующих синузальное строение сообщества (ярусность и мозаичность) и структурных признаков растительного покрова (формы комплексов и сочетаний фитоценозов, их конфигурация, взаимное расположение).

В индикационном отношении важно различать признаки статические и динамические. Например, присутствие какого-либо вида индикатора, его форма – статические признаки, а скорость его роста или другие изменения, происходящие за определенный отрезок времени, – динамические. Динамические индикаторные признаки подразделяются на функциональные, фенологические, ростовые и сукцессионные.

К функциональным признакам относят показатели водного баланса растений и накопления в тканях различных химических веществ.

Фенологические признаки основаны на учете отдельных фаз и полных ритмов развития растительности. Различаются нормальные и аномальные ритмы. Можно выделить положительные аномалии, когда длительность вегетации и фаз развития увеличивается, и отрицательные, когда их продолжительность сокращается.

Анатомические ростовые признаки основаны на изменении числа и ширины годичных колец ствола и анализе скорости прироста древесины.

Аналогичными признаками служат показатели соотношений возраста дерева и его высоты или диаметра ствола. Ростовые признаки травянистых растений нашли широкое использование при вегетационном методе, при котором скорость роста выступает основным критерием для оценки условий произрастания. В качестве ростового признака используется выживаемость и жизненность растений.

Выживаемость характеризуется соотношением числа живых, отмирающих и мертвых экземпляров, жизненность определяется по формам роста и репродукционной способности растений.

Большое индикационное значение имеют сукцессионные признаки.

Эндогенные сукцессии часто предшествуют изменениям условий местообитания, а экзогенные следуют за этими изменениями.

В качестве индикаторов могут быть использованы не только ныне живущие растения, но и ископаемые остатки вымерших.

В заключение нужно подчеркнуть, что ни один отдельно взятый индикаторный признак не является достаточно надежным, и лишь по сочетанию ряда признаков можно делать выводы. Поэтому различные индикаторы необходимо комбинировать между собой и взаимно контролировать. Флористические признаки наиболее часто сочетаются с морфологическими и фитоценотическими (геоботанический индикационный метод), а также с физиологическими и морфологическими (биогеохимический метод). При взаимной комбинации отдельных частных признаков повышается их индикационное значение (встречаемость и обилие, покрытие и численность, высота и диаметр и т. п.). Если отдельные растения обладают определенной экологической пластичностью и часто имеют слишком широкую амплитуду условий местообитания, то растительные ассоциации с их суженным синэкологическим ареалом отражают всякие, даже незначительные, изменения в условиях среды.

Индикационные функции растительности Как отмечал Ф. Клементс, каждое растение или сообщество представляет лучшую меру условий, в которых оно произрастает.

В качестве экологических факторов, по отношению к которым может быть использована прямая индикация, он рассматривает увлажнение, свет, температуру, засоление, карбонатность, аэрацию. Кроме того, он выделял «факторы – комплексы», такие как типы почв, экспозиция и высота.

Основой для более последовательной классификации индикаторов служит теория биогеоценоза В. Н. Сукачева, в которой природные факторы местообитания подразделены на ряд экологических сфер: атмосферу, педосферу, гидросферу и литосферу. В соответствии с этим индикационные функции растительности могут быть подразделены на климатоиндикационные, педоиндикационные, гидроиндикационные и литоиндикационные.

Кроме физических факторов, важны также влияние зооценоза и деятельность человека. По растительности можно дать оценку не только воздействия тех или иных факторов местообитания, но и степени неоднородности среды в вертикальном и горизонтальном направлении и взаимного расположения отдельных микросред.

Индикатором вертикальной стратификации условий местообитания служит совмещенность экологических групп растений (синузий), которые характеризуют экологические условия в различных надземных ярусах и почвенных горизонтах. Индикаторами горизонтальной структуры среды являются многообразные формы распределения растительности: микрогруппировки, комплексы, сочетания и т. п.

Растительные индикаторы указывают не только на статичное положение факторов, но и на их ритмику и динамику. О ритмике можно судить по фенологическим наблюдениям и сезонной совмещенности разных экологических групп. Надежным показателем динамики природной среды являются экзогенные сукцессии растительности.

Изменение ареалов и направление миграции растений, изученное по ископаемым остаткам и современному распределению растительности, используется как индикатор

палеогеографических условий. Ископаемые фитоценозы служат индикаторами при определении геологического возраста и условий образования осадков. Ценные данные об исторических изменениях среды дает анализ роста растений по годичным кольцам. Наконец, изучение влияния растительности на местообитание может дать ботанический прогноз эволюции, если это влияние не перекрывается более мощным воздействием экзогенных факторов.

