

## СВОЙСТВА ПОДВОДНЫХ ПОЧВ ЯПОНСКОГО И ОХОТСКОГО МОРЕЙ

Полохин О. В.<sup>1</sup>, Пивкин М. В.<sup>2</sup>, Киричук Н. Н.<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Биолого-почвенный институт ДВО РАН, Владивосток, (690022, Владивосток, пр. 100-летия Владивостока, 159), e-mail: polokhin@mail.ru

<sup>2</sup>Тихоокеанский институт биоорганической химии им. Г.Б. Елякова ДВО РАН, Владивосток

---

Представлены результаты изучения подводных почв (акваземов) и морской микобиоты бух. Троицы (Японское море), Сахалинского залива и Охотоморского шельфа о. Сахалин, шельфа о. Симушир и о. Итуруп (Курильские острова). Гранулометрический состав, содержание органического вещества акваземов и закономерности его распределения связаны с рельефом дна и глубиной, гидродинамической обстановкой (волнения, приливы-отливы, поверхностные и глубинные течения), видом и биологической продуктивностью растительности. Под зарослями zostеры морской развиваются акваземы дерновые. Видовое богатство грибов морских грунтов Японского моря представлено 91-м видом, 29-ти родов. Видовой состав грибов аквапочв шельфа о. Сахалин включает 131 вид мицелиальных грибов из 45 родов, представленных в основном видами морфологической группы анаморфных грибов (117 видов из 36 родов) и *Ascomycota* (14 видов из 9 родов). Показано, что можно делать экологический мониторинг подводных почв, определение пределов их устойчивости и экологической емкости.

Ключевые слова: подводные почвы, аквазем, морские грибы, морские травы.

## PROPERTIES OF SUBMARINE SOILS (AKVAZEMS) OF JAPAN AND OKHOTSK SEAS

Polokhin O.V.<sup>1</sup>, Pivkin M. V.<sup>2</sup>, Kirichuk N. N.<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Institute of Biology and Soil Sciences, Far Eastern Branch, Russian Academy of Sciences, Vladivostok, e-mail: polokhin@mail.ru

<sup>2</sup>G.B. Elyakov Pacific Institute of Bioorganic Chemistry, Far Eastern Branch, Russian Academy of Sciences, Vladivostok

---

The general aim of this paper is to recognition properties of submarine soils and their fungal assemblages Trinity Bay (sea of Japan), the Sakhalin Gulf and the sea of Okhotsk shelf about of Sakhalin, shelf Simushir island and Iturup island (Kuril Islands). Granulometric composition, organic matter content submarine soils and regularities in its distribution associated with the bottom topography and depth, hydrodynamic situation (waves, tides, surface and deep currents), views and biological productivity of vegetation. Under beds zostery Maritime develop submarine soils grasscover. Species abundance of fungi of sea soil of the Sea of Japan is presented by the 91st look, 29 childbirth. The species assemblages of fungi akvazems from a shelf of Sakhalin island includes 131 species of from 45 genera, presented generally of morphological group of Anamorfe fungi (117 views from 36 genera) and *Ascomycota* (14 species from 9 genera). It is shows that you can do ecological monitoring of submarine soils and definition of the limits of their sustainability and ecological capacity.

Keywords: submarine soils, akvazem, marine fungi, marine grasses

### Введение

В прибрежных зонах морей современным почвоведением выделяется субаквальный (подводный) ландшафт (ГОСТ 17.8.1.02-88). Этот тип ландшафта совпадает по своему определению и с шельфовой областью океана, то есть переходной зоной между океанической и континентальной областями биосферы. На шельфе выделяют зону литорали (прибойная зона) и сублиторали. Почвы литорали признаны в почвоведении, изучены и классифицированы (хотя пока и не входят в современную классификацию почв). Так А.Ф. Костенковой было начато исследование маршевых почв на низких побережьях залива Петра Великого. С.А. Шляхов продолжил эти исследования, завершил их сводкой об особенностях почвообразования в прибрежных почвах и классификацией [10]. Однако почвы сублиторали

вызывают сомнение в определении их статуса, не изучены и не классифицированы. Хотя еще В.В. Докучаев [8] рассматривал озерный аллювий как почвенное образование. Карпачевский Л.О. [3] писал, что донные осадки являются сложными неравновесными биокостными системами с определенной цикличностью жизни, биокостными телами. Бахнов В.К. [1] предлагал разделить их на горизонты. Детально проблема подводного почвообразования на континентальной части рассмотрена в работах Серышева В.А. [8]. Нестеровой О.В. и Ивлевым А.М. [3] были проведены исследования качественного состава гумуса и распределения органического вещества в подводных почвах залива Петра Великого Японского моря названных «аквапочвами». До сих пор нет единого мнения, являются ли донные образования рек, озер, морей и океанов почвами и необходимо ли их выделять в почвенных классификациях. Существует и ряд противников подобных идей. Необходимость изучения подводных образований диктует само время. Для получения и разведения качественных аквакультур, а также поддержания кормовой базы для многих видов гидробионтов в виде подводных лугов морских трав требуются знания о свойствах и режимах субстрата. Активно идет добыча полезных ископаемых, как с шельфовых зон, так и с глубоководных областей океанов. Кроме того, последние техногенные и стихийные катастрофы диктуют необходимость обратить более пристальное внимание на барьерные свойства подводных почв (донных осадков), способность их к самоочищению именно с позиций почвоведения. Таким образом, помимо фундаментальных задач, связанных с проблемами классифицирования почвоведомы данных объектов, необходимостью разработки принципов и методов диагностики их почвенно-экологического состояния, оценки динамики этого состояния, стоят и чисто прикладные задачи – необходимость разработки теории картирования, зонирования, санирования. Подводное почвоведение только зарождается, находится в стадии становления, и поэтому на первых этапах необходимо изучение свойств и режимов морских почв с целью выявления общих закономерностей их формирования. В задачи исследования входило изучение гранулометрического состава подводных почв, содержание органического вещества и подвижных форм элементов в подводных почвах, а также характеристик фитоценозов бухты Троицы залива Петра Великого Японского моря, выявление видового богатства и биоразнообразия шельфовых комплексов грибов.

#### **Материалы и методы исследования**

Исследования проводили в бухте Троицы Японского моря на Сахалинском и Охотоморском шельфе о. Сахалин и шельфе Курильских островов в 2001-2012 годах. В бух. Троицы отбор образцов осуществлялся по разработанной нами классификации подводных почв [6]. Отбор образцов в остальных акваториях осуществлялся на различных удалениях от берега на различных глубинах. Образцы подводных почв отбирались дночерпателем Ван-

Вина, драгированием, водолазным методом (глубина 3-12 м) и на мелководье пробоотборником (длина стакана 20 см, диаметр 10 см). На малых глубинах образцы были отобраны под зостерой морской и расположенных рядом открытых участках в 5-ти кратной повторности. Пробы акваземов подсушивали при температуре 105°. Для анализа брали мелкозем (фракция <1мм). Для микологических исследований образца акваземов отбирались в стерильные пакеты и замораживались. Основным методом изучения видового состава грибов морских грунтов был метод чистых культур. Идентификация грибов проводилась при помощи общепринятых ключей и определителей. Содержание органического вещества – на элементном анализаторе углерода и азота – Flash 2000 (США), а также по методу Тюрина. В почвенных и растительных образцах определялось содержание тяжелых металлов и микроэлементов в 1 н HCl-вытяжке на атомно-абсорбционном спектрофотометре Hitachi – 05 М в аналитическом центре при ДВГИ ДВО РАН.

### **Результаты исследования и их обсуждение**

Исходя из того что почвообразование есть преобразование исходного субстрата под действием биологических процессов, то и большинство экофункций подводных почв есть одновременно производные этих процессов и содействие почв жизни подводной биоты [7]. Шельфовая зона океана (в частности, сублитораль) является самой населенной частью океана. Здесь отмечается наиболее высокое разнообразие биоты (микроорганизмов, растений и животных, в том числе обитающих в самом грунте), самые высокие запасы биомассы организмов по сравнению с другими частями океана. Так морские травы образуют мощные подводные луга (в Японском море до глубины 12-30 м).

Установлено, что морские травы усваивают биогенные элементы корневыми волосками [2], то есть как и наземная растительность. Придонные воды содержат повышенное количество минеральных веществ и биогенных элементов, чем выше находящиеся слои гидросферы. В сублиторали Японского моря обнаружены не менее 189 видов морских грибов [4, 5, 9]. Живущие в акваземах микроорганизмы и грибы, растущие на подводных почвах растения при этом выступают организаторами экосистем и биогеоценов (микроорганизмы, грибы и животные, кроме того, являются еще и деструкторами органического вещества). Исключительно важным свойством почв (в том числе и подводных) является присущая им способность концентрировать живые организмы и утилизировать органическое вещество с образованием и накоплением гумуса. Известно, что почвообразование сингенетично фазам развития биоценозов. Предполагается, что динамика развития подводных почв должна быть сингенетична динамике развития биоты морского дна, в частности, морских трав и комплекса морских грибов, формирующихся в этом же местообитании. Грибы, наряду с бактериями, занимают нишу деструкторов, поэтому