Растительность может быть использована не только как индикатор отдельных факторов среды, но и как показатель суммарных условий типов местообитания: типов почв, типов климата, полей горных пород, сельскохозяйственных угодий.

При индикационном изучении почв используют комплекс признаков: флористический состав, морфологические и физиологические свойства растений, фитоценотическую структуру и формы ее сочетаний.

## **Лекция № 5. Индикация почвогрунтов и грунтовых вод. Тектоиндикация.**

Ландшафтная индикация покровных (четвертичных) отложений – одна из важнейших проблем, решаемых в почвенном, геоморфологическом и инженерно-геологическом картировании. Согласно существующим методическим разработкам, при изучении и картографировании литологических разностей грунтов и глубины залегания подземных вод целесообразно составление ландшафтно-индикационных карт масштаба 1 : 50 000 с детализацией их на уровне урочищ. Существенно то, что по своим геолого-литологическим условиям урочища характеризуются одинаковым литолого-фациальным составом отложений и определенным интервалом уровней грунтовых вод. Обычно им соответствуют группы фитоценозов, относительно сходных по условиям обитания и физиономическим характеристикам, по которым они могут быть опознаны. При детальном инженерно-геологическом исследовании применяют физиономические комплексы на уровне фаций, флористические и фитоценотические признаки. Сведения об индикационном значении экотярусов урочищ приведены в схемах ландшафтных индикаторов геологических условий, являющихся одновременно легендами соответствующих карт. В них показаны индикаторы, дешифровочные признаки последних по тем или иным материалам дистанционных съемок, дан перечень индицируемых условий (почвы, литология и мощность верхней толщи грунтов, глубина залегания подземных вод). Характер внутриландшафтных взаимосвязей отражают индикационные карты и экологические профили

Плоские понижения названного ландшафта с березово-еловыми орляково-зеленомошно-кисличными лесами индицируют дерново-подзолистоглееватые почвы на мелкозернистых песках с прослоями супесей и залегание УГВ на глубине 2-5 м. Растительные группировки пойменных ландшафтов дсcneгf.n прежде всего показателями глубины грунтовых вод, которые в определенной степени нивелируют различия литологофациального состава аллювиальных отложений. В ряде случаев в пределах моренно-зандровых и озерно-ледниковых ПТК на распаханых участках неглубоко залегающие породы тяжелого механического состава дешифрируются сквозь верхние слои песков по тону фотоизображения.

В условиях холмисто-моренно-эрозионного ландшафта лито- и гидроиндикация более затруднительна. Здесь развита контрастная по аспектам растительность, но состав грунтов сильно изменчив, а залегание отличается сложностью и пестротой.

Индикация покровных отложений в пределах ПТК, связанных с локальными деформациями рельефа, обычно не вызывает затруднений.

Растительный покров ложбин временных водотоков разного рода котловин, эоловых форм рельефа служит надежным индикатором. Так, эоловые гряды, занятые сосновыми

лишайничково-кустарничковыми лесами и суходольными злаковыми лугами, индицируют дерново-подзолистые слаборазвитые почвы на полевошпатово-кварцевых мелко- и тонкозернистых несвязных песках и УГВ на глубине более 5 м.

индикационное значение многих группировок, особенно в пределах сходных типов лесорастительных условий, частично или полностью совпадает. Однако дешифровочные признаки сообществ, обуславливаемые развитием разных формаций, флористическими и фитоценотическими особенностями, контрастны, и на стадии предварительного дешифрирования объединение их контуров не представляется возможным. Оно нецелесообразно также с точки зрения экстраполяции индикаторов с ключевых участков на всю исследуемую территорию или на ландшафты-аналоги других физико-географических районов. Если дешифрирование различных лесных формаций легко осуществимо как на черно-белых, так и на цветных спектральнозональных материалах дистанционных съемок, то дифференциация однопорodных древостоев по типам леса в условиях слаборасчлененных равнин более затруднительна.

Достаточно уверенно выделяются фитоценозы экстремальных обитаний – сухих (А1, В1-2) и мокрых (А5, В5). В пределах других экотопов важными признаками являются сомкнутость полога древостоя, степень участия сопутствующих доминантных пород, стереоскопическая просматриваемость группировок, положение в рельефе. Структура рисунка, как правило, более значима, чем тональные отличия, особенно при использовании черно-белых фотоматериалов.

Всхолмлениям и пологоволнистым участкам моренных равнин свойствен однородный серый тон, близкая к прямоугольной или трапециевидной конфигурация пашен, резкие изгибы дорожной сети. Характерны незначительная горизонтальная расчлененность рельефа, корытообразный профиль долин и ложбин временных водотоков, крутые склоны карстовых западин. Леса приурочены к понижениям и фрагментарно к наиболее повышенным участкам рельефа.

Ложбины стока имеют v-образный поперечный профиль; дорожная сеть – плавноизвилистая. Характерно большее число отрицательных микроформ и меньшие их размеры. На участках, примыкающих к речным долинам, заметны новообразованные водно-эрозионные формы. На облессованность водно-ледниковых отложений указывают суффозионные просадки.

Плато на лессовидных породах хорошо дешифрируются на МДС всех видов. На распаханых участках система суффозионных блюдц и соединяющих их ложбинообразных углублений четко выделяется по более темному фототону вследствие повышенного увлажнения пород. При особенно высокой концентрации суффозионных форм фоторисунков подобных территорий приобретает чечевицеобразную структуру. Если глубина просадок не позволяет распахать поверхность, фоторисунок имеет крапчато-пятнистую структуру, обусловленную чередованием заболоченных блюдц и облесенных (закустаренных) перемычек. На водоразделах просадки преимущественно изометричны, на склонах – вытянуты.

Аллювиальные комплексы выделяются достоверно: как правило, в их пределах удастся выявить участки развития пойменных болот, современного аллювия, останцов надпойменной террасы, береговые валы, иногда затронутые дефляцией.

На отражательную способность горных пород влияют многие факторы: задернованность почв, их мощность, влажность, содержание гумуса и т.

д. Это требует тщательного подбора используемых МДС. Оптимально применение снимков весенних и позднеосенних залетов, на которых не сказывается маскирующее влияние посевов. В раннеосенний период различия в отражательной способности литологических разностей нивелируются избыточным увлажнением почв.

Основные особенности индикации конечно-моренных отложений сходны с ландшафтом моренных равнин, причем здесь они проявляются еще рельефнее. Проведение границ соподчиненных комплексов затруднительнее. Естественная растительность сохранилась

менее чем на 5% общей площади, поэтому гипсометрически обусловленные границы слабо маркируются. Большие по площади гряды с обрамляющими их холмистыми равнинами при картировании идентифицируются как отдельные ландшафты. Отдельные грядово-холмистые массивы в пределах моренной и водно-ледниковой равнин Индикаторы конечно-моренных отложений Предполеской провинции холмов, преимущественно лишайниково-светло-серый, рисунок бесподзолистые глинистые пески с и ботанически распахан-ый и кислично-структурный или неясно-слабо и средне прослоями супесей. Склоны гряд и хол-Агрофитоценозы, моренно-преимущественно грабово-дубовые ор-Сходны с описанным выше Дерново-средне-Супеси, суглинки, 3-Освоенные склоны с Агрофитоценозы, участками еловых ельников с дубом ку-Стереоскопически – нижние То же Моренные супеси с 2-Ложбины временных Агрофитоценозы Выделяются по темному Дерново-Разнозернистые 1-водотоков, распахан-фототону, характерной консреднеоподзолен-пески, супеси, могут быть отождествлены с местностями. Поверхность их в значительной мере переработана процессами эрозии и денудации. Часто совокупность названных форм приобретает вид платообразных останцов, приподнятых над окружающей равниной на высоту 5-10 м. Сложен механический состав отложений и условия их залегания. Конечно-моренные формы построены преимущественно песчаными и грубообломочными отложениями, однако включают в себя и супеси, суглинки, глины, отторженцы коренных пород. В них широко развиты разрывные и складчатые гляциодислокации.

По условиям литоиндикации выделяют комплексы водоразделов, склонов, ложбин и котловин. Индикация уровней грунтовых вод достоверна до глубин 5-6 м. В трансформированных ПТК и в условиях, где используются только геоморфологические индикаторы, достоверность снижается. Один из наиболее сложных вопросов, решаемых при картировании краевых образований, индикация гляциодислокаций.

Комплексы-индикаторы территории физиономичны, четко различаются как в натуре, так и на материалах аэрофотосъемки. Исключение составляет лишь разграничение террас в пределах заболоченных земель.

В этом случае достоверность их дешифрирования повышается при использовании некоторых количественных показателей, таких, например, как горизонтальная расчлененность рельефа.

Особенности индикации в различных ландшафтах обусловлены соотношением физиономичных и деципиентных компонентов. С физиономичностью связаны возможности выявления и картирования индикаторов. Сложность строения деципиентных компонентов предопределяет достоверность индикации. Наиболее легко осуществляется литоиндикация в ландшафтах водно-ледниковых равнин, на надпойменных террасах речных долин, на озерно-ледниковых низинах с поверхностным залеганием песчано-супесчаных отложений. Менее точна она на моренных и моренно-зандровых равнинах, а наиболее затруднительна в грядово-холмистых ландшафтах краевых морен. Индикационная значимость физиономичных компонентов изменчива. Ведущее место при литоиндикации в пределах ландшафтов краевых гряд и моренных равнин принадлежит рельефу. Для зандровоаллювиальных и озерно-ледниковых ландшафтов более значимы геоботанические признаки, даже если они связаны с почвогрунтами через рельеф, придавая ему физиономичность.