комплексы грибов являются неотъемлемой частью автотрофных сообществ макробентоса в море [2]. Существенная часть продукции подводных лугов идёт на образование детрита, как в пределах самих лугов (особенно это относится к подземным частям растений), так и вне их. Листья трав, как и талломы макроводорослей, при отмирании в значительной мере скапливаются на берегу, образуя штормовые выбросы, или, напротив, их сносит на глубину. Очень часто органическое вещество подводных почв приравнивают к гумусовым веществам наземных почв, проводят между ними аналогии. На наш взгляд, это принципиально не верно. Во-первых. Биогенный способ преобразования исходного субстрата в подводных и наземных почвах принципиально различны. В наземных это окисление (разложение органического вещества, главным образом, растительного происхождения, результатом является гумус), в подводных – это восстановление с образованием продуктов восстановления – «псевдогумусовых» веществ. И второе. В наземных почвах в преобразовании исходного субстрата ведущим способом являются процессы гидролиза (гидролизного разрушения), а в морских – гальмеролиза. Понятно, что противоположно направленные процессы не могут привести к одинаковым последствиям. Подводные почвы мы относим к царству почв, к экопочвам. Делятся они на синлитогенные и постлитогенные. Тип подводной почвы мы предпочитаем называть аквазем. Выделяем 3 типа: инициальный аквазем, дерновый аквазем и псевдо-гумусово-аккумулятивный аквазем. Мы считаем, что подводные почвы можно относить к моногенетичным образованиям. Климатической стадией своего развития они достигли при одних и тех же условиях почвообразования своих параметров, при одном и том же способе преобразования исходного субстрата. Это не исключает, что могут быть и полигенетичные образования. Но полигенетичность почвообразования проявляется только при резкой смене макроклиматических климатических условий. Почвы суши и подводные почвы (донные отложения) не являются аналогами. Как совершенно справедливо указывал И.А. Соколов [3], подводные почвы являются «экопочвами», то есть образованиями, выполняющими экологические функции почвы и относящимися к отделу субаквальных экопочв, формирующихся на дне водоемов. Все эти акваземы, что принципиально важно, не являются эволюционными звеньями развития, а являются климаксными образованиями для каждого данного местообитания. Их эволюция определяется только сменой климатических условий.

Донные ландшафты, встречающиеся в бухте Троицы, имеют вид концентрических дуг, соответствующих направлению течений. Ландшафт – сегетий (рельеф простой, биоосложненный, уклон слабый, грунт кольматированный, с ячеистым скелетом, с биоподвижными и бионеподвижными элементами).

Образцы почв под зостерой имеют плотную дернину (0-15 см), густо переплетенную живыми и отмершими корневищами и корнями. В верхней части 0-2 см дернина имеет серо-желтый цвет. Это, вероятно, зона окисления. Ниже цвет от темно-серого до черного, при высыхании становится светло-серым. По классификации данный тип почв – аквазем дерновый. По гранулометрическому составу акваземы дерновые представляют собой песок связный среднепылеватый. На инициальных акваземах растительность и водоросли отсутствуют. По гранулометрическому составу – это песок рыхлый слабощебнистый.

Исследования показали, что в биомассе зостеры преобладает надземная часть (табл.1).

Таблица 1. Биомасса подземной и надземной частей Зостеры морской

| Часть растений | Сырая, г/м <sup>2</sup> | Сухая, г/м <sup>2</sup> | Сырая, % | Сухая, % |
|----------------|-------------------------|-------------------------|----------|----------|
| Подземная      | 2320±413                | 307,8±77                | 46,8     | 40,5     |
| Надземная      | 2640±507                | 452,2±80                | 53,2     | 59,5     |

Примечание: данные достоверны при уровне значимости  $p < 0,05$ .

Среди тяжелых металлов с точки зрения загрязнения Японского моря принято выделять трассеры техногенного влияния – Pb, Cd, Ni, антропогенного влияния – Cu, Zn и терригенного стока – Fe, Mn. В исследуемых образцах наблюдается накопление марганца в надземной части растений и цинка во всех частях растений (табл. 2). То есть, выражено влияние трассеров терригенного и антропогенного влияния. Принято считать, что морские организмы относительно слабо накапливают некоторые элементы, среди которых K, Ca, Sr. Однако по нашим наблюдениям эти элементы лидируют по накоплению в зостере.