Экотяруссы комплексов-субдоминантов, связанных с деформациями рельефа, а также с генетически отличными от фоновых образованиями, характеризуются сходным индикационным значением в различных видах ландшафтов.

Физиономичные комплексы водораздельно-склоновых местностей являются достоверными индикаторами почвогрунтов. В пределах пойменных террас по условиям индикации выделяются низкая и высокая поймы, иногда с промежуточным слабопониженным уровнем. Для заболоченных местообитаний соответствующие экотярусам средние значения мощности торфа обычно постоянны, крайние в

значительной мере варьируют. Основной показатель мощности торфа положение комплексов в рельефе, физиономичность которому придает растительность.

## **Лекция № 6. Индикация экзогенных процессов.**

Земная поверхность, взаимодействуя с атмосферой, гидросферой и биосферой, в соответствии со спецификой экзодинамических процессов денудировается как с поверхности, так и разрушается изнутри. Находясь в совершенно иных термодинамических физико-химических условиях, чем в областях своего образования, горные породы начинают разрушаться, подвергаясь выветриванию — наиболее универсальному и важному процессу внешней геодинамики. Выветривание — это совокупность сложных процессов физического разрушения, химического и биохимического разложения минералов и горных пород. Как известно, процессы выветривания вызваны суточными и сезонными колебаниями температуры, механическим воздействием замерзающей воды, корневой системой растений и роющими животными, химическим воздействием воды, углекислоты и кислорода, биохимическим воздействием органических кислот.

На первом этапе выветривания происходит дезинтеграция горных пород и образуются обломки различной размерности. В дальнейшем под влиянием химических и биохимических процессов изменяется минеральный и вещественный состав горных пород и формируются различные глинистые минералы.

Образовавшийся в процессе выветривания каменный материал разного размера удаляется. Основная масса вещества выносится с суши речным стоком, стоком покровных ледников, ветром, подземным стоком в моря и океаны. Вещество удаляется как во взвешенном состоянии, так и в форме истинных и коллоидных растворов.

Оценка денудации суши по величинам отдельных потоков в настоящее время отсутствует. Недавно количественные оценки выноса материала с суши привел в своем учебнике С. П. Горшков (1998).

1. Вынос вещества с речным стоком в океан. Вынос взвешенных веществ реками в океан с площади 104,8 млн. км<sup>2</sup> составляет 15,7 млрд. т/год. С суши ежегодно вещество выносится в растворенном состоянии в виде ионного стока. В океан попадает 2,28 млрд. т/год, а в бессточные водоемы — 0,20 млрд. т. ежегодно. Поверхностные воды выносят в коллоидной форме Al, Si, Fe, биогены (соединения азота, фосфора и др.) и микроэлементы. В океан их выносится ежегодно около 0,23 млрд. т.

2. Поток моренного материала покровных ледников. Антарктический ледник ежегодно сбрасывает в океан 0,69 км<sup>3</sup> (или 1,92 млрд. т.) твердого вещества. На долю покровных ледников северного полушария приходится 0,47 млрд. т. ежегодно.

3. Поток продуктов абразии в океан. Количество материала, теряемого сушей за счет разрушения берегов Мирового океана, оценивается величиной 0,65 млрд. т.

4. Поток эолового материала в океан. Велика роль ветра не только в разрушении суши, особенно в аридных областях, но и в транспортировании тонкого обломочного материала. Потоками воздуха ежегодно переносится от 2 до 7,5 млрд. т.

5. Поток растворенных веществ подземного стока. Величина ионного подземного стока оценивается в 0,93 млрд. т/год, а вынос растворенных соединений равен примерно 1 млрд. т/год.

6. Аккумуляция осадков в озерах и водохранилищах. Суммарная седиментация в пределах озер составляет 4,83 млрд. т/год. Современный темп заиливания водохранилищ оценивается в 13,38 млрд. т/год.

7. Сбрасывание твердых отходов техническими средствами. В современную эпоху большое распространение приобрел дам্পинг — прямое сбрасывание отходов в конечные водоемы стока. В настоящее время объем сбрасываемого материала превышает 1 млрд. т/год.

8. Высвобождение фоссилизированных компонентов атмосферы и гидросферы. К таким компонентам относятся вода, углерод, водород и азот. Как показали расчеты, освобождение фоссилизированной воды горных пород при денудации имеет незначительные масштабы и составляет 0,1 млрд. т/год, но достаточно большой объем углекислого газа и азота фоссилизуется из атмосферы и гидросферы различного рода беспозвоночными.

В процессе денудации суши происходит окисление значительного количества рассеянного в осадочных породах органического вещества. Общее количество ежегодно окисляемой органики составляет 0,2 млрд. т. Почвы мира безвозвратно теряют за счет окисления около 1 млрд. т гумуса. Здесь не учтен гумус, выносимый воздушными и водными путями в бассейны седиментации.

9. Топливная денудация. Довольно велики потери вследствие сжигания ископаемого топлива. Это ведет к высвобождению фоссилизированных литосферных флюидов углерода, водорода, азота и воды. Среднее значение топливной денудации, подсчитанная С. П. Горшковым, составляет 7,8 млрд. т. Надо отметить, что в приводимую величину не включены данные по сжиганию горючих сланцев и торфа, мировая добыча которых достигает нескольких сотен миллионов тонн в год. Величина общей денудации суши (млрд. т/год), зависящая от потоков денудируемого вещества, приведена ниже:

Области материкового оледенения суммарной площадью около 16 млн. км<sup>2</sup> теряют всего 2,39 т/год вещества литосферы. В то же время с остальной суши, площадь которой без озер и водохранилищ близка к 130 млн. км<sup>2</sup>, поставляется в бассейны конечного стока 52,16 млрд. т/год.

Ускоренная денудация суши, не покрытой ледниками, вызвана, вероятно, воздействием производства на природные ландшафты и их трансформацией в антропогенные. Последние занимают около 2/3 площади суши. Согласно исследованиям, проведенным в США, эрозионный снос в местах строительства автострад, зданий и торговых центров в 10 раз больше, чем с полей с пропашными культурами, в 200 раз больше, чем с пастбищ, и в 2000 раз больше, чем с залесенных площадей.

Надо отметить, что не весь сносимый материал теряется сушей безвозвратно. Большая часть его скапливается в местах наземной аккумуляции, которыми служат террасы, пологие участки склонов и их основания, днища логов, балок и оврагов, а также речные русла.

Резкая интенсификация денудации суши, вызванная хозяйственной деятельностью, отражается на особенностях разноса вещества и седиментации во внутриконтинентальных водоемах. В водохранилищах на каждом квадратном километре площади скапливается в 17 раз больше осадков, чем в озерах. Вполне вероятно, что заиливание происходит пока еще за счет более экономной природной денудации, тогда как донные осадки водохранилищ формируются за счет антропогенного изменения режима экзодинамических процессов. Утратив значительную часть твердого стока при проходе через водохранилище, речная вода ниже плотины постепенно приобретает первоначальную мутность, если отрезок реки ниже плотины составляет более 500 км в длину. При этом материалом для эрозии служат в первую очередь аллювиальные образования дна долины. Там же, где вынос наносов реками вследствие их зарегулирования водохранилищами значительно уменьшился, интенсифицировались абразионные процессы. Именно по этим причинам в настоящее время интенсивно абрадируются дельты рек Миссисипи, Колорадо, Нила и др.

В настоящее время особое значение приобрела борьба с водной эрозией. Различают линейную, или овражную, и плоскостную водные эрозии.

В результате наблюдений установлено, что 30% оврагов росли в длину со средней скоростью до 2 м в год, около 38% — на 3—8 м, 23% — на 10—40 м и почти 9% увеличивались ежегодно на 50 м.



Во многих районах овраги расчленили большие площади земель на мелкие и неудобные, а часто и вовсе непригодные для обработки. Овражная эрозия снижает возможность увеличения сбора сельскохозяйственной продукции. Летом овраги создают условия для увеличения поверхностного стока осадков, зимой облегчают возможность сдувания со склонов снежного покрова и в целом снижают уровень грунтовых вод на прилегающих площадях.

Овраги затрудняют строительство дорог и увеличивают их стоимость. Они разрушают автомобильные дороги и железнодорожные магистрали, различные жилые и промышленные сооружения. Продуктами смыва и размыва оврагов заиливаются реки, озера и водохранилища.

Наиболее опасным с точки зрения сельскохозяйственного производства является плоскостной смыв. Интенсивные эрозионные процессы протекают на постоянно обрабатываемых землях лесостепной и степной зон, в предгорных и горных районах.

В настоящее время разработан комплекс агротехнических мероприятий, который включает следующие приемы по борьбе с водной эрозией: обработку поля поперек склона, контурную пахоту, кротование и щелевание почвогрунтов, прерывистое боронование зяби, залуживание, посадку многолетних насаждений.