В дерновых акваземах по содержанию подвижных форм преобладают Fe, Ca, K, Mn, Zn. Следует отметить, что превышения норм ПДК для подвижных форм элементов не отмечено. Наблюдается высокая корреляционная связь между концентрациями марганца в корневищах и в донных осадках ( $R=0,82$ ). Тесная корреляционная связь концентраций цинка в подземных органах зостеры и в акваземах ( $R=0,62$ ), кадмия и меди в наземных органах и подводных почв ( $R=0,64$  и  $R=0,59$  соответственно).

Таблица 2. Содержание подвижных форм элементов в акваземах и зостере морской (мг/кг сухой массы)

|                          | Fe         | Mn          | Zn          | Cu       | Ni       | Pb       | Cd        | K           | Ca          | Sr          |
|--------------------------|------------|-------------|-------------|----------|----------|----------|-----------|-------------|-------------|-------------|
| Аквазем дерновый         | 1036       | 37,6        | 12,6        | 6,4      | 2,1      | 17,9     | 0,4       | 379         | 1202        | 11,7        |
|                          | ±<br>95,2  | ±<br>3,1    | ±<br>5,1    | ±<br>1,1 | ±<br>0,6 | ±<br>6,7 | ±<br>0,1  | ±<br>53     | ±<br>300    | ±<br>1,8    |
| Надземная часть растений | 227,6      | <b>76,6</b> | <b>17,3</b> | 1,4      | 1,2      | 1,7      | 0,3       | <b>2703</b> | <b>2508</b> | <b>70,9</b> |
|                          | ±<br>50,4  | ±<br>7,9    | ±<br>6,4    | ±<br>0,5 | ±<br>0,2 | ±<br>0,4 | ±<br>0,1  | ±<br>280    | ±<br>593    | ±<br>9,8    |
| Подземная часть растений | 761,9      | 21,4        | <b>21,9</b> | 1,3      | 1,2      | 1,7      | 0,2       | <b>2640</b> | <b>1212</b> | <b>57,3</b> |
|                          | ±<br>330,4 | ±<br>6,3    | ±<br>5,9    | ±<br>0,4 | ±<br>0,2 | ±<br>0,3 | ±<br>0,03 | ±<br>80,6   | ±<br>81,8   | ±<br>5,8    |

Примечание: данные достоверны при уровне значимости  $p < 0,05$ .

Содержание органического вещества в дерновых акваземах бухты Троицы составляет 1,4-2,8%. В инициальных 0,2-1,1%. Повышенное содержание органического углерода под зарослями zostеры имеет двойное происхождение. С одной стороны, это результат жизнедеятельности самой биоты, т.е. педогенное накопление. С другой – абиотический. При уменьшении скорости течений в зарослях морской травы усиливается процесс оседания более легких частиц органической взвеси. Кроме того, заросли макрофитов способствуют увеличению концентрации органического вещества в придонном слое воды за счет экскретирования ассимилятов, и органическое вещество из раствора может частично сорбироваться на поверхности частиц, обогащая осадок органическим углеродом. В результате исследований из образцов морских грунтов в чистую культуру было выделено 471 изолят грибов. Их идентификация показала, что они относятся к 91-му виду, 29-ти родов. Большая часть выделенных нами факультивно морских грибов представлена анаморфными грибами.

Наблюдается смешанная картина поверхности дна, где прошла драга без учета характера рельефа, течений и растительности. На Охотоморском шельфе о. Сахалин грансостав акваземов – песок рыхлый сильнокаменистый (каменистость от щебнистой до галечниковой). Видовой состав грибов акваземов Охотоморского шельфа включает 70 видов из 30 родов. Акваземы Сахалинского залива представлены песком связным крупнопылеватым каменистым (каменистость от щебнистой до галечниковой). Микобиота акваземов Сахалинского залива. В данном районе выделено 840 изолятов грибов (почти треть всех изолятов), отнесенных к 80 видам из 31 рода. В основном это виды из групп *Hyphomycetes*, один представитель *Coelomycetes* (*Phoma* sp.), а также *Agonomycetes* (*Mycelia sterilia*). При этом грибные комплексы западной части залива, не подверженной воздействию речного стока, отличаются более бедным видовым составом микромицетов. Также выявлена зависимость показателей массовости видов *Wardomyces inflatus* ( $R=0,7895$ ) и *Geomyces pannorum* ( $R=0,6215$ ) от концентрации органического углерода. Содержание стерильного мицелия коррелировало с гранулометрическим составом акваземов и концентрацией органического углерода ( $R=0,8298$ ).