Лесомелиоративные мероприятия охватывают следующий комплекс работ: посадка прибалочных и приовражных лесополос, сплошное облесение оврагов, посадка лесов на водораздельных склонах, по берегам рек, прудов и водоемов.

Гидротехнические сооружения оказывают прямое воздействие на поверхностный сток и являются одним из эффективных средств борьбы с водной эрозией. В зависимости от назначения противозэрозионные гидротехнические сооружения подразделяют на водонаправляющие, водозаборные (водосборные и водосбросные), дноукрепляющие.

К водонаправляющим сооружениям относятся водонаправляющие валы и нагорные каналы, валы-распылители и каналы-распылители.

В состав водосборных противозэрозионных сооружений входят: валы-каналы, валы-террасы, пруды и микроканалы.

Водосбросные сооружения включают перепады, быстротоки, консольные, шахтные и трубчатые водосбросы.

К дноукрепляющим сооружениям относятся запруды и полужапруды, донные перепады и пороги.

### **Гравитационные процессы**

Они выражаются в перемещении массы горных пород под действием силы тяжести из возвышенных участков рельефа в пониженные. Ввиду того что они наиболее часто проявляются на склонах, их нередко называют склоновыми процессами. Скорость и масштабы перемещения обломочного материала зависят от крутизны склона и объема подготовленного к перемещению материала. Склоновые процессы проявляются на склонах гор и возвышенностей, на бортах речных долин и на крутых берегах морей и озер. Причиной вывода из состояния равновесия массы горных пород могут быть землетрясения, подмыв склонов при боковой эрозии, абразия, деятельность подземных вод и антропогенная деятельность.

Образовавшиеся в процессе гравитационного перемещения осадки, или коллювий, состоят из разнообразных по величине и составу обломков горных пород — глыб, щебня, гравия, песка, алевролита и пелита. Перемещение обломочного материала совершается с разной скоростью — либо медленно, либо мгновенно. К последним относятся обвалы, камнепады, оползни и осыпи.

Обвалы развиваются на отвесных обрывистых или очень крутых склонах. Под действием физического выветривания на склонах закладывается все расширяющаяся система параллельных трещин. Часть пород, отделенная от коренного массива, отклоняется в сторону склона, а затем под действием силы тяжести опрокидывается на поверхность склона, распадаясь на отдельные обломки.

Самые крупные обвалы связаны с землетрясениями. Во время крупного землетрясения в 1911 г. на Памире обрушилась масса горных пород объемом 8 млрд. т. в долину р. Мургаб. Вследствие обвала река была перегорожена плотиной высотой 600 м, и возникло высокогорное Сарезское озеро глубиной около 500 м и площадью 86,5 км<sup>2</sup>.

Камнепады — разновидность обвалов. Отличаются размером перемещаемых блоков. Во время камнепадов вниз по склону движутся отдельные глыбы и крупный щебень.

Осыпи — скопления легко подвижной массы горных пород, состоящей из щебня и дресвы (продуктов физического выветривания). Под влиянием силы тяжести осыпи медленно перемещаются вниз по склону.

Оползни возникают в том случае, когда склон сложен водоносными и водоупорными породами. Могут двигаться крупные блоки твердых пород (блоковые оползни) и отдельные глыбы (глыбовые оползни).

Скорость движения оползней различна. Одни за год проходят расстояние около 100 м, другие перемещаются существенно быстрее и представляют собой опасные природные явления, способные накрыть жилые здания и хозяйственные постройки и привести к человеческим жертвам.

По происхождению различают оползни: сейсмогенные, вызванные землетрясениями; возникающие при насыщении поверхности склонов водой и изменении их наклона; антропогенные — как результат неправильной хозяйственной деятельности. Причиной смещения массы рыхлых пород может быть подмыв участка склона с водоупорным горизонтом.

Оползням подвержены берега рек, озер и морей как в платформенных областях, так и горно-складчатых. Масштаб развития оползней и эколого-геологические последствия их воздействия на окружающую среду определяются объемом и скоростью перемещения масс грунта. Крупнейшие оползни с катастрофическими последствиями возникают в тех случаях, когда мощная толща плотно скрепленных пород залегает на слабо литифицированных толщах или пльвунах, в которых при насыщении водой возникают явления ползучести, выдавливания и выплывания.

На морских побережьях оползневые процессы активизируются во время штормов, сопровождаемых ливневыми дождями. Многие грандиозные оползни с трагическими последствиями спровоцированы землетрясениями. Активизации оползневых процессов способствует обильное увлажнение пород в результате затяжных дождей, ливней и снеготаяния. В 1994 г. на юге Киргизии после обильных дождей и снегопадов в лёссовых породах сошли оползни-потоки объемом от 500—600 м<sup>3</sup> до 1,5 млн. м<sup>3</sup>. Погибли 115 человек. В 1974 г. во время крупного оползня объемом 1,6 км<sup>3</sup> в Перу в Андах погибли 450 человек.