Гранулометрический состав акваземов Курильских островов – от песка связного до песка рыхлого сильнокаменистого (каменистость от щебнистой до валунной).

В акваземах Охотоморского шельфа содержание органического вещества составляет 0,08-0,34% и Сахалинского залива 0,11-1,34% соответственно. Качественные (видовой состав) и количественные (плотность пропагул, численность, биоразнообразие) показатели

грибных комплексов, их изменение зависят от местообитания и географической приуроченности.

### **Заключение**

Свойства подводных почв определяются рядом причин. Гранулометрический состав, содержание органического вещества акваземов и закономерности распределения связаны с рельефом дна и глубиной, гидродинамической обстановкой (волнения, приливы-отливы, поверхностные и глубинные течения), видом и биологической продуктивностью растительности. Так, под покровом zostеры морской развиваются акваземы дерновые. Существует взаимосвязь между содержанием легкодоступных форм элементов в подводных почвах и различными частями морской травы.

Относительная численность грибов и выравненность обилий видов коррелирует с концентрацией органического углерода и гранулометрическим составом акваземов. Наибольшей численностью грибов отличаются акваземы с высоким содержанием физической глины, а также акваземы в районах с антропогенным загрязнением, с высоким содержанием в них органического углерода. Уменьшение численности грибов и биоразнообразия происходит с увеличением глубины.

Наблюдается широтная зональность комплексов грибов акваземов. В южных районах видовое богатство грибов обеднено. Комплексы грибов акваземов умеренно-водных и арктических зон отличаются от комплекса грибов тропических зон значительно большим видовым богатством, численностью и разнообразием комплексов грибов акваземов.

Можно утверждать, что возможен экологический мониторинг подводных почв и определение пределов их устойчивости и экологической емкости, т.е. подводные почвы можно считать, также как и наземные, с определенными допущениями, санитарами биосферы. Исследования подводных почв необходимо проводить с учетом карты рельефа дна, течений, а на мелководьях дополнительно под растительностью (скоплением органических остатков) и на чистых участках.

*Работа выполнена при поддержке грантами РФФИ №11-04-00772-а, ДВО №13-III-Д-06-019*

### **Список литературы**

1. Бахнов В.К. Почвообразование: взгляд в прошлое и настоящее (биосферные аспекты). – Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2002. – 117 с.
2. Жирков И.А. Жизнь на дне. Био-география и био-экология бентоса. – М.: Т-во научных изданий КМК, 2010. – 453 с.

3. Ивлев А.М. Нестерова О.В. К вопросу об изучении аквапочв // Вестник ДВО РАН. – 2004. - №4. – С. 47-51.
4. Киричук Н.Н., Пивкин М.В., Полохин О.В. Грибные комплексы аквазёмов Восточно-сахалинского шельфа // Биология моря. – 2012. – Т. 38. - №. 5. – С. 363-369.
5. Пивкин В.М. Худякова Ю.В. Кузнецова Т.А. Сметанина О.Ф., Полохин О.В. Грибы аквапочв прибрежных акваторий Японского моря в южной части Приморского края // Микология и фитопатология. – 2005. – Т. 39. – Вып. 6. – С. 50-61.
6. Полохин О.В. К вопросу о классификации подводных почв // Современные почвенные классификации и проблемы их региональной адаптации. Материалы всероссийской научной конференции. – Владивосток. – 2010. – С. 58-60.
7. Полохин О.В., Сибирина Л.А. Почвы и растительность острова Симушир (Курильские острова) // Фундаментальные исследования. – 2013.- №. 10. – Ч. 8. – С. 1766-1769.
8. Серышев В.А. О классификации и номенклатуре подводных почв.// Почвоведение. – 1986. - № 5. – С. 27-34.
9. Слинкина Н.Н., Пивкин М.В., Полохин О.В. Мицелиальные грибы аквапочв Сахалинского залива (Охотское море) // Биология моря. – 2010. – Т. 36. - №. 6. – С. 410-414.
10. Шляхов С. А., Костенков Н. М.. Классификация и морфологические особенности почв равнинных морских побережий // Почвоведение. – 1998. - № 10. – С. 1157 - 1163.

**Рецензенты:**

Костенков Н.М., д.б.н., профессор, зав. сектором почвоведения и экологии почв Биолого-почвенного-института ДВО РАН ДВО РАН, г. Владивосток.

Пуртова Л.Н., д.б.н., зав.сектором органического вещества почвы Биолого-почвенного-института ДВО РАН, г. Владивосток.