Оползни наносят значительный материальный ущерб. Они разрушают промышленные здания, жилые дома, транспортные артерии, коммуникации, погребают целые деревни, нарушают структуру сельскохозяйственных земель. Угроза образования оползней, представляющих опасность для инженерных сооружений и дорог, вызывает рост косвенных материальных издержек и требует создания дополнительных защитных сооружений. Ежегодный материальный ущерб от оползней в мире составляет несколько миллиардов долларов.

Помимо обвалов, камнепадов и оползней существуют медленные гравитационные перемещения дезинтегрированных отложений, называемых крипом. Выделяют глубинный крип, когда происходит перемещение материала в глубь Земли, и склоновый крип — перемещение материала вниз по склону. Крип вызывается уплотнением рыхлых пород (лёсса и глины) на глубине и образованием на глубине разуплотненного вещества вследствие таяния и замерзания воды (криогенный крип), откачкой подземных вод, нефти или газа (антропогенный крип). В результате действия крипа на поверхности образуются плоские блюдцеобразные котловины, оголяются склоны и у подножия возникают холмистые нагромождения смещенного со склонов коллювия.

## **Карстовые формы**

Поверхностные карстовые формы образуются в том случае, когда растворимые горные породы — известняки, доломиты, мергели, мел, гипс, каменная соль — залегают неглубоко и перекрыты маломощным чехлом рыхлых четвертичных отложений или даже выходят на поверхность. К ним относятся карровые поля, карстовые воронки и поноры, карстовые котловины, карстовые поля, колодцы, шахты и пропасти.

Карровыми полями называют обширные площади карбонатных пород, покрытые каррами, — неглубокими (до 2 м) рытвинами и углублениями.

Карстовые воронки конической, чаше и блюдцеобразной формы — образования глубиной 20—30 м, имеющие в поперечнике первые сотни метров. На дне воронок располагаются вертикальные, наклонные и реже горизонтальные ходы в виде щелей или колодцев — поноры. Иногда поноры возникают непосредственно на поверхности в результате расширения стенок открытых трещин. Через поноры поверхностные воды проникают в глубь пород.

Карстовые котловины — замкнутые понижения, возникающие в результате слияния соседних карстовых воронок. Наиболее крупные носят название карстовых полей. Они имеют площадь в сотни квадратных километров, достигая глубины нескольких сотен метров. Чаще всего поля возникают в горных областях. Самое крупное Ливанское поле, расположенное на Балканском полуострове, имеет площадь 379 км<sup>2</sup>.

Карстовые колодцы, шахты, пропасти формируются в результате дальнейшего расширения и углубления понор. Когда колодцы и шахты достигают нескольких сотен метров в глубину, они приобретают вид грандиозных пропастей.

Поверхностные карстовые формы видоизменяют ландшафт и делают территории непригодными для дорожного строительства и механизации сельскохозяйственных работ. При этом изменяется гидрологический режим и местность приобретает пустынный вид. Поверхностные воды периодически исчезают. С подобными формами рельефа связаны исчезающие озера, на дне которых располагаются карстовые воронки и поноры, которые оказываются закупоренными озерными тонкими осадками. Исчезновение пробок, например из-за всасывания озерных осадков внутрь карстовых форм, приводит к понижению уровня воды в озерах.

Подземные карстовые формы создаются подземными водами, протекающими в карбонатных и гипсоносных толщах. Они представлены карстовыми пещерами и подземными галереями. Пещеры состоят из системы горизонтальных, наклонных, вертикальных и ветвящихся каналов, штреков, галерей, щелей, ведущих в крупные залы.

Суффозионные формы рельефа образуются в рыхлых песчано-глинистых и лёссовых толщах, из которых твердые частицы выносятся подземными водами. Вследствие этого внутри толщ возникают пустоты, а на поверхности — провальные формы, напоминающие карстовые. На выходах подземных вод на склонах речных долин образуются небольшие полукруглые выемки — суффозионные цирки.

Формирование подземных пустот как вследствие действия карстовых, так и суффозионных процессов приводит к катастрофическим последствиям на земной поверхности. Главными из них являются: просадки и провалы жилых и промышленных зданий и хозяйственных построек, расположенных над подземными полостями; деформации железнодорожного полотна и шоссейных дорог, требующие крупных капитальных вложений для ремонта и ухода; утечка воды из искусственных водохранилищ; обильные притоки подземных вод в горные выработки — шахты, карьеры; нарушение устойчивости мостов.

Криогенные процессы. Мерзлотно-геологические (криогенные) процессы широко распространены в районах развития многолетнемерзлых грунтов. Вода, превращенная в лед, занимает пустоты, поры и трещины, цементируя рыхлые породы.

Верхняя часть мерзлых пород в весенне-летний период периодически оттаивает на глубину до 1,5—2 м. Этот слой, называемый деятельным слоем, летом полностью

насыщен водой. Вода удерживается водоупорным слоем, роль которого играют залегающие на глубине многолетнемерзлые породы. Под ними циркулируют подмерзлотные напорные воды, находящиеся вне сферы влияния климатических условий, господствовавших на поверхности. В толще многолетнемерзлых пород в виде линз нередко залегают межмерзлотные и внутримерзлотные воды. Их образование связано с неравномерным распределением температур в многолетнемерзлых породах. Участки талого грунта, к которым они приурочены, носят название таликов.

Межмерзлотные и иногда надмерзлотные воды нередко обладают напорными свойствами. Напор обычно возникает осенью и зимой во время промерзания деятельного слоя и таликов. В это время объем участков, насыщенных водой, постепенно сокращается из-за замерзающих грунтов.

Наиболее неблагоприятными в экологическом отношении являются следующие криогенные процессы: термокарст, бугры пучения, наледи и солифлюкция.

Термокарст — процесс образования подземных пустот и поверхностных форм рельефа, напоминающий карстовый, но образованный вследствие таяния подземных льдов и рыхлых пород, сцементированных льдом. На поверхности земли образуются просадки. Термокарстовые понижения в виде «блюдца» протаивания, западин или котловин часто имеют округлую форму и глубину от 8—10 до 30 м.

В летнее время термокарстовое понижение заполняется талой водой. Возникают термокарстовые озера. Вода термокарстового озера способствует дальнейшему развитию процесса оттаивания промерзшего грунта на дне и приводит к увеличению глубины и размеров озера. При существовании поверхностного стока вода, образованная при вытаивании льда, уносится и возникает сухое термокарстовое понижение.

Бугры пучения образуются при сезонном промерзании влажных или насыщенных водой пород таликов. Увеличение объема при образовании льда приводит к расширению пространства и поднятию поверхностного слоя. Многолетние промерзания и оттаивания формируют крупные бугры пучения, возвышающиеся над окружающей местностью. Высота их может достигать 100 м, а диаметр — 200 м.

Наледи образуются в зимнее время в результате многократного излияния на поверхность речных или надмерзлотных и межмерзлотных подземных вод и их последующего послойного промерзания. Широко распространены речные наледи. Они способствуют промерзанию реки до дна, сужению русла реки и представляют угрозу для речной биоты. Последовательное сужение приводит к усилению напора речного течения, вследствие чего вода прорывается на поверхность и растекается по долине. Продолжающееся замерзание сопровождается наращиванием толщины льда и образованием новых наледей.

Наледи возникают и в местах прорыва надмерзлотных вод. При замерзании деятельного слоя незамерзшая вода, заключенная между многолетней мерзлотой и промерзшей верхней частью слоя, приобретает напор и прорывается на поверхность, образуя наземную наледь.

Толщина наледей может иногда достигать 10 м, а площадь, занимаемая ими, — нескольких десятков квадратных километров.

Солифлюкция — процесс медленного оплывания и вязкого течения на склонах деятельного слоя со скоростью нескольких десятков сантиметров в год. Развитию солифлюкции способствует наличие тонких рыхлых насыщенных водой пород алевроитосуглинистого состава и уклонов поверхности рельефа от 3 до 15°. Во время движения формируются солифлюкционные языки различной длины и ширины и солифлюкционные террасы.

На горных склонах, на склонах и в руслах ложбин и сухих долин, обладающих значительной крутизной, перемещается глыбовый слабо окатанный материал. Такие каменные потоки называются курумниками. Длина курумников может достигать нескольких километров.

Образованию курумников способствует морозное выветривание скальных пород, которое подготавливает материал для перемещения, вымывания щебнисто-дресвяного материала и замерзания воды в образовавшихся пустотах в виде гольцового льда. При подтаивании гольцового льда происходит переувлажнение подстилающих глыбы слоев горных пород. Это нарушает устойчивость, и глыбовый материал начинает медленно перемещаться.

Многолетняя практика проведения хозяйственных работ в районах с многолетнемерзлыми грунтами нарушает режим мерзлоты и приводит к оттаиванию. Возникают разжиженные грунты. В конце концов это вызывает деформацию, разрушение зданий и дорожного полотна.